

630^{x3}

Б20

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. С. М. КИРОВА

На правах рукописи

БАЛТРУШАЙТИС Антанас Юстинович

УДК 630.323:630.363

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ
ТОНКОМЕРНОЙ ДРЕВЕСИНЫ
СПИРАЛЬНО-ВИНТОВЫМИ РЕЗЦАМИ

05.21.01. «Технология и машины лесного
хозяйства и лесозаготовок»

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МИНСК — 1986

Работа выполнена в Литовском научно-исследовательском институте лесного хозяйства.

Научный руководитель — доктор технических наук,
профессор ИЕВИНЬ И. К.

Официальные оппоненты — доктор технических наук,
профессор МАЛЮГИН Т. Т.,
— кандидат технических наук,
доцент ЗАВОЙСКИХ Г. И.

Ведущее предприятие — Министерство лесного хозяйства и лесной промышленности Лит. ССР.

Защита состоится 3 июня 1986 г. в 10 час. на заседании специализированного совета К.056.01.01 в Белорусском ордена Трудового Красного Знамени технологическом институте им. С. М. Кирова (220630, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, корпус 4).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского ордена Трудового Красного Знамени технологического института имени С. М. КИРОВА.

Автореферат разослан «25.» *апреля*..... 1986 г.

**Ученый секретарь
специализированного совета**

ТРОФИМОВ С. П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года перед лесной и деревообрабатывающей промышленностью ставится задача обеспечить улучшение использования лесосирьевых ресурсов путем внедрения комплексной переработки древесного сырья, повышения эффективности переработки и использования мягколиственной древесины и древесных отходов.

Перспективным направлением, способствующим более полному использованию лесных ресурсов, является первичная переработка тонкомерной древесины и отходов лесозаготовок на лесосеке. Данный технологический процесс строится на базе самоходных или передвижных рубильных установок. Переместительные и погрузочно-разгрузочные работы, связанные с доставкой тонкомерного древесного сырья к рубильной машине, являются вспомогательными и не всегда целесообразными с точки зрения достижения конечного результата - получения технологической щепы.

Сокращения количества таких промежуточных операций и необходимых для их выполнения технических средств можно достигнуть измельчением древесины непосредственно на технологическом коридоре механизмами, конструкция которых должна отвечать специфике и условиям производства. Малогабаритные средства для переработки тонкомерной древесины на технологическом коридоре могут быть созданы используя способ измельчения спирально-винтовыми резами.

Цель исследований состояла в повышении эффективности переработки тонкомерного древесного сырья на лесосеке за счет применения разработанных спирально-винтовых измельчающих устройств.

Методы исследований. В основу изучения поставленных вопросов положен экспериментально-аналитический метод. Взаимодействие реза и древесины описано методами математического моделирования с использованием методов теории упругости, численная реализация модели осуществлена на ЭВМ с применением метода Монте-Карло. Экспериментальные исследования проводились на специально созданных стендах, применив методы тензометрирования и математического планирования экспериментов. Обработка данных проводилась методами математической статистики.

24420P

БИБЛИОТЕКА ВТИ
им. С. М. Кирова

Научная новизна заключается в разработке математической модели процесса резания для определения энергосиловых показателей при различных сочетаниях геометрических параметров реза в произвольный момент его поворота. Разработана методика экспериментальных исследований нового способа измельчения древесины, объединяющая прямые исследования реального процесса и специальные опыты, имитирующие его, сопоставление которых позволяет повысить достоверность выявленных особенностей и закономерностей. Обоснованы основные технические параметры и разработан механизм измельчения древесины на базе спирально-винтовых измельчающих устройств. Предложены принципиально новые компоновочные схемы технических средств выполнения лесозаготовительного процесса с использованием спирально-винтовых измельчающих устройств при рубках ухода и технологические схемы применения этих средств.

