

A  
Ф 75

**ФОКИН СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
ДЛЯ ЗАГОТОВКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ДРЕВЕСИНЫ  
ПРИ РАСЧИСТКЕ ВЫРУБОК**

05.21.01- Технология и машины лесозаготовок и  
лесного хозяйства

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

A-1746

Работа выполнена на кафедре «Механизация лесного хозяйства и лесомелиорация» ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И.Вавилова»

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Научный консультант: **Цыплаков Владимир Владимирович** доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Официальные оппоненты: **Бартенев Иван Михайлович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия»  
**Григорьев Игорь Владиславович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М.Кирова»  
**Черемных Николай Николаевич**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Ведущая организация: **ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет»**, г. Петрозаводск

Защита состоится «30» мая 2013 г. в 10-00 час. на заседании диссертационного совета Д.212.281.02 при ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет» (620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт,37), к. 401

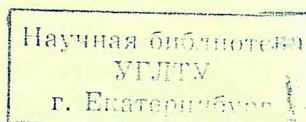
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет».

Автореферат разослан « 22 » апреля 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук, доцент



Кузубина Н.В.



**Актуальность темы исследования.** Древесина по теплотворной способности уступает традиционным видам топлива, но при этом имеет ряд преимуществ перед ними. Главными из которых являются: возобновляемость, меньший выброс диоксида углерода при сжигании, меньшее содержание вредных веществ в золе по сравнению с минеральными видами топлива, возможность выращивания и заготовки древесного сырья вблизи мест потребления, позволяющая сократить расходы на транспортировку готового продукта от места происхождения до места потребления.

В процессе заготовки древесной биомассы, помимо деловой древесины образуется 30 – 45 % порубочных остатков в виде рассеченной кроны на земле и 20 – 25 % прикорневой доли биомассы дерева в земле. Биомасса дерева, находящаяся в кроне, пне и корнях является дополнительным сырьем для использования ее в энергетических целях.

Лесостепная и степная климатические зоны Поволжья относятся к малолесным и среднелесным районам европейской части России. В лесах лесостепной и степной климатических зон Поволжья наибольшее распространение получили рубки деревьев в погибших и поврежденных насаждениях: сплошные, выборочные санитарные. Отходы древесины, получаемые при выполнении лесосечных работ в виде порубочных остатков и пней не находят своего потребителя и остаются на вырубках, становясь потенциально опасными при возникновении лесных пожаров, препятствиями при проведении лесовосстановительных мероприятий, очагами инфекции.

Измельчение отходов лесосечных работ на щепу позволит решить проблему их утилизации, путем использования в качестве топливной щепы, как источника тепловой энергии для нужд предприятий и населения региона.

При производстве топливной щепы наибольшее распространение получили рубительные машины фрезерного типа. Широкий спектр применения машин данного типа свидетельствует об универсальности используемых конструктивных схем, которым свойственны: маневренность, высокая производительность и компактность.

Однако рубительным машинам фрезерного типа, присущи и недостатки, основным из которых является высокая энергоемкость производимых работ по переработке древесной биомассы на щепу. Поэтому внедрение новых рубительных машин фрезерного типа для измельчения отходов лесосечных работ окажет влияние не только на показатели работы лесного комплекса, но и решат важные социальные и экологические задачи.

Существующие теоретические разработки по обоснованию параметров рубительных машин фрезерного типа не могут в полной мере использоваться из-за специфики условий производства работ, что приводит к необходимости разработки методов расчета их проектных параметров.

В связи с этим создание научных основ рабочих процессов рубительных машин фрезерного типа и технологического комплекса машин с более высоким

техническим уровнем для реализации технологии, получения топливной щепы из отходов лесосечных работ на вырубках в лесах степной и лесостепной климатических зон Поволжья является крупной научной проблемой.

В соответствии с этим тема диссертационной работы актуальна и выполнена в соответствии с контрактами (№43.044.1) Минпромнауки РФ, раздел 2615 - Технологии для удовлетворения потребностей общества во всех видах лесных ресурсов при неистощительном лесопользовании; «Усовершенствования и разработке новых региональных технологий для производства посадочного материала» по разделу «Разработка региональных ресурсосберегающих способов и технологий производства лесных культур на вырубках», предусмотренный межвузовским планом НИОКР по теме № 8 «Разработка машин и технологий для повышения продуктивности лесов, создания лесных культур и агролесомелиоративных насаждений с исследованием их экологической роли» на период 1999-2005 г.г. и ПНР-2 «Модернизация инженерно-технического обеспечения АПК. Раздел: Разработка машин и технологий для повышения продуктивности лесов, создания лесных культур, агролесомелиоративных и зеленых насаждений. Подраздел 1: Технологии и машины лесного хозяйства в Поволжье» на период 2006-2020 г.г.

**Степень разработанности проблемы** Развитие теории резания древесины представлено в трудах Дешевого М. А., Вернадского А. Л., Воскресенского С. А., Ивановского Е.Г., Грубе А.Э., Манжоса Ф.М.

Ряд ученых, такие как Вальщиков Н. В., Лицман Э.П., Рушнов Н.И., Завойских Г.И., Попов Н.И., Авксентьев М.П. и другие, занимались процессом измельчения древесины на щепу рубительными машинами фрезерного типа.

Наиболее полные обобщения исследований, связанных с измельчением пней рубительными машинами фрезерного типа выполнены Верховским А.В., Горячкиным В.П., Абодем П.И., Совковым А.Ф., Новиковым С.В., Лопатиным А.М., Солоповым С.Г., Казаковым В.И., Покаместовым В.В., Бартевым И.М., Цыплаковым В.В., Лукьяновым А.Д., Нажесткиным К.П., Павловым А.Н., Драпалюком М.В и другими учеными.

Повышению эффективности и качества лесовосстановления путем создания новых активных рабочих органов и машин фрезерного типа для измельчения пней посвящены работы Цыплакова В.В. Шекеля, А.И., Фёдорова О.Е., Шегельмана И.Р., Цыпука А.М.

В работах Ишлинского А.Ю., Кириченко Н.Ф., Кожевникова Л.Л., Моисеева Н.Н., Румянцева В.В. и других изучена роль различных наполнителей полых полостей для повышения устойчивости механической системы.

Вопросам динамики и снижения вибрации процесса фрезерования древесины посвящены работы Вальщикова Н. В., Лицмана Э.П., Рушнова Н.И., Завойских Г.И., Апостолюка С.А., Филькевича В.Я., Грубе А.Э., Санева В.И., Ширяевой Т.П., Попикова П.И., Беликова Е.В., Ботвина М.М., Захарова В.В.

**Цель и задачи исследований.** Целью диссертационной работы является создание научных основ рабочих процессов рубительных машин фрезерного типа и технологического комплекса машин с более высоким техническим уровнем для реализации технологии, получения топливной щепы из отходов лесосечных работ на вырубках в лесах степной и лесостепной климатических зон Поволжья.

Выполненный анализ состояния проблемы позволил поставить следующие задачи исследования:

1. Разработать математические модели рабочих процессов измельчения древесины рубительными машинами фрезерного типа с модернизированной гидросистемой и оснащенных активными рабочими органами.

2. Разработать теоретические основы динамики измельчающих фрезерных рабочих органов и провести оценку влияния их конструктивных и технологических параметров на энергетические характеристики производства работ.

3. Усовершенствовать методы снижения динамической нагруженности рабочих органов за счет использования демпфирующих устройств.

4. Разработать математические модели рабочих процессов сбора продуктов измельчения древесной биомассы рубительными машинами фрезерного типа.

5. Провести экспериментальные исследования натуральных образцов рубительных машин фрезерного типа с модернизированной гидросистемой и оснащенных новыми активными рабочими органами.

**Научная новизна** диссертационной работы состоит в следующем:

1. Разработаны математические модели рабочих процессов измельчения древесины рубительными машинами фрезерного типа с модернизированной гидросистемой и оснащенных новыми рубительными органами фрезерного типа. Программы решения модели на ЭВМ подтверждены: свидетельствами об отраслевой регистрации №№ 10121, 10248, 10802; свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ №№ 2009614670, 2009614671, 2010611612.

2. Разработаны математические модели динамики рубительных органов фрезерного типа и проведена оценка их конструктивных и технологических параметров на энергетические характеристики производства работ. Программы решения модели на ЭВМ подтверждены свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2012618513, 2012617677.

3. Усовершенствованы методы снижения динамической нагруженности рубительных органов фрезерного типа за счет использования демпфирующих устройств.

4. Разработаны математические модели сбора продуктов измельчения древесной биомассы рубительными машинами фрезерного типа. Программы решения модели на ЭВМ подтверждены свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2012660374, 2012660375.

**Теоретическая и практическая значимость работы** состоит в установлении влияния конструктивных и эксплуатационных параметров рубительных машин фрезерного типа с модернизированной гидросистемой и оснащенных активными рабочими органами на процесс измельчения отходов лесосечных работ и сбора продуктов измельчения.

На практике применяются следующие конкретные результаты работы:  
- математический аппарат и методика расчёта и обоснования параметров рабочих органов рубительных машин фрезерного типа;

- математический аппарат и методика расчёта устройств сбора продуктов измельчения древесной биомассы рубительными машинами фрезерного типа;
- математические зависимости для оценки динамических характеристик рабочих органов рубительных машин фрезерного типа на стадии проектирования;
- опытные образцы конических фрез для измельчения пней, устройства для измельчения порубочных остатков, предохранительно-дресселирующего клапана гидросистемы, защищенные патентами РФ №№ 2198502, , 75133, 2354545, № 2386233, 2170005, 68853.
- методика экспериментальных исследований динамики процессов резания древесины на моделирующих стендах;

В перспективе при разработке новых конструкций рубительных машин фрезерного типа могут быть использованы:

- конструктивные мероприятия, направленные на снижение нагруженности элементов привода конической фрезы при измельчении пней на топливную щепу;
- методика проектного расчета активных рабочих органов фрезерного типа и сами рубительные машины в учебном процессе при подготовке инженерных кадров для лесного комплекса.

Внедрение комплекса перспективных рубительных машин фрезерного типа для реализации технологии переработки отходов лесосечных работ на топливную щепу в условиях степной и лесостепной климатических зон Поволжья позволит получить эффект 112663 рубля в год с 1 га вырубок. Хозрасчетный эффект, измеряемый прибылью, полученной предприятием при переработке порубочных остатков при расчистке вырубок в данных лесорастительных зонах, составляет 95,0 руб. при переработке 1 м<sup>3</sup> отходов, а сравнительная эффективность по величине приведенных затрат составит 41,7 руб. при производстве конечного продукта из 1 м<sup>3</sup> отходов.

**Методология и методы исследования.** Теоретические исследования базировались на математическом моделировании рабочих процессов рубительных машин фрезерного типа при измельчении древесной биомассы и обосновании их конструктивно-технологических параметров. Решение систем дифференциальных уравнений осуществлялось с применением численного интегрирования на ЭВМ. Экспериментальные исследования выполнялись в лабораторных и полевых условиях на разработанных моделирующих стендах и натуральных образцах машин с применением методов электротензометрирования. Для исследования процессов работы машин использовались механико-математические методы моделирования и статистической динамики, а также метод полнофакторного эксперимента. Полученные данные обрабатывались с использованием программ Excel, Statgraf, Statistica, Microcal Origin 5.0 и Borland Delphi 7.0.

**Научные положения, выносимые на защиту**

1. Оригинальные математические модели рабочих процессов измельчения древесины рубительными машинами фрезерного типа с модернизированной гидросистемой и оснащенных активными рабочими органами.
2. Теоретические основы динамики измельчающих фрезерных рабочих органов и оценка влияния их конструктивных и технологических параметров на энергетические характеристики производства работ.

3. Новые методы снижения динамической нагруженности рабочих органов за счет использования демпфирующих устройств.
4. Оригинальные математические модели рабочих процессов сбора продуктов измельчения древесной биомассы рубительными машинами фрезерного типа.
5. Результаты экспериментальных исследований натуральных образцов машин фрезерного типа с модернизированной гидросистемой и оснащенных новыми активными рабочими органами.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена большим объемом лабораторно-полевых экспериментов, производственной проверкой опытных образцов рубительных машин фрезерного типа в реальных условиях эксплуатации на предприятиях лесного комплекса, а также достаточно хорошей сходимостью теоретических и экспериментальных данных.

Диссертационная работа выполнена на кафедре «Механизация лесного хозяйства и лесомелиорация» ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ» в 2000-2012 г.г.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры, научных конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» (2000-2012 г.г.); на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Воронежская государственная лесотехническая академия, 2002 г.); на VI Всероссийской научно-практической конференции «Экология и ресурсо- и энергосберегающие технологии на предприятиях народного хозяйства (промышленность, транспорт, сельское хозяйство)» (Пенза, 2006); на II научно-практической конференции «Музей-заповедник: экология и культура» (ст. Вешенская, Ростовской области, 2006); на VII Всероссийской научно-практической конференции «Окружающая природная среда и экологическое образование и воспитание» (Пенза, 2007); на международной конференции «Эколого-технологические аспекты лесного хозяйства в степи и лесостепи» (ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2007-2009 г.г.); на международной конференции «Вавиловские чтения» (ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2007-2010 г.г.); на Всероссийской научно-практической конференции «Лесное хозяйство Поволжья» (ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2007г.); на VI международной научно-практической конференции «Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие» (ПГСХА, Пенза, 2008 г.); на Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения доктора биологических наук, профессора Михаила Даниловича Данилова «Современные проблемы теории и практики лесного хозяйства» (Марийский государственный технический университет, 2008 г.); на Всероссийской научно-практической конференции «Инновационный потенциал аграрной науки- основа развития АПК (ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2008 г.); на международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию Воронежской школы рекультиваторщиков «Современные проблемы оптимизации зональных и нарушенных земель» (ГОУ ВПО «ВГЛТА», 2009 г.); на Всероссийской научно-практической конференции «Молодые ученые в решении актуальных проблем

науки» (СибГТУ, 2009 г.); на VIII международно-методической конференции «Техническое обеспечение инновационных технологий АПК» (ХНТУСХ, Харьков, Украина, 2010 г.); на международной конференции Министерства природных ресурсов РФ «Устойчивое развитие: природа-общество-человек» (Москва, 2006 г.); на международной конференции «Нанотехнологии и наноматериалы в лесном комплексе» (Москва, 2011 г.); на объединённом заседании кафедр «Механизация лесного хозяйства и лесомелиорация», «Лесоводство и лесная таксация», «Теоретическая механика и ТММ», ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» (2011 г.), заседании кафедры «Механизация лесного хозяйства и проектирование машин» (ФГОУ ВПО «Воронежская ГЛТА», 2011 г.), сектора «Механизация лесомелиоративных работ» (ГНУ ВНИАЛМИ, г. Вологоград, 2011 г.), заседании НТС (ФГБОУ ВПО Уральский ГЛТУ, 2012 г.).

**Реализация результатов работы.** Основные научные положения и результаты по материалам исследований внедрены в Энгельском, Саратовском лесхозах Саратовской области, Камешкирском лесхозе Пензенской области при переработке отходов лесосечных работ, в ГНУ ВНИАЛМИ при проектировании машин для расчистки вырубок, а также в учебный процесс ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ. Разработаны на основе математического моделирования, алгоритмы и программы для ЭВМ. Разработанные модели конической фрезы с жидкостным наполнителем для измельчения пней и устройство для измельчения порубочных остатков экспонировались на XI и XIV Российской агропромышленных выставках «Золотая осень» Российская агропромышленная осень (г. Москва, 2009 и 2012 г.г.) и удостоены бронзовых медалей, комплекс машин для расчистки вырубок был представлен на VI Саратовском салоне изобретений, инноваций и инвестиций (г. Саратов, 2011 г.).

**Публикации.** Основные научные разработки по теме диссертационной работы опубликованы в 79 работах, включая 18 статей в изданиях центральной печати, рекомендованных ВАК РФ; 1 статья в международном издании; 30 опубликованы без соавторов. По результатам исследований имеется 6 патентов РФ, в том числе 4 патента на изобретение и 2 патента на полезную модель; 7 свидетельств государственной регистрации программ для ЭВМ, выданных ФИПС и 3 свидетельства регистрации компьютерных программ для ЭВМ, выданных отраслевым фондом алгоритмов и программ федерального агентства по образованию. Опубликовано 2 монографии.

**Объем и структура диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, восьми глав, общих выводов и рекомендаций, списка использованной литературы и приложений. Общий объем работы составляет 341 страницу основного текста и 181 страницу приложений. Работа включает 293 рисунка, 193 таблицы и 332 наименования использованных источников, в том числе 36 иностранных.

**Введение.** Обоснована актуальность темы исследований, сформулирована его цель и основные положения работы, выносимые на защиту.

В первой главе «**Методологические основы исследований и состояние вопроса механизации производства энергетической древесины в условиях вырубок степной и лесостепной климатических зон Поволжья**» разработаны методологические основы научных исследований, определены особенности климата и структуры почвенного покрова лесостепной и степной климатических зон Поволжья. Рассмотрены виды рубок в данных растительно-климатических зонах.

Проведен анализ современного состояния рынка биоэнергетических технологий и технологий для производства биотоплива. Обоснована целесообразность применения энергетической древесины. Описаны особенности заготовки биотоплива в лесах степной и лесостепной зонах Поволжья, а также приведен анализ способов, средств для получения и сбора биотоплива в виде щепы. Рассмотрены научные исследования по применению рубительных машин фрезерного типа.

В лесостепной и степной климатических зонах Поволжья отсутствуют эксплуатационные и резервные леса. Все они относятся к защитным лесам. Поэтому при проведении санитарных рубок и рубок ухода на вырубках остаются отходы неликвидной древесины в виде порубочных остатков и пней, которые становятся потенциально опасными при возникновении лесных пожаров, препятствиями при проведении лесовосстановительных мероприятий, очагами инфекции. Следовательно, в лесах лесостепной и степной климатических зон Поволжья целесообразно использовать технологию получения биотоплива в виде щепы из отходов лесосечных работ в условиях лесосеки при помощи мобильных измельчающих машин. При реализации технологий получения биотоплива из отходов лесосечных работ наибольшее распространение получили рубительные машины с принудительной подачей порубочных остатков к режущим элементам, которые работают по принципу фрезерования.

Широкое применение технологии получения топливной щепы непосредственно на лесосеке сдерживается отсутствием высокоэффективных средств для ее реализации, в частности рубительных машин фрезерного типа и недостаточностью теоретических разработок по обоснованию технологических и конструктивных параметров рубительных машин фрезерного типа, а так же средств для сбора щепы.

Во второй главе «**Конструктивно-технологическое обоснование рубительных машин фрезерного типа для получения биотоплива в условиях лесов степной и лесостепной зон Поволжья**» обосновываются новые конструкции рубительных машин фрезерного типа, имеющих низкую энергоемкость производимых работ при получении биотоплива в виде топливной щепы. При этом учтены лесотехнические требования, включающие в себя вопросы экологии, тенденции развития лесохозяйственной техники и технико-экономические предпосылки.

В соответствии с лесохозяйственными требованиями предпочтение отдается рубительным машинам фрезерного типа, агрегируемыми с колесными

тракторами общего назначения во избежании разрушения дернового почвенного покрова и лесной подстилки. В машинах целесообразно использовать устройства фрезерного типа вырезающего и измельчающего действия, которые должны обеспечивать измельчение пней деревьев твердо- и мягколиственных пород со средним диаметром 39,2 см, средней высотой среза 13,5 см и величиной комлевой части 45,6 см а так же порубочных остатков со средней длиной  $4,84 \pm 0,29$  см и средним диаметром  $4,84 \pm 0,29$  см.

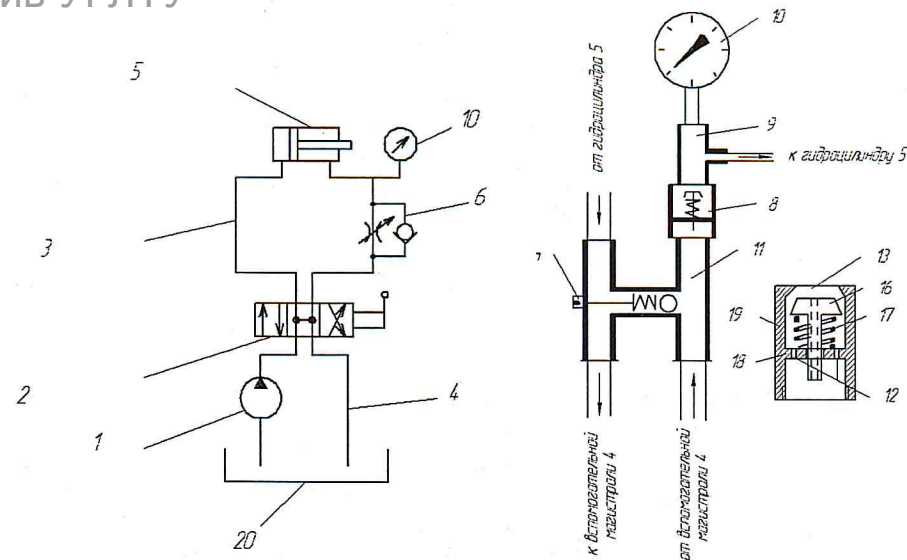
Рубительные машины должны работать в условиях вырубок с проведенными лесокультурными мероприятиями с различным количеством и породным составом пней и порубочных остатков, где состояние грунта может обеспечивать проходимость базового трактора. Так как основная часть рельефа вырубок на территории данных лесорастительных зон слабоволнистая, то оснащать машины дополнительными устройствами, повышающими их устойчивость нет необходимости.

Рабочий орган машины для измельчения пней должен обеспечивать полное разрушение надземной части пня. При этом фреза должна воздействовать только на сам пень, не повреждая вокруг него почвенный покров и не перемещивая почвенные горизонты под пнем. Устройство для измельчения порубочных остатков должно обеспечивать измельчение и транспортировку получаемой щепы в средства сбора и транспортировки готовой продукции.

К рубительным машинам, использующим принцип фрезерования древесных отходов, можно отнести машины дискового типа. Машины данного типа получили наибольшее распространение в производстве. Машины для фрезерования пней, оснащенные рабочим органом в виде конических фрез с вертикальной подачей могут измельчать пни на большую глубину, чем вертикальные фрезы. Подпневая яма, остающаяся на месте измельченного пня имеет форму конуса, направленного вершиной вниз. Образующаяся при измельчении пня щепы, в основном располагается по периметру ямы. Щепы не перемещается с почвой и находится на ее поверхности, что позволяет ее собрать и использовать в качестве биотоплива.

В зависимости от оснащения фрезы различными типами центрирующих элементов рубительная машина для измельчения пней может оснащаться гидросистемой с предохранительно-дросселирующим клапаном, регулирующим скорость подачи фрезы и быстрое возвращение рабочего органа в транспортное положение (рис.1) (патент РФ 2386233).

Конструкция гидравлической системы принципиально отличается от существующих аналогов тем, что в гидрозамке со стороны напорной магистрали дополнительно устанавливается дресселирующе-предохранительный клапан, состоящий из корпуса с входной и выходной полостями, разделенными между собой перегородкой со сквозными отверстиями и центральным отверстием, в котором установлен подпружиненный дресселирующий клапан тарельчатого типа, обеспечивающий прохождение рабочей жидкости к силовому гидроцилиндру через осевое отверстие выходной полости, выполненной в форме, идентичной форме тарельчатого клапана, и через присоединенный к корпусу дресселирующе-предохранительного клапана со стороны выходной полости тройника с манометром.



**Рис. 1- Схема гидросистемы с предохранительно-дросселирующим клапаном:**  
 1- насос; 2- гидрораспределитель; 3- напорная магистраль; 4- вспомогательную магистраль; 5- силовой гидроцилиндр; 6- гидрозамок; 7- обратным подпружиненным клапаном; 8- дресселирующе-предохранительный клапан; 9- тройника; 10- манометр; 11- корпус; 12- входная полость; 13- выходная полость; 14- сквозные отверстия; 15- центральное отверстие; 16- дресселирующий клапан тарельчатого типа; 17- пружина; 18- перегородка; 19- корпуса дресселирующе-предохранительного клапана; 20- емкость

В третьей главе «Математические модели процесса фрезерования пней и сбора щепы рубительной машиной фрезерного типа» для обоснования основных конструктивно-технологических параметров конической фрезы с жидкостным наполнителем (КФЖН), входящей в состав рубительной машины фрезерного типа для измельчения пней и содержащей приводной вал, полый корпус с жидкостью и лопастями для придания жидкости принудительно-вращательного движения, режущие элементы, расположенные под углом  $\alpha$  к обрабатываемой поверхности, заливное и сливное отверстия, отличающийся от ближайших аналогов тем, что корпус, на часть своего объема заполненный жидкостью и посредством крестовидной муфты соединен с приводным валом, а центрирующий элемент выполняется в виде перьевого сверла или винтового наконечника (патенты РФ 2170005, 2198502, 68853,75133) (рис.2) построена математическая модель ее работы, учитывающая динамические составляющие процесса измельчения пня данным рабочим органом.

Полученный алгоритм расчета параметров КФЖН позволил произвести обоснование конструктивных и кинематических параметров конической фрезы с жидкостным наполнителем для измельчения пней с физико-механическими свойствами, характерными для данных лесорастительных зон.

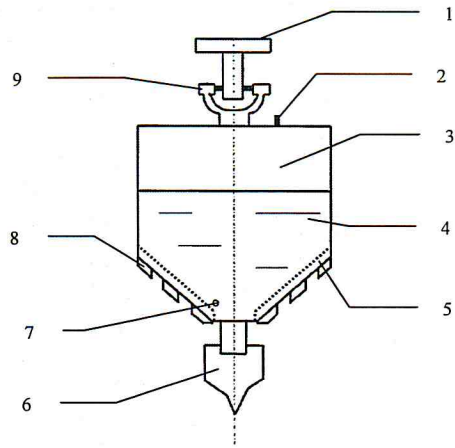


Рис. 2- Схема конической фрезы с жидкостным наполнителем для измельчения пней:  
1- приводной вал; 2- заливное отверстие; 3- корпус; 4- жидкость; 5- лопасти; 6- центрирующий элемент; 7-сливное отверстие; 8- режущие элементы; 9- крестовидная муфта

Условиями расчета предусматривалось, что влияние сил реакции  $\bar{R}_A, \bar{R}_B$  от действия силы резания на положение рабочего органа на торцевой поверхности измельчаемого пня будет незначительным, что сказывается на энергоёмкости процесса резания.