Практическая ценность. Вычисление энергосиловых параметров процесса измельчения, используя разработанную математическую модель, позволяет снизить объем и трудоемкость сложных экспериментальных исследований. Полученные математические зависимости, связывающие параметры измельчающего механизма с размерами предмета труда, пригодны для инженерных расчетов при конструировании спирально-винтовых измельчающих устройств. Даны рекомендации по компоновке и конструктивному исполнению ряда перспективных технических средств, применение которых позволит снизить на 10...15% удельную энергоемкость и на 50...60% удельную металлоемкость в технологических процессах переработки на щепу тонкомерных деревьев.

Реализация результатов. На основе результатов исследований сконструирован и изготовлен макетный образец срезающе-измельчающей машины для рубок ухода в молодняках. Машина включена в "Систему машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 1981-1990 гг.", часть IV - "Лесное хозяйство и защитное лесоразведение", поз. Л.61.07. Изготовлена и испытана навесная спирально-винтовая рубильная машина для измельчения древесины диаметром до 14 см на щепу при передвижении ее по технологическому коридору. На Казлу-Рудском опытно-комбинате древесных изделий изготовлены с добавкой этой щепы древесностружечные плиты. По распоряжению Гослесхоза СССР Угломирский завод специального лесного машиностроения определен в качестве изгото-

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года перед лесной и деревообрабатывающей промышленностью ставится задача обеспечить улучшение использования лесосырьевых ресурсов путем внедрения комплексной переработки древесного сырья, повышения эффективности переработки и использования мягколиственной древесины и древесных отходов.

Перспективным направлением, способствующим более полному использованию лесных ресурсов, является первичная переработка тонкомерной древесины и отходов лесозаготовок на лесосеке. Данный технологический процесс строится на базе самоходных или передвижных рубильных установок. Переместительные и погрузочно-разгрузочные работы, связанные с доставкой тонкомерного древесного сырья к рубильной машине, являются вспомогательными и не всегда целесообразными с точки зрения достижения конечного результата - получения технологической щепы.

Сокращения количества таких промежуточных операций и необходимых для их выполнения технических средств можно достигнуть измельчением древесины непосредственно на технологическом коридоре механизмами, конструкция которых должна отвечать специфике и условиям производства. Малогабаритные средства для переработки тонкомерной древесины на технологическом коридоре могут быть созданы используя способ измельчения спирально-винтовыми резами.

Цель исследований состояла в повышении эффективности переработки тонкомерного древесного сырья на лесосеке за счет применения разработанных спирально-винтовых измельчающих устройств.

Методы исследований. В основу изучения поставленных вопросов положен экспериментально-аналитический метод. Взаимодействие реза и древесины описано методами математического моделирования с использованием методов теории упругости, численная реализация модели осуществлена на ЭВМ с применением метода Монте-Карло. Экспериментальные исследования проводились на специально созданных стендах, применяя методы тензометрирования и математического планирования экспериментов. Обработка данных проводилась методами математической статистики.

Научная новизна заключается в разработке математической модели процесса резания для определения энергосиловых показателей при различных сочетаниях геометрических параметров реза в произвольный момент его поворота. Разработана методика экспериментальных исследований нового способа измельчения древесины, объединяющая данные исследования реального процесса и специальные опыты, имитирующие его, сопоставление которых позволяет повысить достоверность выявленных особенностей и закономерностей. Обоснованы основные технические параметры и разработан механизм измельчения древесины на базе спирально-винтовых измельчающих устройств. Предложены принципиально новые компоновочные схемы технических средств выполнения лесозаготовительного процесса с использованием спирально-винтовых измельчающих устройств при рубках ухода и технологические схемы применения этих средств.

Практическая ценность. Вычисление энергосиловых параметров процесса измельчения, используя разработанную математическую модель, позволяет снизить объем и трудоемкость сложных экспериментальных исследований. Полученные математические зависимости, связывающие параметры измельчающего механизма с размерами предмета труда, пригодны для инженерных расчетов при конструировании спирально-винтовых измельчающих устройств. Даны рекомендации по компоновке и конструктивному исполнению ряда перспективных технических средств, применение которых позволит снизить на 10...15% удельную энергоемкость и на 50...60% удельную металлоемкость в технологических процессах переработки на щепу тонкомерных деревьев.