Для определения сил реакций и законов движения фрезы использованы теоремы об изменении количества движения и момента количества движения для рассматриваемой фрезы:

$$\frac{d\bar{K}}{dt} = \bar{F}^E + \bar{R}_A + \bar{R}_B, \quad (1)$$

$$\frac{d\bar{L}_0}{dt} = \bar{M}_0^E + \bar{M}_0(\bar{R}_A) + \bar{M}_0(\bar{R}_B), \quad (2)$$

где  $\bar{K}$  – вектор количества движения;  $\bar{L}_0$  – вектор момента количества движения;  $\bar{F}^E$  – главный вектор внешних сил;  $\bar{M}_0^E$  – главный момент внешних сил относительно выбранного центра;  $\bar{R}_A, \bar{R}_B$  – силы реакции, Н;  $\bar{M}_0(\bar{R}_A), \bar{M}_0(\bar{R}_B)$  – моменты сил реакции, Нм.

С учетом выражений для проекций векторов количества движения и момента количества движения:

$$K_x = -M_{жк} y_{сжж} \dot{\varphi}, \quad K_y = M_{жк} x_{сжж} \dot{\varphi}, \quad K_{z1} = \dot{z}_{1c}, \quad (3)$$

$$L_x = -J_{xz} \dot{\varphi}, \quad L_y = -J_{yz} \dot{\varphi}, \quad L_z = J_z \dot{\varphi}, \quad (4)$$

получены общие уравнения движения фрезы:

$$-M_{жк} y_{сжж} \ddot{\varphi} + M_{жк} x_{сжж} \dot{\varphi}^2 = F_x^E + X_A + X_B, \quad (5)$$

$$M_{жк} x_{сжж} \ddot{\varphi} + M_{жк} y_{сжж} \dot{\varphi}^2 = F_y^E + Y_A + Y_B, \quad (6)$$

$$-J_{xz} \ddot{\varphi} + J_{yz} \dot{\varphi}^2 = M_x^E + aY_A - bY_B, \quad (7)$$

$$-J_{yz} \ddot{\varphi} - J_{xz} \dot{\varphi}^2 = M_y^E - aX_A + bX_B, \quad (8)$$

$$J_z \ddot{\varphi} = M_z^E, \quad (9)$$

$$M \ddot{z}_{1c} = F_{z1}^E. \quad (10)$$

В уравнениях (1–10) приняты следующие обозначения:

$M_{жк}$  – масса жидкости, заполняющей рабочий орган фрезы, кг;  $x_{сжж}, y_{сжж}$  – координаты центра тяжести жидкости;  $X_A, Y_A$  – составляющие силы реакции  $R_A$ , Н;  $X_B, Y_B$  – составляющие силы реакции верхнего крепления фрезы  $R_B$ , Н;  $J_{yz}, J_{xz}$  – центробежные моменты инерции жидкости, Нм;  $\dot{\varphi} = \omega$  – угловая скорость вращения фрезы, 1/с;  $\ddot{\varphi} = \dot{\omega} = \varepsilon$  – угловое ускорение фрезы, 1/с<sup>-1</sup>;  $J_z$  – момент инерции фрезы относительно оси вращения,  $a, b$  – геометрические параметры, определяющие начало координат, точку  $B$  верхнего крепления фрезы и концевую точку  $A$  фрезы;  $\dot{z}_1 = v_1$  – скорость движения фрезы, мм/с;  $\ddot{z}_1 = \dot{v}_1 = w_1$  – ускорение движения фрезы, мм/с<sup>2</sup>;  $M$  – масса фрезы (включая массу жидкости  $M_{жк}$  в коническом рабочем органе,  $M_{po}$  и центрирующего элемента  $M_{цр}$  ( $M = M_{жк} + M_{po} + M_{цр}$ ), кг;  $F_x^E, F_y^E, F_{z1}^E, M_x^E, M_y^E, M_z^E$  – проекции внешних сил и моментов внешних сил, содержащие режущие силы и силы тяжести.

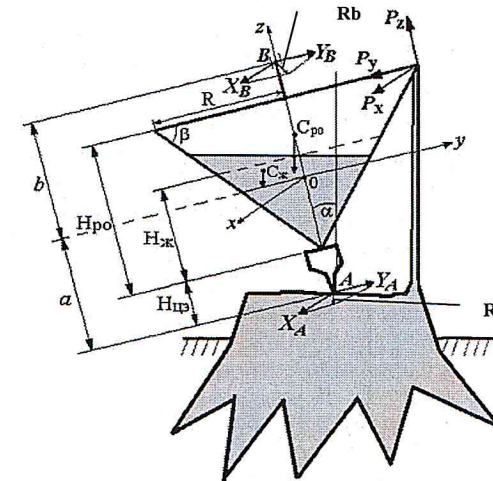


Рис.3 -Схема сил, действующих на КФЖН при фрезеровании пня с торца

Уравнения (5 – 10) являются основными для построения математической модели работы КФЖН. Характер силы реакции  $R_A$  и силы реакции верхнего крепления фрезы  $R_B$  зависит от геометрической конфигурации пня.

Одним из самых худших случаев будет форма пня, близкая к трехплоскостной горизонтально-ступенчатой форме торцевой поверхности (рис. 3). При этом выступ попадает на крайнюю кромку режущего рабочего органа.

Когда в резании участвует только одна кромка КФЖН, то составляющие силы резания будут выражены следующими соотношениями (рис. 2):

$$P_z = k_{Pz} \frac{3R_{po}}{n} \Pi^{0.7} (HB)^{0.75}, \quad (11)$$

$$P_x = k_{Px} \frac{3,2R_{po}}{n} \Pi^{0.8} (HB)^{0.6}, \quad (12)$$

$$P_y = P_z \operatorname{tg} \beta, \quad (13)$$

где  $P_z, P_x, P_y$  - составляющие силы резания, Н;  $\Pi$  - подача, мм;  $R_{po}$  - радиус рабочего органа, м;  $n$  - число режущих кромок, шт.;  $HB$  - твердость разрезаемого материала по Бринеллю.

Для определения параметров конической фрезы зависимости имеют следующий вид:

$$X_A = \frac{P_z \eta R}{a+b} [0,25 \operatorname{tg} \beta - \gamma_b], \quad (14)$$

$$Y_A = \frac{P_z R}{a+b} [-1 + \gamma_b \operatorname{tg} \beta - 0,25 \operatorname{tg}^2 \beta], \quad (15)$$

$$X_B = -\frac{P_z \eta R}{a+b} [0,25 \operatorname{tg} \beta + \gamma_a] \quad (16)$$

$$Y_B = \frac{P_z R}{a+b} [1 + \gamma_a \operatorname{tg} \beta + 0,25 \operatorname{tg}^2 \beta], \quad (17)$$

$$R_A = \frac{P_z R}{a+b} \sqrt{\eta^2 [0,25 \operatorname{tg} \beta - \gamma_b]^2 + [-1 + \gamma_b \operatorname{tg} \beta - 0,25 \operatorname{tg}^2 \beta]^2}, \quad (18)$$

$$R_B = \frac{P_z R}{a+b} \sqrt{\eta^2 [0,25 \operatorname{tg} \beta + \gamma_a]^2 + [1 + \gamma_a \operatorname{tg} \beta + 0,25 \operatorname{tg}^2 \beta]^2}. \quad (19)$$

При помощи компьютерной программы определены параметры КФЖН, которые показали, что наименьшее значение сила реакции  $R_A$  и сила реакции верхнего крепления КФЖН  $R_B$  имеют при угловой скорости вращения 5- 15 1/с и скорости подачи, равной 2- 4,5 мм/с.

Теоретическое изучение влияния на величину силы реакции  $R_a$  и силы реакции верхнего крепления рабочего органа  $R_b$  угла наклона оси ( $\alpha$ ) и степени наполнения корпуса ( $\gamma_{ii}$ ) КФЖН (при  $\omega=5- 15$  1/с,  $v=2- 4,5$  мм/с) показали, что при угловой скорости вращения- 15 1/с и скорости подачи- 2 мм/с и степени наполнения корпуса КФЖН равной 0,5- эти силы имеют наименьшее значение.

При проведении теоретических исследований процесса измельчения пня фрезой, имеющей угол наклона оси  $\alpha = 0^\circ$  (при  $\omega=5- 15$  1/с,  $v=2- 4,5$  мм/с) выяснено, что в данном режиме сила  $R_a$  уменьшается в 1,9, а сила  $R_b$  в 3,1 раза. Соотношения сил  $R_a / R_b$  (назовем коэффициентом стабилизации рабочего органа) возрастает в 1,6 раза. Этот факт свидетельствует о стабилизирующей роли жидкостного наполнителя. При увеличении угла наклона  $\alpha$  с  $0^\circ$  до  $5^\circ$  коэффициент стабилизации возрастает в 13 раз. Дальнейшее увеличение  $\alpha$  до  $20^\circ$  приводит к снижению коэффициента стабилизации в 1,1 раза.

Результаты определения эффективной мощности  $N_{I_3}$  от действия силы  $R_x$  при помощи компьютерной программы показали, что с увеличением угла наклона фрезы свыше  $5^\circ$  происходит резкое снижение величины окружной составляющей силы резания  $R_x$  (с 831,6 Н при  $\alpha= 0^\circ$  до 50,4 Н при  $\alpha= 20^\circ$ ) при аналогичных режимах работы, что характеризует снижение мощности резания, а соответственно и производительности в 16,5 раз.

При этом коэффициент стабилизации снижается с 0,37 до 0,12 (в 3,1 раза), что свидетельствует о неустойчивом положении фрезы на рабочей поверхности, а величина эффективной мощности резания снижается с 307,7 Вт до 6,1 Вт (в 50 раз). Максимальные значения окружная составляющая силы резания  $R_x$  имеет при углах наклона оси фрезы в пределах 0- 2 градуса и скорости резания в пределах 0,6 -3,8 м/с, а эффективная мощность  $N_{I_3}$  - при углах наклона оси фрезы в пределах 0- 2 градуса и скорости резания в пределах 3,2 -3,8 м/с.

На первом этапе компьютерного моделирования динамических процессов фрезерования пня исследовалась работа конической фрезы с жидкостным наполнителем с первыми центрирующим элементом. При этом учитывались физико-механические свойства древесины данных лесорастительных зон. Моделирование проводилось при помощи SPH-метод (Smoothed Particles Hydrodynamics). В рамках указанного метода жидкую среду рассматривают как совокупность большого количества элементов малого размера шарообразной формы. Моделирование жидкости производится в трехмерном пространстве XYZ.

Жидкость представлена большим количеством (не менее 150) элементов-шаров, движущихся по законам классической механики. Механические свойства жидкости закладываются в выражение для силы взаимодействия между двумя элементами. В модели между элементами действуют упругие потенциальные силы и диссипативные силы вязкого трения. Упругая сила взаимодействия элементов  $i$  и  $j$  зависит от расстояния между ними  $F_{ij}(r_{ij})$  и задается линейной зависимостью.

$$F_{ij}(r_{ij}) = c \cdot (r_{ij} - d_3),$$

где  $c$  – коэффициент жесткости, рассчитываемый по модулю упругости жидкости;  $d_3$  – диаметр элементов жидкости.

При этом, если расстояние  $r_{ij}$  превышает некоторое критическое расстояние  $r_k$ , в модели происходит отрыв двух элементов друг от друга (то есть обнуление силы взаимодействия). Внутренняя поверхность фрезы представлена совокупностью треугольников (рис. 4), а их взаимодействие с элементами жидкости просчитывается по аналогии с взаимодействием фрагментов пня с поверхностями фрезы для измельчения пней.



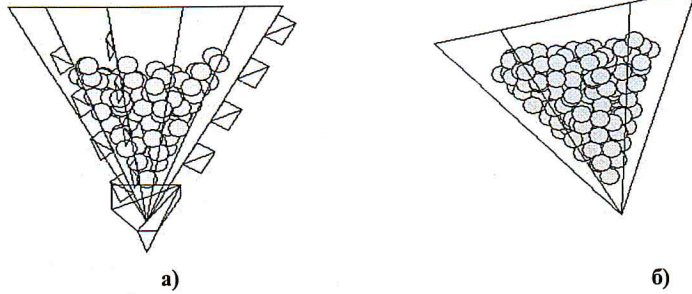


Рис. 4 – Жидкостный наполнитель фрезы представлен в виде совокупности шарообразных элементов. Внутренняя полость фрезы представлена правильной шестигранной пирамидой (а). Внешняя поверхность фрезы, ножи фрезы и направляющий перьевой нож также представлены совокупностью элементарных треугольников (б)

При проведении компьютерного эксперимента фрезеруемый пень в модели представляет собой геометрическую область, имеющую форму цилиндра высотой  $H_n$  и радиусом  $R_n$ . Перед началом моделирования шары-элементы пня размещаются в цилиндрической области, при этом координаты элемента ( $x_э, y_э, z_э$ ) должны удовлетворять условию

$$\begin{cases} (x_э - x_n)^2 + (y_э - y_n)^2 < R_n^2; \\ z_э < H_n, \end{cases} \quad (20)$$

где  $x_n, y_n$  – декартовы координаты центра пня на плоскости, представляющей опорную поверхность.