Реализация результатов. На основе результатов исследований сконструирован и изготовлен макетный образец срезающе-измельчающей машины для рубок ухода в молодняках. Машина включена в "Систему машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 1981-1990 гг.", часть IV - "Лесное хозяйство и защитное лесоразведение", - паз. Л.61.07. Изготовлена и испытана навесная спирально-винтовая рубильная машина для измельчения древесины диаметром до 14 см на щепу при передвижении ее по технологическому коридору. На Казлу-Рудском опытном комбинате древесных изделий изготовлены с добавкой этой щепы древесностружечные плиты. По распоряжению Гослесхоза СССР Житомирский завод специального лесного машиностроения определен в качестве изгото-

вителя опытной партии данных рубильных установок.

Апробация работы. Основные положения и рекомендации исследований доложены и получили положительную оценку на ученых советах ЛитНИИЛХ (Каунас, 1976-1983), НИО "Силава" (Рига-Саласпилс, 1978-1981), научных конференциях Литовской ордена Трудового Красного Знамени сельскохозяйственной академии (Каунас, 1978, 1981), республиканском объединенном пленуме управления НТО лесной промышленности и хозяйства, бумажной и деревообрабатывающей промышленности (Казлу-Руда; 1983). Техничко-экономические характеристики и фотоматериал основных баз работы срезаше-измельчающей машины для рубок ухода в молодняках в виде альбома демонстрировались в 1982 г. на тематической выставке "Современная технология рубок ухода за лесом" в павильоне "Лесное хозяйство и лесная промышленность" ВДНХ СССР.

Публикация. По теме диссертации опубликовано 12 работ и получены 3 авторских свидетельства на изобретения.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести разделов, выводов, списка литературы, включающего 120 наименований, и 7 приложений. Основной материал изложен на 189 страницах, содержит 18 таблиц и 64 рисунка. Общий объем диссертации 280 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе обоснована актуальность темы и представлены основные результаты работы.

Второй раздел посвящен анализу отечественного и зарубежного опыта производства технологической щепы на лесосеке, рассмотрены конструкции, технология применения и результаты исследований спирально-винтовых измельчающих устройств для переработки тонкомерной древесины. Проведен обзор исследований по бесстружечному резанию сучьев и ствольной древесины. Сформулированы цели и задачи исследований.

В настоящее время в нашей стране для выработки щепы в условиях лесосеки применяются передвижные или самоходные рубильные установки, работающие на лесопогрузочном пункте. Измельчению предшествует большой объем погрузочно-разгрузочных и переместительных операций со значительной долей ручного труда. При пере-

работке тонкомерной древесины от рубок ухода валка производится бензопилами, подтрелевка и формирование пачек - тракторами с тросочерным оборудованием, транспортировка к рубильной машине во избежание загрязнения должна осуществляться в погруженном положении соответствующими средствами. Некоторые из перечисленных операций нецелесообразны, т.к. задача в данном случае состоит в удалении подлежащего рубке дерева, его измельчении и накоплении для дальнейшей транспортировки. Исключение из технологического процесса некоторых промежуточных звеньев возможно при создании оборудования для переработки древесины непосредственно на технологическом коридоре. Такие механизмы должны обладать небольшими габаритами и массой, низкой энергоемкостью и хорошей маневренностью. Машинизация процесса может быть достигнута применением срезочно-измельчающих машин, в качестве рабочих органов которых могут быть использованы спирально-винтовые резцы, способные осуществлять захват и срезание дерева, бесповальное измельчение в принудительной подаче и направленный отвод древесной массы. На основе спирально-винтовых резцов могут быть созданы также различные измельчающие устройства, в том числе традиционной компоновки, отличающиеся простотой конструкции, низкой металлоемкостью, высокой надежностью - известными преимуществами рабочих органов ножевого бесстружечного резания.