В результате проведения эксперимента установлено, что можно рекомендовать в качестве рабочего диапазон угловых скоростей  $\omega_0$  от 20 до 25 1/с. При этом достаточно мало время удаления пня (менее 5 с), пень измельчается более чем на 85 %, а потребляемая мощность не превышает 4 кВт. Проверка фрезы на устойчивость показала, что нижняя часть корпуса фрезы доходит до основания пня практически по вертикальной траектории, и лишь потом начинается выход фрезы из пня в горизонтальном направлении.

Полнота удаления пня оценивается в модели параметром  $C_n$ , который рассчитывается по формуле:

$$C_n = (1 - N_{СК}/N_{СН}) \cdot 100 \%,$$

где  $N_{СН}$  и  $N_{СК}$  – количество связей между элементами пня в начале и в конце компьютерного эксперимента

Исследования показали, что широким диапазоне отношения  $R_B$  (положение начальной точки входа фрезы в пень по отношению к оси пня) к  $R_n$  (радиус пня) от 0 до 55 % пень хорошо измельчается (более 80 %), и только при  $R_B/R_n$  более 55 % полнота удаления пня постепенно уменьшается до 60 %.

На втором этапе проводилось моделирование работы конической фрезы для измельчения пней с конической винтовой направляющей. Для компьютерных экспериментов винтовая поверхность состояла из 40 элементарных треугольников, у которых одна из вершин  $A_i$  (где  $i$  – номер элементарного тре-

угольника) лежала на оси конуса, а две остальных  $B_i$  и  $C_i$  на режущей кромке винтовой направляющей. В этом случае координаты ( $x_{Ai}, y_{Ai}, z_{Ai}$ ), ( $x_{Bi}, y_{Bi}, z_{Bi}$ ), ( $x_{Ci}, y_{Ci}, z_{Ci}$ ) точек  $A_i, B_i, C_i$  треугольника  $i$  находятся по формулам:

$$\begin{aligned} x_{Ai} &= x_0; \quad y_{Ai} = y_0; \\ z_{Ai} &= z_0 - \frac{H_K}{N_T} \cdot i; \\ x_{Bi} &= x_0 + R_K \left(1 - \frac{i}{N_T}\right) \cos(n_3 \cdot 2\pi \frac{N_B}{N_T} i); \\ y_{Bi} &= y_0 + R_K \left(1 - \frac{i}{N_T}\right) \sin(n_3 \cdot 2\pi \frac{N_B}{N_T} i); \\ z_{Bi} &= z_0 - \frac{H_K}{N_T} \cdot \left(i - \frac{1}{2}\right); \\ x_{Ci} &= x_{Bi-1}; \quad y_{Ci} = y_{Bi-1}; \quad z_{Ci} = z_{Bi-1}, \end{aligned} \quad (21)$$

где  $x_0, y_0, z_0$  – координаты центра основания конуса;  $H_K$  и  $R_K$  – высота и радиус основания конуса;  $N_T$  – количество треугольников, составляющих винтовую поверхность;  $N_B$  – число витков винтовой поверхности;  $n_3$  – направление завитки поверхности ( $n_3 = 1$  по часовой стрелке,  $n_3 = -1$  против часовой стрелки); ( $x_{Bi-1}, y_{Bi-1}, z_{Bi-1}$ ) – координаты точки  $B_{i-1}$ , совпадающей с точкой  $C_i$ . Формулы приведены для начального строго вертикального расположения фрезы. По мере пространственного движения фрезы производится пересчет координат в соответствии с пространственными углами поворота оси фрезы.

Из рис. 5 видно, что пока ножи фрезы разрушают пень, направляющая глубоко внедряется в подземную часть пня, что способствует более полному удалению пня.

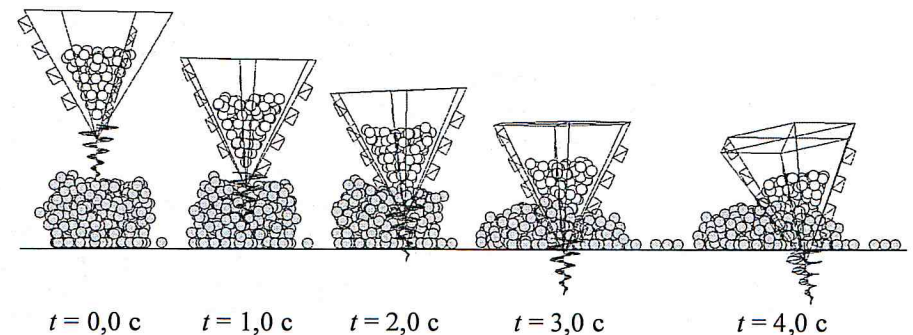


Рис. 5 – Измельчение пня фрезой с конической винтовой направляющей

К концу обработки пень конус фрезы опускается так, что его вершина лежит несколько ниже поверхности земли ( $t = 4,0$  с), а вершина конуса винтовой направляющей оказывается заглубленной в подземную часть пня еще примерно на 15 см.

А - 1746

Сравнительный анализ машин для измельчения пней с перьевым направляющим ножом и с конической винтовой направляющей показал, что при использовании винтовой направляющей вместо перьевой полнота удаления пня  $C_{II}$  несколько меньше при центральном внедрении фрезы в пень (на 2 %), однако существенно выше (на 10–15 %) при начальном внедрении фрезы вдали от оси пня ( $R_B/R_{II}$  более 60 %). Таким образом, использование винтовой направляющей делает машину менее чувствительной к начальной точке внедрения фрезы в пень.

Проведенное моделирование показало, что целесообразно использовать сменные винтовые направляющие, в зависимости от механических свойств пней на обрабатываемой вырубке: для пней с высокой твердостью – с малым шагом винта, для пней с низкой твердостью – с большим шагом.

Для сбора щепы при работе машины для измельчения пней фрезой целесообразно оснастить щепоуловителем. Разработанная математическая модель сбора щепы при измельчении пней позволила изучить закономерности движения щепы измельчаемого пня и определить основные параметры щепоуловителя (радиус 0,4 м, высота 0,5 м).

В четвертой главе «Моделирование процесса измельчения порубочных остатков и сбора щепы рубительной машиной фрезерного типа» проводилось моделирование процесса измельчения порубочных остатков с физико-механическими свойствами древесины, характерными для данных лесорастительных зон. Для обоснования параметров рубительной машины для измельчения порубочных остатков (патент РФ 2354545) определялись показатели, оказывающие наиболее существенное влияние на процесс измельчения порубочных остатков:  $\omega_D$  – частота вращения рубительного диска;  $\omega_B$  – частота вращения подающих валцов (и одновременно подающего барабана);  $\Delta u_C$  – смещение центра диска в горизонтальном направлении по отношению к центру выходного окна загрузочного патрона.

В качестве выходных факторов принимались величины, характеризующие производительность, качество обработки и экономические затраты:  $P$  – производительность устройства (максимальная в течении компьютерного эксперимента);  $d$  – средний размер щеп после измельчения загруженной порции порубочных остатков;  $N$  – мощность, потребляемая устройством. В результате компьютерного моделирования находился тройной оптимум в 3-факторном пространстве с тремя условиями постоянства.

Для изучения влияния частоты вращения на показатели эффективности устройства проводилась серия компьютерных экспериментов, в которых варьировали  $\omega_D$  на уровнях 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30 1/с. Исследования показали, что производительность устройства  $P$  имеет максимум при частоте вращения рубительного диска 15 - 20 1/с. При малой частоте вращения диска (0 - 10 1/с) рубительный диск сдерживает поток подаваемых ветвей, поэтому производительность мала.

При большой частоте вращения диска (25 - 30 1/с) при каждом ударе ножа диск сообщает ветвям существенный импульс, который приводит к отскакиванию измельчаемой ветви в случайном направлении, и непрерывность потока порубочных остатков в направлении рубительного диска нарушается. С увели-

чением частоты вращения рубительного диска потребляемая устройством мощность возрастает. Особенно выражено возрастание в диапазоне 5-20 1/с, в котором, с увеличением частоты увеличивается производительность и качество измельчения.

При больших частотах вращения (25-30 1/с) мощность возрастает незначительно, так как в данном диапазоне уменьшается производительность и качество измельчения. Совокупный анализ зависимостей  $P(\omega_D)$ ,  $d(\omega_D)$  и  $N(\omega_D)$  позволяет в качестве оптимального диапазона частот рекомендовать 12 -15 1/с. В этом диапазоне наблюдается практически максимальная производительность (70-80 кг/мин), минимальный размер щепы (около 2 см) и достаточно мала потребляемая мощность (5 - 6 кВт).

Так же установлено, что с увеличением частоты вращения валцов производительность плавно растет, вплоть до частоты 25 1/с, размер щепы, начиная с 8 1/с практически не изменяется и составляет около 2,2 см, а потребляемая мощность, начиная с 8 1/с уменьшается.

Результаты моделирования позволяют утверждать, что в устройстве целесообразно использовать высокую частоту вращения подающих валцов 20-25 1/с.

При проведении компьютерного эксперимента обнаружено, что смещение рубительного диска практически не влияет на качество измельчения порубочных остатков (размер щепы практически не зависит от  $\Delta u_C$ ), а также на потребляемую мощность (последняя также практически не зависит от  $\Delta u_C$ ). Таким образом, целесообразно в конструкции устройства предусмотреть смещение оси рубительного диска на 10-20 см от центрального положения по отношению к окну загрузочного патрона.

Разработанная математическая модель процесса сбора щепы позволила обосновать форму устройства сбора и накопления щепы в виде кожуха с бункером (рис. 6). При этом нижняя часть кожуха с бункером (примерно 1/4 высоты) служит для сбора щепы, а верхняя часть для направления потока щепы и гашения скорости.

Предложенная форма кожуха и бункера достаточно эффективно собирает продукты измельчения порубочных остатков. При использовании разработанной формы бункера 80 % щепы летит в направлении бункера, теряет скорость соударяясь со стенками бункера в верхней его части и оседает на дно бункера. При этом 10 % щепы увлекается во вращение рубительным диском, однако спустя один или несколько оборотов также попадает в бункер, а 10 % щепы пытается задержаться в нижней части кожуха, однако по мере ее накопления ее захватывает рубительный диск и также выбрасывает в бункер.

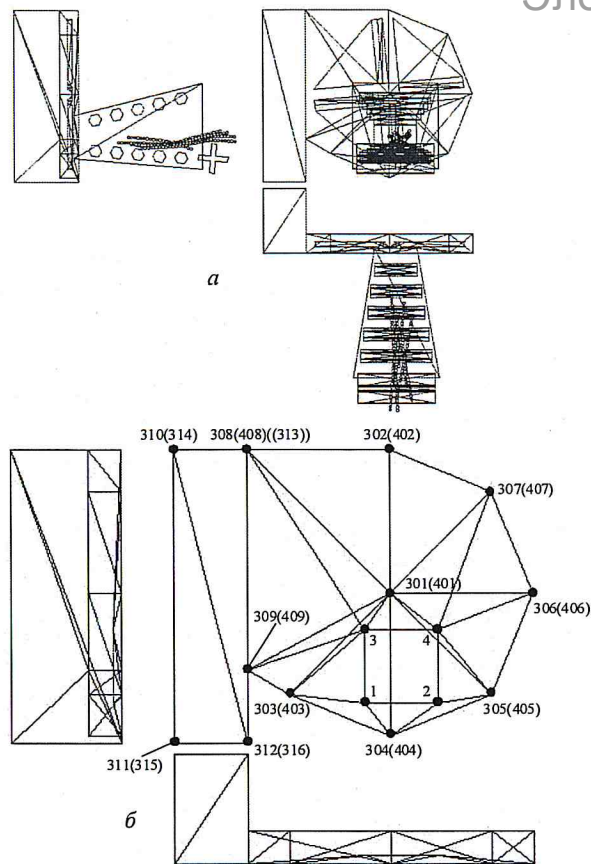


Рис. 6 – Представление кожуха и бункера для сбора щепы в модели: а – модель машины полностью; б – крупным планом поверхности кожуха и бункера.

Конструкция кожуха с бункером для сбора щепы принципиально отличается от известных средств для продуктов измельчения отходов деревопереработки тем, что она позволяет производить сбор продуктов измельчения непосредственно на вырубке и имеет достаточно простую конструкцию.

В пятой главе «Математическое моделирование работы механизмов подачи рубительных машин фрезерного типа» представлен расчет конструктивно-технологических параметров механизмов подачи и режимов резания древесины с физико-механическими свойствами, характерными для данных лесорастительных зон, рабочими органами рубительных машин фрезерного типа. Для моделирования работы механизма подачи рубительной машины фрезерного типа для измельчения порубочных остатков его можно разбить на пять звеньев-зон, в зависимости от технологического назначения (рис. 7).