Способ резания древесины спирально-винтовым резцом был предложен в нашей стране А.А. Гаасом и В.М. Забегалиным и нашел применение при создании ручного электроинструмента для бесповального измельчения тонкомерной древесины от рубок ухода. В США спирально-винтовые резцы признаны перспективными для получения щепы длиной до 75 мм для специальных строительных древесностружечных плит (Р. Эр коэн, Д. Барвайс, А. Арола). В Финляндия создана навесная спирально-винтовая рубильная машина для производства топливной щепы (П. Кюльманен, П. Хаккила, К. Пирайнен). Экспериментальные исследования процесса резания носили предварительный, оценочный характер. Отсутствуют теоретические разработки, не изучена физическая сущность и закономерности процесса измельчения, что затрудняет проектирование, изготовление и эксплуатацию спирально-винтовых измельчающих устройств.

При рассмотрении работ по бесстружечному резанию сучьев и стволовой древесины внимание акцентировалось на изученности влияния угла наклона лезвия ножа к вектору скорости резания и зако-

номерности перехода стружечного резания в бесстружечное, т.к. эти явления имеют место при резании спирально-винтовыми резами. Наиболее широко указанные вопросы отражены в работах Ф.М. Манжоса, В.Г. Нестеренко, Ф.Е. Захаренкова, Е.В. Кириллова, Н.А. Шипилина, В.Н. Меньшикова, И.Ф. Курашцева, В.А. Азаренко, В.В. Овчинникова, В.В. Захарова, А.Н. Кучеренко и др.

На основании проведенного анализа сформулированы следующие задачи исследований:

- обосновать методы расчета основных кинематических параметров процесса резания древесины спирально-винтовым резом (СВР); разработать математическую модель процесса резания для аналитического расчета на ЭВМ энергосиловых показателей при различных геометрических и конструктивных параметрах СВР, и размерах измельчаемой древесины;

- экспериментально исследовать изменение силовых параметров процесса резания (крутящего момента на приводном валу реза, касательного и радиального усилий) в зависимости от породы, размеров и физического состояния древесины; определить величины некоторых показателей, необходимых для численной реализации математической модели процесса резания; оценить адекватность математической модели;

- разработать конструктивные компоновочные схемы и теоретически оценить эффективность спирально-винтовых измельчающих устройств при проведении рубок ухода с переработкой древесины на технологическом коридоре;

- обосновать требования на разработку и освоение срезаше-измельчающей машины для рубок ухода на основе результатов полевых испытаний макетного образца такой машины;

- разработать, изготовить и провести экспериментально-производственные исследования навесной спирально-винтовой рубильной установки с проведением фракционного анализа изготовленной щепы и изготовлением опытных образцов древесно-стружечных плит;

- на основании проведенных исследований выдать практические рекомендации по расчету, проектированию и применению спирально-винтовых измельчающих устройств.

В третьем разделе изложены теоретические исследования процесса резания древесины спирально-винтовым резом (СВР). Схема

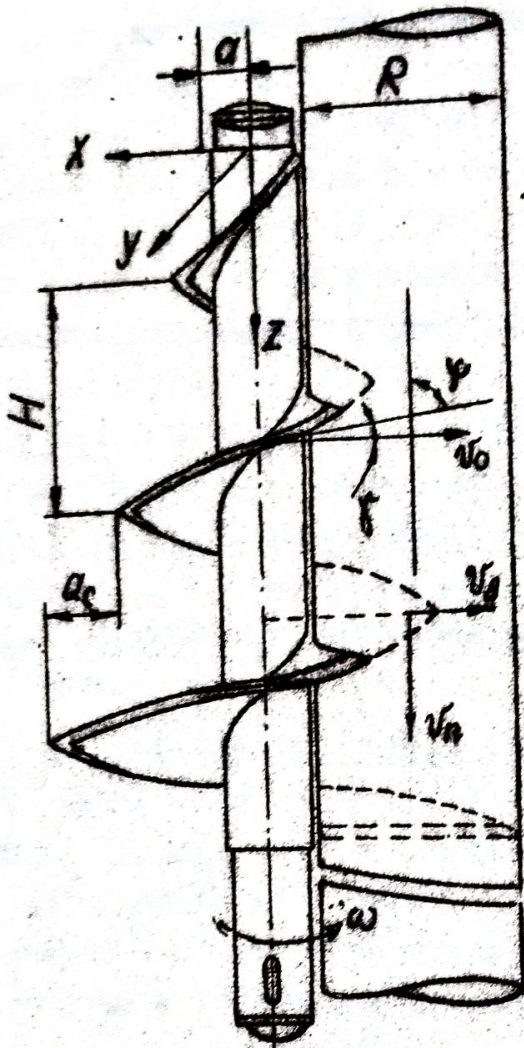


Рис. I. Схема резания спирально-винтовым резцом
 рованном значении параметра u дают на плоскости архимедовую спираль, где V означает угловую координату спирали, u - коэффициент спирали любой из множества конических винтовых линий, образующих полотно реза, ограничиваемое спиралью с коэффициентом k_1 ; a и H - соответственно радиус вала реза и шаг винтовой линии. Коэффициент спирали лезвия СВР $k_1 = a_c / \mu \pi$, где a_c - шаг спирали. Определены основные кинематические показатели процесса резания:

Окружная скорость любой точки лезвия СВР

$$v_0 = (kv + a)\omega, \text{ где } \omega - \text{угловая скорость реза. (1)}$$

Скорость внедрения лезвия в радиальном направлении

$$v_B = k\omega. \text{ (2)}$$

Скорость осевого передвижения измельчаемого дерева:

$$v_n = \omega H / 2\pi. \text{ (3)}$$

резания трехвинтовым СВР с двухсторонним заострением представлена на рис. I. Лезвие реза является конической винтовой линией, горизонтальная проекция которой - спираль Архимеда. Тело реза ограничивается винтовыми поверхностями - прямыми геликоидами ("полотно" реза), наклонными геликоидами (заостренная часть) и цилиндрической поверхностью вала реза.

Параметрические уравнения полотна реза:

$$\begin{aligned} x &= (uV + a) \cos V \\ y &= (uV + a) \sin V \\ z &= \frac{H}{2\pi} V, \quad (u, V) \in D, \end{aligned}$$

где область D описывается неравенствами $0 \leq u \leq k_1$;

$0 \leq V \leq 6\pi$. Первые два уравнения системы при фиксации

уравнения системы при фиксации

уравнения системы при фиксации

уравнения системы при фиксации

уравнения системы при фиксации

уравнения системы при фиксации

уравнения системы при фиксации

уравнения системы при фиксации

уравнения системы при фиксации

уравнения системы при фиксации

уравнения системы при фиксации

уравнения системы при фиксации

уравнения системы при фиксации

уравнения системы при фиксации

уравнения системы при фиксации

уравнения системы при фиксации

уравнения системы при фиксации

Угол встречи в любой точке лезвия резца (угол между скоростью резания v_0 в данной точке и нормалью к лезвию)

$$\varphi_B = \arctg \left(v + \frac{a}{k} \right). \quad (4)$$

Угол перерезания волокон

$$\psi = \frac{kv + a}{\sqrt{(kv + a)^2 + (H/2\pi)^2}}. \quad (5)$$

Основные кинематические параметры СВР, исследованного экспериментально при $\omega = 10,5$ рад/с; $k = 0,0051$ м, $a_c = 0,02$ м, $H = 0,006$ м, составляли: $v_0 = 0,21 \dots 1,22$ м/с; $v_B = 0,054$ м/с, $v_n = 0,16$ м/с, $\varphi_B = 75,7^\circ \dots 87,5^\circ$, $\psi = 52,6^\circ \dots 82,5^\circ$.

Энергосиловую сторону процесса взаимодействия рабочих поверхностей резца и древесины наиболее полно отражает момент сопротивления на приводном валу СВР. Для определения величины этого момента при различных сочетаниях геометрических параметров СВР, внедрившегося в древесину диаметром $R = 6\pi k_1$ (рис. 1; дерево описывается цилиндрической поверхностью $(x-a)^2 + y^2 = R(x-a)$) была разработана математическая модель процесса резания. На заостренную часть резца воздействует удельное давление $\sigma_{в.см}$. (временное сопротивление смятию древесины передней гранью). В