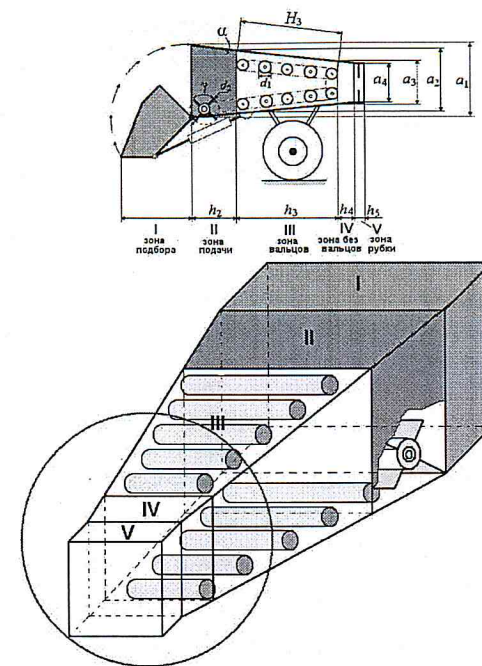


Рис. 7- Технологическая схема механизма подачи рубительной машины фрезерного типа для измельчения порубочных остатков

Ведущим звеном рубительной машины фрезерного типа для измельчения порубочных остатков является рубительный диск, параметры которого определяют режим функционирования устройств транспортировки сырья в рубительную машину.

При решении данной задачи выделялись следующие этапы расчета.

1 этап - вычисление числа валцов  $N_2$  в зоне III и их объема  $V_n$ .

$$N_2 = \frac{H_3 - P_1}{(d_1 + P_1)}, \quad (22)$$

где  $d_1$  - диаметр валцов в зоне III, м;  $P_1$  - зазор между валцами, м.

$$V_n = \pi \frac{d_1^2}{2} N_2 L_{cp} \quad (23)$$

2 этап-вычисление объемов зон в цепочке подачи  $V_2$ , в зоне рубки и в зоне подбора сырья  $V_n$  (объем подъемного устройства).

$$V_2 = \frac{1}{3} h_2 (a_1^2 + a_2^2 + a_1 a_2), \quad (24)$$

где  $h_2$  - длина зоны II, м;  $a_1 a_2$  - размеры границ зоны II, м.

$$V_n < k_n V_2, \quad (25)$$

где  $k_{II} < 1$  - коэффициент заполнения подъемного устройства (объем зоны II должен быть больше, чем его объем;  $k_{II} \approx 0,8 \div 0,95$ ).

3 этап - вычисление плотности сырья ( $\rho_n$ ) и плотностей подаваемого материала в зонах механизма подачи ( $\rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$ ).

$$\rho_{II} = \rho_D \cdot k_c, \quad (26)$$

где:  $\rho_{II}$  - плотность сырья в зоне подбора,  $кг/м^3$ ;  $\rho_D$  - плотность древесины собираемых отходов лесозаготовок,  $кг/м^3$ ;  $k_c$  - коэффициент плотности собираемого сырья;  $k_c \approx 0,5 \div 0,75$ .

4 этап- вычисление количества движения  $Q_5$ , исходного материала в зонах механизма подачи и в зоне рубки.

В качестве механической меры расхода с течением времени сырья в каждой из зон может служить количество движения исходного материала в каждой из зон, т.е. произведение массы исходного материала в зоне на ее среднюю скорость.

Масса исходного материала в зоне  $m_i = V_i \rho_i$ .

$$Q_5 = \rho_5 h_5 a_4^2 S R_5^{cp} k_5 \omega_5, \quad (27)$$

где:  $\rho_5$  - плотность исходного материала в зоне V,  $кг/м^3$ ;  $h_5$  - толщина срезаемого слоя, мм;  $a_4$  - размер подающего окна в зоне V, м;  $S$  - число ножей;

$R_5^{cp} = (R_5 - \frac{a_4}{2})$  - средний радиус ножей, м;  $k_5$  - коэффициент потерь в зоне V ( $k_4 \approx 0,9 \div 1,0$ );  $\omega_5$  - угловая скорость рубительного диска с ножами,  $1/с$ .

5 этап- вычисление угловой скорости  $\omega_3$  валцов и угловой скорости  $\omega_2$  подающего звена.

Из условия непрерывности процесса получения щепы в рубительной машине следует:

$$Q^* = Q_5 \text{ и } Q_2 = Q^* \quad (28)$$

Тогда имеем:

$$\omega_3 = \frac{2(\rho_5 h_5 a_4^2 R_5^{cp} k_5 S)}{(\rho_3 V_3 k_3 + \rho_4 V_4 k_4) d_1} \omega_5, \quad (29)$$

$$\omega_2 = \frac{(\rho_3 V_3 k_3 + \rho_4 V_4 k_4) \frac{d_1}{2}}{\frac{\pi d_2^2}{2} \cdot \frac{a_1 + a_2}{2} \rho_2 \frac{d_2}{2} k_2} \omega_3. \quad (30)$$

Для расчета основных конструктивно-технологических параметров устройства для измельчения порубочных остатков использовалась компьютерная программа, разработанная на основе теоретических исследований процесса измельчения порубочных остатков.

Анализ, полученных зависимостей, полученных в результате теоретических расчетов показал, что при расчетной производительности, равной 100  $кг/мин$ , исследуемые конструктивно-технологические параметры устройства имеют следующие значения:  $d_1$ (диаметр валцов с шипами, м)= 0,1- 0,18;  $d_2$ (диаметр подающего звена, м)= 0,5 - 0,8;  $a_4$ (размер окна в зоне рубки, м)= 0,6

0,7;  $P_1$ (зазор между вальцами, м)= 0,06 - 0,18;  $alf$ (угол конусности загрузочно-го патрона, град.)= 15 - 40.

Результаты исследований технологических параметров механизма подачи, влияющих на производительность устройства для измельчения порубочных остатков показали, что они имеют следующие значения: угловая скорость в зоне подачи,  $1/мин$ -  $\omega_2$  (110-200); угловая скорость в зоне валцов,  $1/мин$ -  $\omega_3$  (40-160).

Работа рубительной машины фрезерного типа для измельчения пней зависит от механизма подачи фрезы, который можно представить в виде твердого тела, шарнирно связанного с корпусом трактора (в районе расположения механизма навески) и оно имеет возможность двигаться в вертикальной плоскости  $XOZ$ . Поэтому положение данного тела задается углом отклонения от горизонтали  $\varphi_1$ .

В основе математической модели работы механизма подачи конической фрезы для измельчения пней лежит система дифференциальных и алгебраических уравнений, описывающих процессы в гидравлической подсистеме и механической подсистеме машины для измельчения пней (движение конической фрезы, взаимодействие с пнем).

Решение системы уравнений позволяет найти функции, характеризующие эффективность системы создания вибрации: давления в полостях гидроцилиндра механизма подачи фрезы  $P_{II}(t)$  и  $P_L(t)$ , угол наклона  $\alpha(t)$ , а также положение золотника клапана давления  $x_{II}(t)$ . В рамках модели учитываются два механических процесса. Первый из них - вращательное движение подающей стрелы устройства для измельчения пней в горизонтальной плоскости, описываемое основным уравнением динамики вращательного движения

$$J \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} = M_{ГЦ} - M_T, \quad (31)$$

где  $\varphi_1$  - угол поворота стрелы;  $J$  - момент инерции стрелы относительно ее оси;  $M_{ГЦ}$  и  $M_T$  - момент со стороны вращающего стрелу гидроцилиндра и момент сил трения. С учетом выражений для  $M_{ГЦ}$  и  $M_T$  получено следующее уравнение:

$$J \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} = l_{ГЦ} \cdot (P_1 - P_2) \cdot \frac{\pi D_{ГЦ}^2}{4} - \alpha_T \frac{d \varphi_1}{dt}, \quad (32)$$

где  $l_{ГЦ}$  - плечо силы со стороны гидроцилиндра;  $P_1$  и  $P_2$  - давления в полостях гидроцилиндра;  $D_{ГЦ}$  - диаметр гидроцилиндра;  $\alpha_T$  - обобщенный угловой коэффициент вязкого трения при повороте стрелы. Так как масса поршня гидроцилиндра механизма навески мала по сравнению с массой стрелы с механизмом вращения фрезы, моделирование поступательного движения поршня как отдельного тела не производится.

Моделирование гидравлической подсистемы основано на анализе изменения объемов  $V_m$  различных полостей ( $m$  - означает индекс полости) при перемещении поршня гидроцилиндра. При этом давление  $P_m$  в полости  $m$  изменяется в соответствии с зависимостью:

$$\frac{dP_m}{dV_m} = - \frac{E}{V_m}, \quad (33)$$

где  $E$  - объемный модуль упругости рабочей жидкости.

Если различаются давления в двух полостях  $i$  и  $j$ , гидравлически соединенных между собой, производится перетекание рабочей жидкости. При этом расход  $Q_{ij}$  определяется по известной формуле

$$Q_{ij} = k_{ij} \text{sign}(P_i - P_j) \sqrt{|P_i - P_j|}, \quad (34)$$

где  $i$  и  $j$  – индексы полостей;  $k_{ij}$  – коэффициент дросселирования;  $\text{sign}(x)$  – функция, возвращающая знак переменной  $x$ .

Эта формула используется как для дросселей (коэффициент дросселирования достаточно велик), так и для трубопроводов (коэффициент дросселирования мал). В модели считается, что все дросселирующие отверстия имеют круглое сечение, поэтому коэффициент дросселирования определяется через диаметр отверстия  $d_{ij}$  по формуле

$$k_{ij} = \mu \frac{\pi d_{ij}^2}{4} \sqrt{\frac{2g}{\gamma}}, \quad (35)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\gamma$  – удельный вес рабочей жидкости.

Возможность трубопроводов упруго расширяться под влиянием давления в модели непосредственно не учитывается, однако косвенно учитывается упругостью рабочей жидкости, то есть коэффициентом  $E$ .

Изменение объемов полостей гидроцилиндра при перемещениях поршня приводит к изменению давлений в полостях. Новые давления  $P_{П1}$ ,  $P_{П2}$ ,  $P_{Ш1}$ ,  $P_{Ш2}$  на  $k$ -м шаге интегрирования вычисляются по формуле (35), перепи-санной в конечных разностях следующим образом:

$$P_m^k = P_m^{k-1} - E \frac{V_m^k - V_m^{k-1}}{V_m^k}, \quad (36)$$

где индекс  $m$  означает полость, в которой вычисляется давление, и может принимать значения "1", "2" (соответственно поршневая и штоковая полости гидроцилиндра).

С учетом гидравлической схемы системы возможны следующие варианты перетекания жидкости. В режиме подъема стрелы:

- перетекание "Напорная магистраль" → "Полость 1":  
если  $P_{HM} > P_1$ , то  $V_1 = V_1 + k_{HM1} \sqrt{P_{HM} - P_1} \Delta t$ ; (37)

- перетекание "Полость 2" → "Сливная магистраль":  
если  $P_{CM} < P_2$ , то  $V_2 = V_2 - k_{CM2} \sqrt{P_2 - P_{CM}} \Delta t$ . (38)

В режиме опускания стрелы:  
- перетекание "Напорная магистраль" → "Полость 2":  
если  $P_{HM} > P_2$ , то  $V_2 = V_2 + k_{HM2} \sqrt{P_{HM} - P_2} \Delta t$ ; (39)

- перетекание "Полость 1" → "Сливная магистраль":  
если  $P_{CM} < P_1$ , то  $V_1 = V_1 - k_{CM1} \sqrt{P_1 - P_{CM}} \Delta t$ . (40)

В формулах 37-40 буквами  $k_{HM1}$ ,  $k_{HM2}$ ,  $k_{CM1}$ ,  $k_{CM2}$  обозначены коэффициенты дросселирования между полостями, соответствующими индексам.

Рассчитанные, таким образом, объемы перетекающей жидкости корректировались с учетом пропускной способности соответствующих трубопроводов. Полученные текущие значения объемов жидкости  $V_1$ ,  $V_2$  в полостях используются на следующем шаге интегрирования  $k + 1$  для нового расчета давлений  $P_m$  по формуле (40).

Для моделирования работы механизма подачи конической фрезы для измельчения пней с физико-механическими свойствами, характерными для данных лесорастительных зон предусматривалось снижение негативного воздействия силы реакции  $R_a$ . Получение такого эффекта стало возможным при помощи изменения динамики движения фрезы, когда используется сила тяжести фрезы и жидкости в ее корпусе.

При этом режиме также обеспечивается равномерная угловая скорость вращения конической фрезы  $\omega = \omega_0 = \text{const}$ . А вот роль поддерживающего привода вертикальной подачи фрезы существенно изменяется. Поддерживающий привод помогает ее центрировать и необходимым образом компенсировать действующие силы резания и силы тяжести. При этом представляется возможным в процессе резания варьировать подачу фрезы  $\Pi = v(t)/\omega_0$ , за счет изменения компенсирующей силы и начальных условий на скорость подачи.

При таком режиме фрезы подачи уравнения математической модели имеют следующий вид:

$$\omega = \omega_0 = \text{const}, \quad (41)$$

$$M\dot{v} = Mg \cos \alpha - P_z - F_k. \quad (42)$$

где  $F_k$  - компенсирующая сила подачи, Н,  $P_z = k_{pz} \frac{3R}{n} \Pi^{0.7} (HB)^{0.75}$ ;  $\Pi = g/\omega$ .

Для качественной оценки возможностей предлагаемого режима измельчения пня с использованием динамики движения конической фрезы можно предположить  $v^{0.7} \approx v$ . При этом получим линеаризованное уравнение вида:

$$v = \left( v_0 - \frac{g \cos \alpha - F_k}{E_*} \right) e^{-\frac{E_* t}{M}} + \frac{g \cos \alpha - F_k}{E_*}. \quad (43)$$

Как видно из выражения (43), варьируя начальной скоростью  $v_0$  и введенной компенсирующей силой  $F_k$ , можно добиваться необходимых переходных процессов измельчения пня, способствующих минимизации сил реакции  $R_a$  и  $R_b$  от действия силы резания.

Обработка регрессионных уравнений, описывающих зависимости силы реакции  $R_a$  и  $R_b$  от начальной скорости подачи  $v_0$  и угловой скорости вращения фрезы  $\omega$  и компенсирующей силы  $F_k$  при угле наклона режущих кромок  $\beta=45^\circ$  показала, что наименьшие значения силы реакции  $R_a$  и  $R_b$  имеют при угловой скорости вращения 5- 15 1/с, начальной скорости подачи, равной 2- 4,5 мм/с и компенсирующей силы 9740-9800 Н.

Наименьшие значения составляющих сил резания  $R_z$  и  $R_x$  имеют при следующих технологических параметрах резания древесины: угловой скорости вращения  $\omega = 1- 20$  1/с, начальной скорости подачи  $v_0 = 0-6,5$  мм/с и компенсирующей силы  $F_k = 9740-9800$  Н.

В шестой главе «Программа и методика экспериментальных исследований влияния конструктивно-технологических параметров рубительных машин фрезерного типа на процесс измельчения древесины» представлены программа и методика проведения экспериментальных исследований, изложена методика обработки полученных результатов.

В соответствии с целью экспериментальных исследований проведена серия экспериментов для того, чтобы:

- исследовать влияние технологических параметров, на производительность машины для измельчения порубочных остатков;
- исследовать закономерности изменения энергоемкости процесса резания древесины при различных углах заточки ножей и углах наклона плоскости резания измельчаемых порубочных остатков;
- исследовать изменение энергоемкости процесса измельчения древесины при различных конструктивных характеристиках резцов конической фрезы и технологических параметрах процесса резания;
- исследовать закономерности изменения осевой составляющей силы резания от конструктивно-технологических параметров процесса измельчения древесины;
- изучить физико-механические свойства щепы и стружки, получаемых при измельчении отходов лесосечных работ машинами фрезерного типа при различных режимах резания древесины.

Для выполнения программы исследований использовались методики экспериментальных исследований на основе известных методов планирования эксперимента и обработки данных.

Физико-механические свойства образцов древесины, используемых при проведении экспериментальных исследований соответствовали свойствам древесины, произрастающей в данных лесорастительных зонах

Методика проведения лабораторных и полевых исследований предусматривала получение первичной информации пригодной для последующей обработки на ПЭВМ с помощью офисных приложений MS Excel 2007, программы Statgraf и программы статистической обработки данных Statistica 6,0.

В седьмой главе «Результаты экспериментальных исследований влияния конструктивно-технологических параметров рубительных машин фрезерного типа на процесс измельчения древесины» представлены результаты исследования зависимости влияния угловой скорости в зоне загрузки и угловой скорости в зоне вальцов устройства для измельчения порубочных остатков на его производительность, которые показали, что с увеличением угловой скорости в зоне подачи с 50 до 87,5 1/мин и уменьшением угловой скорости в зоне вальцов с 20 до 3,5 1/мин, что приводит к увеличению массы произведенной щепы с 25,1 до 32,4 кг (1,3 раза).

При уменьшении угловой скорости в зоне подачи до 34,6 1/мин и увеличении угловой скорости в зоне вальцов до 116,6 1/мин масса полученной щепы возрастает с 40,2 до 68,2 кг (1,69 раза).

Проведенное исследование зависимости влияния параметров и основных геометрических параметров резцов на работу резания, совершаемую при измельчении порубочных остатков позволили установить, что возрастание рабо-

ты резания с увеличением диаметра порубочных остатков с 10 до 20 мм составило с 14,9 Нм до 57,87 Нм (в 3,88 раза). Так же следует отметить, что значения работы резания возрастают с увеличением диаметра и имеют максимальные значения при углах резания 30°.

Изучением удельных значений работы резания выявлено, что с увеличением скорости резания с 0,48 до 0,6 м/с и увеличением угла заточки резца с 20 до 40° удельная работа резания изменяется незначительно с 1,1 Нмм до 1,2 Нмм.

Максимальное значение удельная работа резания имеет при скорости резания в пределе 0,48-0,54 м/с и угле заточки резца 40-44 град. при углах резания 20-40° и составляет 1,5 Нмм и 1,6 Нмм соответственно. Наименьшее значение удельная работа резания имеет при скорости резания 0,6 м/с и угле заточки резца 20-30 град. при углах резания 20-40° и составляет 1,0 Нмм и 1,1 Нмм соответственно.

Исследование зависимости режимов резания древесины при различной ширине резца, влияющих на составляющую силу резания  $R_x$  показало, что с увеличением скорости резания при неизменной величине подачи значения составляющей силы резания  $R_x$  уменьшаются с 731,6 Н до 571,3 Н (в 1,2 раза) при ширине резца 30 мм и с 975,5 до 742,7 Н (в 1,3 раза) при ширине резца 40 мм.

При неизменных значения скорости резания и увеличении подачи происходит значительное увеличение составляющей силы резания  $R_x$  с 731,6 Н до 1762,4 Н (в 2,4 раза) при ширине резца 30 мм и с 975,5 Н до 2114,9 (в 2,1 раза) при ширине резца 40 мм. При снижении скорости резания и увеличении подачи значения составляющей силы резания  $R_x$  увеличиваются с 731,6 Н до 1317,9 Н (в 1,8 раза) при ширине резца 30 мм. Значения составляющей силы резания  $R_x$  при аналогичных технологических параметрах с увеличением ширины резца с 30 до 40 мм возрастает с 731,6 Н до 975,5 Н (в 1,4 раза).

Опытами установлено, что для снижения энергоемкости процесса резания конической фрезы с жидкостным наполнителем для измельчения пней при ее проектировании целесообразно использовать резцы шириной 30 мм с углом заточки 38° -40° и задний углом резца 7° -10°. При этом соотношение технологических параметров должно быть в пределах: подача, м- s (0,0015-0,0022); скорость резания, м/с- v (1,5-2,2).

Лабораторные исследования факторов, влияющих на величину осевой составляющей силы резания  $R_z$  позволяют сделать вывод о том, что с увеличением прочности древесины с 10 до 29,9 Н/мм<sup>2</sup> и угла наклона торцевой поверхности с 10 до 30° значения осевой составляющей силы резания  $R_z$  возрастает с 67,3 Н до 145,4 Н (2,1 раза). При этом следует отметить, что значения осевой составляющей силы резания  $R_z$  практически не изменяются с увеличением наклона торцевой поверхности пня и степени наполнения корпуса фрезы жидкостью. Уменьшение угла наклона режущих кромок с 55 до 45° при аналогичных режимах резания приводит к некоторому снижению величины осевой составляющей силы резания  $R_z$ .

При увеличении скорости подачи с 2 до 4,5 мм/с и уменьшении скорости вращения фрезы с 5 до 15 1/с при одинаковых углах наклона режущих кромок

величина осевой составляющей силы резания  $R_z$  увеличивается с 78,9 Н до 300,6 Н (в 3,7 раза) для осины и со 139,4 Н до 505,6 Н (в 3,5 раза) для дуба.

При увеличении скорости вращения фрезы с 5 до 15 1/с при одинаковых значениях подачи и угла наклона режущих кромок осевая составляющая силы резания  $R_z$  снижается с 249,4 Н до 115,9 Н (в 2,2 раза) для осины и с 402,6 Н до 186,6 (в 2,1 раза) для дуба. При уменьшении скорости подачи фрезы с 4,5 мм/с до 2 мм/с при одинаковых значениях подачи и угла наклона режущих кромок осевая составляющая силы резания  $R_z$  снижается с 187,7 Н до 101,3 Н (в 1,9 раза) для осины и с 326,8 Н до 176,1 (в 1,8 раза) для дуба.

В восьмой главе «Технико-экономическое обоснование применения рубительных машин фрезерного типа для получения энергетической древесины при расчистке вырубков в лесах степной и лесостепной климатических зон Поволжья» представлены результаты часовой производительности МТА в условиях лесов степной и лесостепной климатических зон Поволжья, которые показали, что: часовая производительность рубительной машины для измельчения порубочных остатков составила 28 пл. м<sup>3</sup>; часовая производительность агрегата, оснащенного конической фрезой с жидкостным наполнителем составила 31 пень твердо-и мягколиственных пород деревьев в час.

Применение гонового челночного с поворотами в виде открытой срезанной петли вида движения МТА на вырубках экономически целесообразней, так как при данном способе движения средняя суммарная длина холостых ходов при повороте на 10,5; 8,3 и 6,8 % меньше, чем при гоновом челночном с поворотами в виде закрытой срезанной петли способе движения МТА (для ширины междурядий соответственно 4, 5 и 6 м).

Экономические расчеты свидетельствуют, что применение новой рубительной машины фрезерного типа для измельчения порубочных остатков целесообразно, так как ее использование способствует повышению производительности труда в среднем на 40 %, снижению прямых затрат на 2 %. При этом экономический эффект составляет 1,9 рублей при измельчении 1 м<sup>3</sup> порубочных остатков или 101080 рубля в год при сроке окупаемости 1,9 года (21 месяц). Применение рубительной машины фрезерного типа машины для измельчения пней, оснащенной новой конструкции конической фрезы так же способствует повышению производительности труда в среднем на 5 %, снижению прямых затрат на 1,3 %. При этом экономический эффект при измельчении порубочных остатков составляет 98,6 рублей или 11593 рубля в год при сроке окупаемости 1,1 года (13 месяцев).

Использование топливной щепы, полученной из отходов при расчистке вырубков в условиях лесов степной и лесостепной климатических зон Поволжья экономически выгодно, так как: хозрасчетный эффект, измеряемый прибылью, полученной предприятием при переработке порубочных остатков при расчистке вырубков в Поволжье, составляет 95,0 руб. при переработке 1 м<sup>3</sup> отходов, а сравнительная эффективность по величине приведенных затрат составила 41,7 руб. при производстве конечного продукта из 1 м<sup>3</sup> отходов.

### Итоги выполненного исследования:

1. Анализ современных технологий и средств получения энергетической древесины показал, что они не могут в полной мере использоваться из-за специфики условий производства работ в лесах степной и лесостепной климатических зон Поволжья, а для создания нового оборудования отсутствует достаточный объем теоретических и практических исследований.

2. На основе разработанной совокупности математических моделей рабочих процессов, алгоритмов и программ для ЭВМ установлены аналитические зависимости для определения проектных параметров рубительных машин фрезерного типа и применяемого в них технологического оборудования.

3. Математическое моделирование работы рубительной машины фрезерного типа для измельчения пней позволило обосновать основные конструктивные параметры фрезы и выбрать наиболее благоприятный режим измельчения пней: угловая скорость вращения  $\omega = 5-15$  1/с и скорость подачи  $v = 2-4,5$  мм/с. Теоретическими исследованиями установлено, что с увеличением угла наклона фрезы свыше 5° происходит резкое снижение величины окружной составляющей силы резания  $R_x$  (с 831,6 Н при  $\alpha = 0^\circ$  до 50,4 Н при  $\alpha = 20^\circ$ ) при аналогичных режимах работы, что характеризует снижение производимой работы резания, а соответственно и производительности в 16,5 раз. Максимальное значение эффективная мощность имеет при угловой скорости вращения 17,0 1/с и скорости подачи, равной 3,4 мм/с. На основе математической модели изучены закономерности движения щепы измельчаемого пня и определены основные параметры щепоуловителя (радиус 0,4 м, высота 0,5 м).

4. Компьютерные эксперименты, проведенные при помощи математической модели рабочего процесса рубительной машины фрезерного типа для измельчения порубочных остатков, учитывающие породный состав и физико-механические свойства древесины, характерных для лесов степной и лесостепной зон Поволжья позволили провести обоснование параметров рубительной машины: частота вращения рубительного диска лежит в диапазоне 12 - 15 1/с; частота вращения подающих валцов от 8 1/с до 25 1/с. При этом ось рубительного диска должна быть смещена на 10 - 20 см от центрального положения по отношению к окну загрузочного патрона. Математическое моделирование процесса сбора щепы позволило определить форму и состав устройства для сбора щепы, получаемой из порубочных остатков, состоящим из бункера в виде параллелепипеда, соединенного с кожухом, закрывающим рубительный диск.