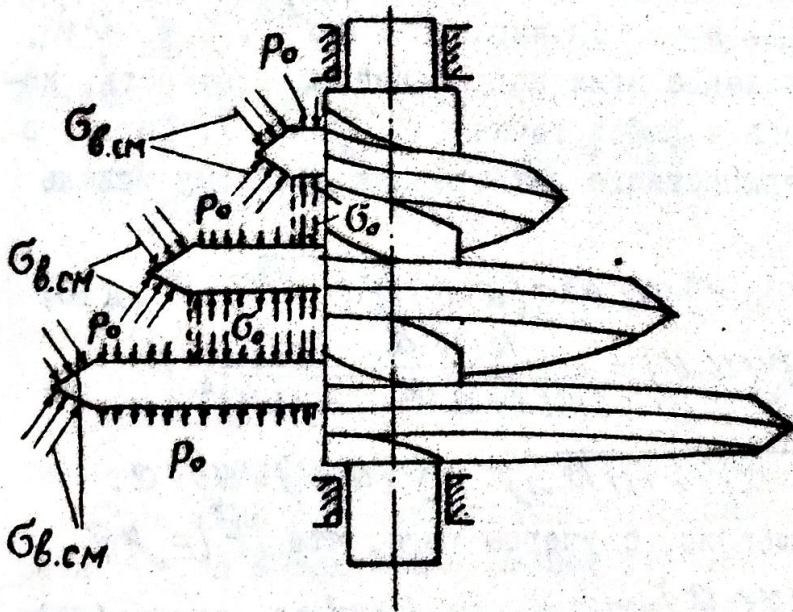


Рис. 2. Моделирование воздействий на рабочие поверхности внедрившегося в древесину спирально-винтового резца

каждой точке полота (x, y, z) при его вращении действуют элементарные силы трения $F_i = \sigma_{в.см}$, причем удельное давление σ в зависимости от его локализации принимает величину σ_0 или P_0 (рис. 2). σ_0 характеризует осевое напряженное состояние древесины, сжатой меж-

ду двумя соседними витками СВР, а P_0 - удельное давление от упругого восстановления волокон смятой передней гранью древесины, (μ - коэффициент трения древесины по полотну резца). Проекция на плоскость x, y , силы трения \vec{F}_i , действующей на элементарной площадке dS_i внедрившейся части полотна для любого витка резца равна

$$B_i = |\vec{F}_i| \cos \gamma(x_i, y_i, z_i), \quad (6)$$

где γ - угол между \vec{F}_i и плоскостью xy .

Сила трения \vec{F}_i перпендикулярна $\rho(x, y, z)$ от точки ее приложения до оси Oz . Тогда момент от сопротивлений по площади dS_i

$$M_i(x_i, y_i, z_i) = |\vec{F}_i| \cos \gamma(x_i, y_i, z_i) \rho(x_i, y_i, z_i) dS_i. \quad (7)$$

Модуль момента по всей винтовой поверхности внедрившейся в древесину части полотна резца

$$M = \sum_{i=1}^n |\vec{F}_i| \cos \gamma(x_i, y_i, z_i) \rho(x_i, y_i, z_i) dS_i. \quad (8)$$

Используя определение поверхностных интегралов первого типа и переходя к пределу $\max dS_i \rightarrow 0$, получаем

$$M = \iint_S |\vec{F}_i| \cos \gamma(x, y, z) \rho(x, y, z) dS. \quad (9)$$

Экспериментально были установлены численные величины осевых напряжений σ_0 (действующих вдоль волокон перерезаемого образца), поэтому в модель (9) вводится выражение $\cos^2 \beta(x, y, z)$, учитывающее перераспределение этих напряжений на плоскость, касательную к полотну резца в любой точке (x, y, z) . Тогда, с учетом перехода от поверхностного интеграла к двойному модель (9) принимает вид:

$$M = \iint_D |\vec{F}_i| \cos^2 \beta(u, v) \cos \gamma(u, v) \rho(u, v) \sqrt{EG-F^2}, \quad (10)$$

где: $\cos \beta(u, v) = \cos \gamma(u, v) = \frac{uv+a}{\sqrt{(uv+a)^2 + (H/2\pi)^2}}$;

$$\sqrt{EG-F^2} = v \sqrt{(uv+a)^2 + (H/2\pi)^2}; \quad \rho(u, v) = uv+a.$$

Окончательный вид модели, с учетом того, что $|\vec{F}| = \mu \sigma$

$$M = \mu \sigma^2 \iint_D \frac{v(uv+a)}{(uv+a)^2 + (H/2\pi)^2} du dv. \quad (11)$$