5. Разработанные математические модели механизмов подачи рубительных машин фрезерного типа позволили определить их основные конструктивно-технологические параметры и подобрать наиболее благоприятные, с точки зрения энергоемкости, режимы измельчения древесины при: угловой скорости вращения фрезы  $\omega = 1-20$  1/с, начальной скорости подачи  $v_0 = 0-0,5$  мм/с и компенсационной силы  $F_k = 9740-9800$  Н.

6. Использование рубительных машин фрезерного типа с модернизированной гидросистемой, оборудованных устройством для измельчения порубочных остатков и конической фрезой с жидкостным наполнителем позволяет

производить расчистку вырубок от отходов лесосечных работ с производительностью 28 пл. м<sup>3</sup> и 31 пень твердо-и мягколиственных пород деревьев в час, что выше, чем у применяемых образцов на 40% и 5 % соответственно.

7. Результаты теоретических и экспериментальных исследований с применением методов моделирования использованы при создании экспериментальных образцов рубительных машин фрезерного типа для измельчения порубочных остатков и пней. Установлено, что на производительность устройства для измельчения порубочных остатков влияет уменьшение угловой скорости в зоне подачи до 34,6 1/мин и увеличении угловой скорости в зоне валцов до 116,6 1/мин, что приводит к возрастанию массы полученной щепы с 40,2 до 68,2 кг (1,69 раза). Исследования показали, что максимальное значение удельная работа резания порубочных остатков имеет при скорости резания в пределах 0,48-0,54 м/с и угле заточки резца 40-44 град. при углах резания 20-40° и составляет 1,5 Нмм и 1,6 Нмм соответственно. Экспериментальное моделирование процесса резания пневмой древесины резцами для конической фрезы позволило установить, что наименьшее удельное значение составляющая силы резания  $R_x$  имеет при следующих режимах резания: скорость резания  $v$ , м/с- 1,5-2,2; подача  $S$ , мм- 0,5 до 1,5, что предполагает их использование в качестве рабочих при измельчении пней конической фрезой. Исследования влияния технологических и конструктивных параметров конической фрезы на величину осевой составляющей силы резания  $R_z$ , определено, что с увеличением прочности древесины с 10 до 29,9 Н/мм<sup>2</sup> и угла наклона торцевой поверхности с 10 до 30° значения осевой составляющей силы резания  $R_z$  возрастает с 67,3 Н до 145,4 Н (2,1 раза). При этом следует отметить, что значения осевой составляющей силы резания  $R_z$  практически не изменяются с увеличением наклона торцевой поверхности пня и степени наполнения корпуса фрезы жидкостью. Уменьшение угла наклона режущих кромок с 55 до 45° при аналогичных режимах резания приводит к некоторому снижению величины осевой составляющей силы резания  $R_z$ .

8. Годовой эффект от внедрения технологического комплекса новых рубительных машин фрезерного типа за счет улучшения технико-экономических показателей составил 112673 рубля в год с 1 га вырубок. Сравнительная эффективность при производстве 1 м<sup>3</sup> щепы из отходов лесосечных работ по величине приведенных затрат составила 41,7 руб.

#### Рекомендации производству

1. Предприятиям лесного комплекса, расположенным на территориях, относящихся к степной и лесостепной лесорастительным зонам при проведении различных видов рубок рекомендуется перерабатывать отходы лесосечных работ на топливную щепу.

2. При переработке отходов лесосечных работ на топливную щепу лесохозяйственным предприятиям рекомендуется использовать новые рубительные машины фрезерного типа с обоснованными технологическими параметрами переработки древесины.

3. При проведении работ по переработке отходов лесосечных работ на щепу рекомендуется использовать разработанный комплекс рубительных машин в условиях вырубок с проведенными лесокультурными мероприятиями с

различным количеством и породным составом пней и порубочных остатков, где состояние грунта может обеспечивать проходимость базового трактора.

4. При производстве работ по получению топливной щепы в условиях вырубок рекомендуется использовать гоновый челночный с поворотами в виде открытой срезанной петли способ движения рубительных машин фрезерного типа.

#### Перспективы дальнейшей разработки темы

С целью дальнейшего углубления разработанных научных основ рабочих процессов рубительных машин фрезерного типа средств для реализации ресурсосберегающей технологии, которой является производство топливной щепы из отходов лесосечных работ, необходимо провести оптимизацию конструктивно-технологических параметров рубительных машин фрезерного типа для измельчения порубочных остатков и пней, что позволит повысить надежность разработанных технических средств и качество производимых ими работ.

### **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

#### **В изданиях, рекомендованных ВАК**

1. Фокин, С. В. О проведении лабораторных испытаний макетного образца конической фрезы с жидкостным наполнителем для измельчения пней / С. В. Фокин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2007. – № 3. – С. 65–68 (0,38 печ. л.).

2. Фокин, С. В. К технологии полосной расчистки нераскорчеванных вырубков в степной и лесостепной зонах / В. В. Цыплаков, С. В. Фокин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2007. – № 4. – С. 90–93 (0,26/0,13 печ. л.).

3. Фокин, С. В. О проведении полевых испытаний макетного образца конической фрезы с жидкостным наполнителем для измельчения пней / С. В. Фокин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2007. – № 5. – С. 66–68 (0,38 печ. л.).

4. Фокин, С. В. О создании комплекса машин для расчистки нераскорчеванных вырубков / В. В. Цыплаков, С. В. Фокин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2008. – № 1. – С. 60–63 (0,38/0,19 печ. л.).

5. Фокин, С. В. Об автоматизированном расчете конструктивных параметров конической фрезы с жидкостным наполнителем для измельчения пней / В. В. Цыплаков, С. В. Фокин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – № 3. – С. 75–80 (0,64/0,32 печ. л.).

6. Фокин, С. В. Об измельчении пней конической фрезой с жидкостным наполнителем / В. В. Цыплаков, С. В. Фокин // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2009. – № 2. – С. 115–117 (0,32/0,16 печ. л.).

7. Фокин, С. В. Кинематика устройства и анализ работы его элементов при измельчении порубочных остатков на нераскорчеванных вырубках / С. В. Фокин // Естественные и технические науки : сб. науч. работ. – М. : Спутник+, 2010. – Вып. 6. – С. 646–649 (0,21 печ. л.).



8. Фокин, С.В. О технологии расчистки нераскорчеванных вырубок в пожароопасный период / С.В. Фокин // Научное обозрение.-2011.-№4- С.66-72(0,59 печ. л.).

9. Фокин, С.В. Об изменении динамики измельчения пней конической фрезой с жидкостным наполнителем/ С.В. Фокин // Научное обозрение.-2011.-№4-С.72-78 (0,51 печ. л.).

10. Фокин, С.В. Теоретическое обоснование основных конструктивно-технологических параметров устройства для измельчения порубочных остатков/ С.В. Фокин, А.С.Бурлаков // Инновационная деятельность.-2011.-№4-С.123-130 (1,0/0,5 печ. л.).

11. Фокин, С.В. О применении устройства для измельчения порубочных остатков при реконструкции защитных лесонасаждений /В.В.Цыплаков, С.В. Фокин // Научное обозрение.-2011.-№5- С.253-257 (0,42/0,21 печ. л.).

12. Фокин, С.В. Моделирование машины для измельчения порубочных остатков/ С.В. Фокин // Научное обозрение.-2011.-№5- С.258-265 (0,68 печ. л.).

13. Фокин, С.В. К обоснованию параметров и режимов работы устройства для измельчения порубочных остатков/ С.В. Фокин // Вестник Марийского государственного технического университета.-2011.-№3- С.36-45 (1,25 печ. л.).

14. Фокин, С.В. Об имитационной модели процесса измельчения порубочных остатков/ С.В. Фокин, А.Н.Фетяев // Научно-технический вестник Поволжья.-2012.-№2- С.291-295 (0,24/0,12 печ. л.).

15. Фокин, С.В. К построению динамической модели жидкостного наполнителя конической фрезы при измельчении пней / С. В. Фокин, О.Н. Шпортько // Естественные и технические науки : сб. науч. работ. – М. : Спутник+, 2012. – Вып. 2. – С. 466–468 (0,38/0,19 печ. л.).

16. Фокин, С.В. О влиянии конструктивных и технологических параметров машины для измельчения порубочных остатков на эффективность ее работы / С. В. Фокин, Е.В. Саввин // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3; URL: <http://www.science-education.ru/103-6453> (дата обращения: 19.06.2012).

17. Фокин, С.В. О конструкции дросселирующе-предохранительного клапана /В.В. Цыплаков, С. В. Фокин // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2012. – № 7. – С. 172–182 (0,32/0,16 печ. л.).

18. Фокин, С. В., О технико-экономических показателях работы машин для расчистки нераскорчеванных вырубок в Поволжье / С.В. Фокин, В. В.Цыплаков // Научное обозрение.-2012.-№5- С.319-322 (0,48/0,24 печ. л.).

#### Монографии

19. Фокин, С. В. Коническая фреза с жидкостным наполнителем для измельчения пней : теория, расчет, испытания / С. В. Фокин / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2007. – 160 с. (10 печ. л.).

20. Фокин, С. Совершенствование способов расчистки нераскорчеванных вырубок от пней / С. В. Фокин / LAP Lambert academic Publishing GmbH & Co. kG. - Saarbrucken (Германия).-2012.-147 с. (9,2 печ. л.).

#### Патенты и свидетельства на компьютерные программы

22. Рабочий орган для измельчения пней : Пат. 2170005 Рос. Федерация : А 01 G 23/06 / Зацепин А. В., Цыплаков В. В., Фокин С. В. ; заявители и патентообладатели А. В. Зацепин, В. В. Цыплаков, С. В. Фокин. – № 2000100067 ; заявл. 05.01.2000 ; опубл. 10.07.2001, Бюл. № 19.

23. Рабочий орган для измельчения пней : Пат. 2198502 Рос. Федерация : А 01 G 23/06 / Зацепин А. В., Цыплаков В. В., Фокин С. В. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2001109198 ; заявл. 05.04.2001 ; опубл. 20.02.2003, Бюл. № 5.

24. Рабочий орган для измельчения пней : Пат. на полезную модель 68853 Рос. Федерация : А 01 G 23/06 / Цыплаков В. В., Васильев А. Н., Шпортько О. Н., Фокин С. В. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2006109842 ; заявл. 27.03.2006 ; опубл. 10.12.2007, Бюл. № 34.

25. Машина для измельчения пней : Пат. на полезную модель 75133 Рос. Федерация : А 01 G 23/06 / Цыплаков В. В., Шпортько О. Н., Фокин С. В. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2008110127 ; заявл. 17.03.2008 ; опубл. 27.07.2008, Бюл. № 21.

26. Устройство для измельчения порубочных остатков : Пат. 2354545 Рос. Федерация : А 01 G 23/06 / Цыплаков В. В., Шпортько О. Н., Фокин С.В. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2007147160 ; заявл. 18.12.2007 ; опубл. 10.05.2009, Бюл. № 13.

27. Гидравлическая система лесохозяйственных машин : Пат. 2386233 Рос. Федерация : А 01 В 63/104 / Цыплаков В. В., Фокин С. В., Рыхлов Р.А. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2008144084 ; заявл. 05.11.2008 ; опубл. 20.04.2010, Бюл. № 11.

28. Расчет конструктивно-технологических параметров конической фрезы с жидкостным наполнителем для измельчения пней : программа для ЭВМ / Цыплаков В. В., Фокин С. В. ; правообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Заявка № 2009617526. – Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2010611612 ; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 27.02.2010.

29. Расчет конструктивно-технологических параметров устройства для измельчения порубочных остатков : программа для ЭВМ / Цыплаков В. В., Фокин С. В. ; правообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Заявка № 2009613441. – Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2009614670 ; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 01.09.2009.

30. Расчет технологических параметров измельчения пней конической фрезой с жидкостным наполнителем : программа для ЭВМ / Цыплаков В. В., Фокин С. В. ; правообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Заявка № 2009613442. – Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2009614671 ; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 01.09.2009.

31. Компьютерная программа для расчета конструктивно-технологических параметров измельчения пней конической фрезой с жидкостным наполнителем / Цыплаков В. В., Фокин С. В. ; организация-разработчик ФГОУ ВПО «Сара-

товский ГАУ». – Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 10121 ; зарегистрировано в Отраслевом фонде алгоритмов и программ 27.02.2008.

32. Компьютерная программа для расчета конструктивно-технологических параметров измельчения пней конической фрезой с жидкостным наполнителем / Цыплаков В. В., Фокин С. В. ; организация-разработчик ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 10248 ; зарегистрировано в Отраслевом фонде алгоритмов и программ 25.03.2008.

33. Компьютерная программа для расчета технологических параметров измельчения пней конической фрезой с жидкостным наполнителем / Цыплаков В. В., Фокин С. В. ; организация-разработчик ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 10802 ; зарегистрировано в Отраслевом фонде алгоритмов и программ 03.06.2008.

34. Программа для моделирования устройства для измельчения порубочных остатков / Фокин С.В. ; организация-разработчик ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ»- Заявка № 2012616308 - Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2012618513; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 19.09.2012.

35. Программа моделирования устройства для измельчения пней / Фокин С.В. ; организация-разработчик ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ»- Заявка №2012615329- Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2012617677; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 24.08.2012.

36. Программа моделирования устройства для измельчения пней и сбора щепы / Фокин С.В. ; организация-разработчик ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ»- Заявка №2012618476- Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2012660374; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 16.11.2012.

37. Программа моделирования устройства для измельчения порубочных остатков и сбора щепы / Фокин С.В. ; организация-разработчик ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ»- Заявка №2012618477- Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2012660375; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 16.11.2012.

#### В материалах российских и международных конференций

38. *Фокин, С. В.* О снижении ударных нагрузок машин и оборудования при работе на нераскорчеванных вырубках / В. В. Цыплаков, С. В. Фокин // Доклады Российской академии естественных наук. – Саратов, 2000. – Вып. 2. – С. 110–117 (0,44/0,22 печ. л.).

35. *Фокин, С. В.* О рабочем органе для понижения пней // В. В. Цыплаков, С. В. Фокин, О. Е. Федоров // Материалы научно-практической конференции с международным участием : в 2 т. / ВГЛТА. – Воронеж, 2002. – Т. 2.– С. 84–87 (0,24/0,08 печ. л.).

39. *Фокин, С. В.* О внедрении ресурсосберегающей технологии расчистки вырубок от пней / С. В. Фокин // Экология и ресурсо- и энергосберегающие технологии на предприятиях народного хозяйства (промышленность, транс-

порт, сельское хозяйство) : сб. статей VI Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза, 2006. – С. 96–98 (0,18 печ. л.).

40. *Фокин, С. В.* Совершенствование технологии расчистки вырубки на экологической основе / В. В. Цыплаков, С. В. Фокин // Музей-заповедник : экология и культура : матер. II научно-практической конференции. ст. Вешенская, Ростовской области. – Ростов н/Д., 2006. – С. 335–341 (0,12/0,06 печ. л.).

41. *Фокин, С. В.* Об использовании измельченных порубочных остатков / С. В. Фокин // Окружающая природная среда и экологическое образование и воспитание : сб. статей VII Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза, 2007. – С. 81–82 (0,12 печ. л.).

42. *Фокин, С. В.* Об актуальности проблемы совершенствования процесса расчистки нераскорчеванных вырубок / С. В. Фокин // Эколого-технологические аспекты лесного хозяйства в степи и лесостепи : матер. конф. / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2007. – С. 94–96 (0,13 печ. л.).

43. *Фокин, С. В.* К вопросу вычисления составляющих сил резания при измельчении пней конической фрезой с жидкостным наполнителем / В. В. Цыплаков, С. В. Фокин // Лесное хозяйство Поволжья : матер. Всероссийской научно-практической конференции. – Саратов, 2007. – С. 164–167 (0,26/0,13 печ. л.).

44. *Фокин, С. В.* О средствах расчистки от порубочных остатков нераскорчеванных вырубок в Поволжском ФО / С. В. Фокин / Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие России : сб. статей VI Международной научно-практической конференции / Пензенская ГСХА. – Пенза, 2008. – С. 289–291 (0,18 печ. л.).

45. *Фокин, С. В.* О конструкции измельчающих рабочих органов с наполнителями / С. В. Фокин, Э. В. Хабаров // Эколого-технологические аспекты лесного хозяйства в степи и лесостепи : матер. II Международной научно-практической конференции / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2008. – С. 125–126 (0,14/0,07 печ. л.).

46. *Фокин, С. В.* О конструкции машин для измельчения пней / С. В. Фокин // Современные проблемы теории и практики лесного хозяйства : Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения д-ра биол. наук, проф. М. Д. Данилова / Марийский гос. техн. ун-т. – Йошкар-Ола, 2008. – С. 137–140 (0,23 печ. л.).

47. *Фокин, С. В.* О конструкции машин с принудительной подачей порубочных остатков к измельчителям / С. В. Фокин // Инновационный потенциал аграрной науки – основа развития АПК : Всероссийская научно-практическая конференция, посвящ. 90-летию с.-х. образования на Урале, 21 ноября 2008 г. / ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА». – Пермь, 2008. – Ч. 1. – С. 90–94 (0,63 печ. л.).

48. *Фокин, С. В.* О конструкции машин для удаления пней на ераскорчеванных вырубках / С. В. Фокин // Вавиловские чтения – 2008 : матер. конф. / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2008. – С. 224–227 (0,63 печ. л.).

49. *Фокин, С. В.* О конструкции устройства для измельчения порубочных остатков / С. В. Фокин // Восстановление эколого-ресурсного потенциала агролесобиоценозов, лесоразведение и рациональное природопользование в Центральной лесостепи и юге России : сб. науч.-исслед. работ по материалам конф. / ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2008. – С. 186–188 (0,19 печ. л.).

50. Фокин, С. В. О немеханизированных способах расчистки нераскорчеванных вырубок / С. В. Фокин // Эколого-технологические аспекты лесного хозяйства в степи и лесостепи : матер. III Международной научно-практической конференции / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2009. – С. 47–50 (0,12 печ. л.).

51. Фокин, С. В. О гидросистеме лесохозяйственных машин / В. В. Цыплаков, С. В. Фокин // Современные проблемы оптимизации зональных и нарушенных земель : матер. Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию Воронежской школы рекультиваторщиков, 21–24 октября 2009 г. / под ред. проф. Я. В. Панкова ; ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2009. – С. 305–308 (0,24/0,12 печ. л.).

52. Фокин, С. В. О преимуществах конструкции конической фрезы с жидкостным наполнителем для измельчения пней с ближайшими аналогами / С. В. Фокин // Вавиловские чтения – 2009 : матер. конф. / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2009. – С. 253–254 (0,25 печ. л.).

53. Фокин, С. В. О совершенствовании конструкции устройства для измельчения порубочных остатков / С. В. Фокин, А. С. Бурлаков, А. Н. Фетяев // Вавиловские чтения – 2009 : матер. конф. / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2009. – С. 254–255 (0,24/0,08 печ. л.).

54. Фокин, С. В. О концепции создания комплекса машин для расчистки нераскорчеванных вырубок в Среднем Поволжье / С. В. Фокин // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки : Всероссийская научно-практическая конференция / СибГТУ. – Красноярск, 2009. – Т. 1. – С. 117–121 (0,31 печ. л.).

55. Фокин, С. В. О технологиях и средствах для расчистки нераскорчеванных вырубок от порубочных остатков / С. В. Фокин, А. С. Бурлаков // Вестник Харьковского национального технического университета им. П. Василенко. – Харьков, 2010. – Вып. 94. – С. 379–384 (0,38/0,19 печ. л.).

56. Фокин, С. В. Об изменении конструкции устройства для измельчения порубочных остатков / С. В. Фокин, А. С. Бурлаков // Вавиловские чтения – 2010 : матер. конф. / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010. – С. 97–99 (0,38/0,19 печ. л.).

57. Фокин, С. В. О работе устройства для измельчения порубочных остатков / С. В. Фокин, А. Н. Фетяев // Вавиловские чтения – 2010 : матер. конф. – Саратов, 2010. – С. 99–102 (0,38/0,19 печ. л.).

#### В изданиях местной печати

58. Фокин, С. В. О машинах и орудиях по удалению и измельчению пней / С. В. Фокин // Лесное хозяйство Поволжья : межвуз. сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 1999. – Вып. 4. – С. 230–232 (0,44 печ. л.).

59. Фокин, С. В. Об исследованиях резания древесины / С. В. Фокин // Лесное хозяйство Поволжья : межвуз. сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2002. – Вып. 5. – С. 620–623 (0,25 печ. л.).

60. Фокин, С. В. Определение диаметра рабочего органа для измельчения пней / С. В. Фокин // Саратовский ГАУ – агропромышленному комплексу Поволжского региона / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2003. – С. 708–709 (0,19 печ. л.).

61. Фокин, С. В. Об изменении высоты жидкости во вращающемся корпусе конической фрезы при неполном её заполнении / В. В. Цыплаков, С. В. Фокин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2003. – № 3. – С. 90–91 (0,26/0,13 печ. л.).

62. Фокин, С. В. Определение высоты центрирующего элемента конической фрезы / В. В. Цыплаков, С. В. Фокин // Лесное хозяйство Поволжья : межвуз. сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2003. – Вып. 6. – С. 252–255 (0,28/0,14 печ. л.).

63. Фокин, С. В. О конструкции макетного образца конической фрезы / С. В. Фокин // Молодые ученые – агропромышленному комплексу Поволжского региона : сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2004. – Вып. 2. – С. 139–142 (0,19 печ. л.).

64. Рабочий орган для измельчения пней : информлисток Саратовского ЦНТИ / сост. В. В. Цыплаков, А. В. Зацепин, С. В. Фокин. – Саратов, 2004. – № 12 (0,24/0,08 печ. л.).

65. Рабочий орган для измельчения пней : информлисток Саратовского ЦНТИ / сост. В. В. Цыплаков, А. В. Зацепин, С. В. Фокин. – Саратов, 2004. – № 17 (0,06/0,02 печ. л.).

66. Фокин, С. В. Об изменении конструкции макетного образца конической фрезы для понижения пней / С. В. Фокин // Молодые ученые – агропромышленному комплексу Поволжского региона : сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2005. – С. 175–178 (0,19 печ. л.).

67. Фокин, С. В. Компьютерная программа для расчета технологических параметров измельчения пней конической фрезой с жидкостным наполнителем / В. В. Цыплаков, С. В. Фокин // Инновации в науке и образовании. – 2008. – № 6(41). – С. 13 (0,02/0,01 печ. л.).

68. Фокин, С. В. О динамическом подходе повышения устойчивости фрезы на торцевой поверхности пня / В. В. Цыплаков, С. В. Фокин // Материалы научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов по итогам научно-исследовательской и учебно-методической работы за 2007 год / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2008. – С. 3–6 (0,18/0,09 печ. л.).

69. Фокин, С. В. К обоснованию режимов резания конической фрезой с жидкостным наполнителем для измельчения пней / С. В. Фокин // Материалы научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов по итогам научно-исследовательской и учебно-методической работы за 2007 год / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2008. – С. 18–20 (0,19 печ. л.).

70. Фокин, С. В. Компьютерная программа для расчета конструктивно-технологических параметров измельчения пней конической фрезой с жидкостным наполнителем / В. В. Цыплаков, С. В. Фокин // Инновации в науке и образовании. – 2008. – № 2(37). – С. 36 (0,02/0,01 печ. л.).

71. Фокин, С. В. Компьютерная программа для расчета конструктивно-технологических параметров измельчения пней конической фрезой с жидкостным наполнителем / В. В. Цыплаков, С. В. Фокин // Инновации в науке и образовании. – 2008. – № 3(38). – С. 23 (0,02/0,01 печ. л.).

72. Фокин, С. В. К вопросу построения математической модели устройства для измельчения порубочных остатков / С. В. Фокин / Материалы научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов по итогам научно-исследовательской и учебно-методической работы за 2008 год / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2009. – С. 17–19 (авторский вклад – 0,19 печ. л.).

73. Фокин, С. В. О технологиях и средствах расчистки нераскорчеванных вырубок в Поволжском федеральном округе / С. В. Фокин / Природопользование : ресурсы, техническое обеспечение / ГОУ ВПО «Воронежская ГЛТА». – Воронеж, 2009. – Вып. 4. – С. 189–196 (0,5 печ. л.).

74. Фокин, С. В. О влиянии жидкости на динамические характеристики конической фрезы для измельчения пней / В. В. Цыплаков, С. В. Фокин // Лесотехнический журнал / ГОУ ВПО «Воронежская ГЛТА». – Воронеж, 2011. – № 1. – С. 70–75 (0,32/0,16).

75. Фокин, С. В. О проблемах измельчения порубочных остатков на лесосеке / Е. В. Савин, С. В. Фокин // Лесотехнический журнал / ГОУ ВПО «Воронежская ГЛТА». – Воронеж, 2011. – № 2. – С. 30–31 (0,32/0,16).

76. Фокин, С. В. О способах подачи порубочных остатков в зону измельчения рубительных машин / А. Н. Фетяев, С. В. Фокин // Лесотехнический журнал / ГОУ ВПО «Воронежская ГЛТА». – Воронеж, 2011. – № 2. – С. 45–50 (0,9/0,45).

77. Фокин, С. В. О биометрических параметрах порубочных остатков / С. В. Фокин // Лесотехнический журнал / ГОУ ВПО «Воронежская ГЛТА». – Воронеж, 2011. – № 2. – С. 50–54 (0,9).

78. Фокин, С. В. О способах измельчения порубочных остатков по типу механизмов резания машин / С. В. Фокин, Е. В. Савин // Лесотехнический журнал / ГОУ ВПО «Воронежская ГЛТА». – Воронеж, 2011. – № 2. – С. 99–103 (0,9/0,45).

79. Фокин, С. В. К теории торцово-конического фрезерования пней / В. В. Цыплаков, С. В. Фокин // Лесное хозяйство Поволжья : Межвузовский сборник научных работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2002. – Вып. 5. – С. 603–613 (0,7/0,35).

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу:  
620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37. УГЛТУ, ученому секретарю диссертационного совета. e-mail: bsovet@usfeu.ru

Подп. в печать 14.03.2013. Объем 2 усл.п.л. Заказ №25. Тираж 100 экз.  
Типография ИП Зуев А.А.  
г. Саратов, ул. Рабочая, 190