Аналогичным путем было получено выражение для определения момента, возникающего от сопротивлений на заостренной части резца

$$M_r = \int \int_{\Omega} \sigma_{в.см} \frac{k_1^3 g^4(t, v)}{\sqrt{1+k_1^2 g^2(t, v)} \sqrt{g^2(t, v)(k_1^2 + b^2) + (b - \frac{H}{2\pi})^2 k_1^2}} + (12)$$

$$+ \sigma_{в.см} k_1 (b - \frac{H}{2\pi}) g(t, v) dt dv,$$

$$b = \frac{H}{2\pi} - k_1 \operatorname{tg} \delta^v.$$

где δ^v - угол заострения.

Области интегрирования определялись по отображению реальных винтовых поверхностей на плоскости (u, v) и (t, v) (для выражения (12)). Численная реализация модели проводилась на ЭВМ для двух типов трехвинтовых резцов. Конструктивное исполнение первого из них аналогичное СР, с которым проводились экспериментальные исследования. Заострение - двухстороннее, 0,52 рад, толщина полотна - 4,5 мм. Момент сопротивления рассчитывался для следующих сочетаний винтового и спирального шагов: H - 5; 10; 12,5; 15; 17,5; 20 см, a_c - 3,2; 3,9; 4,6; 5,3; 6,0; 6,7 см. Установлено, что сопротивление на полотне реза составляет до 78% от общих энергозатрат измельчения. Второй тип СВР имеет одностороннюю заточку, толщина полотна - 10 мм. Интервал варьирования H и a_c аналогичен, как у реза первого типа. По результатам вычислений для средних и максимальных величин моментов от сопротивлений на передней грани M^r , полотне M^n и суммарной величины $M^c = M^r + M^n$ составлены уравнения двумерной регрессии:

$$M_{ср, макс}^r = A_1 e^{A_2 a_c + A_3 H} \quad (13)$$

$$M_{ср, макс}^{n, c} = A_1 a_c^{A_2} H^{A_3} \quad (14)$$

Величины коэффициентов A_1, A_2, A_3 и статистические показатели аппроксимации представлены в таблице I.

Сравнение средних величин суммарных моментов сопротивления резанию для обоих типов резцов показано на рис. 3. Из данных зависимостей следует, что энергоемкость процесса резания СВР второго типа до 2,9 раза меньше, чем у реза с двухсторонней заточкой.

Расхождение между расчетными и экспериментальными данными не превышает 10...26%.

Коэффициенты двумерной регрессии

Моменты	A_1	A_2	A_3	η	$\sigma, \text{Нм}$	F	$\epsilon, \%$
Симметрическая заточка							
$M_{\text{ср.}}^{\Gamma}$	182,756	59,512	-8,477	0,976	265,9	350,2	17,26
$M_{\text{макс}}^{\Gamma}$	208,259	59,432	8,559	0,976	300,1	351,6	17,31
$M_{\text{ср.}}^{\Pi}$	7102390	2,736	-0,137	0,998	104,0	5120,8	3,55
$M_{\text{макс.}}^{\Pi}$	7487890	2,688	-0,157	0,997	166,5	3123,3	4,49
$M_{\text{ср.}}^{\text{с}}$	6404730	2,759	-0,413	0,995	280,9	1793,3	6,28
$M_{\text{макс}}^{\text{с}}$	7155690	2,726	-0,407	0,995	351,4	1656,1	6,46
Односторонняя заточка							
$M_{\text{ср.}}^{\Gamma}$	367,722	54,104	-8,870	0,982	321,4	435,9	14,64
$M_{\text{макс.}}^{\Gamma}$	418,975	54,136	-8,998	0,983	351,8	499,4	14,20

η - корреляционное отношение; σ - среднеквадратическое отклонение; F - критерий достоверности Фишера; ϵ - относительная ошибка аппроксимации.

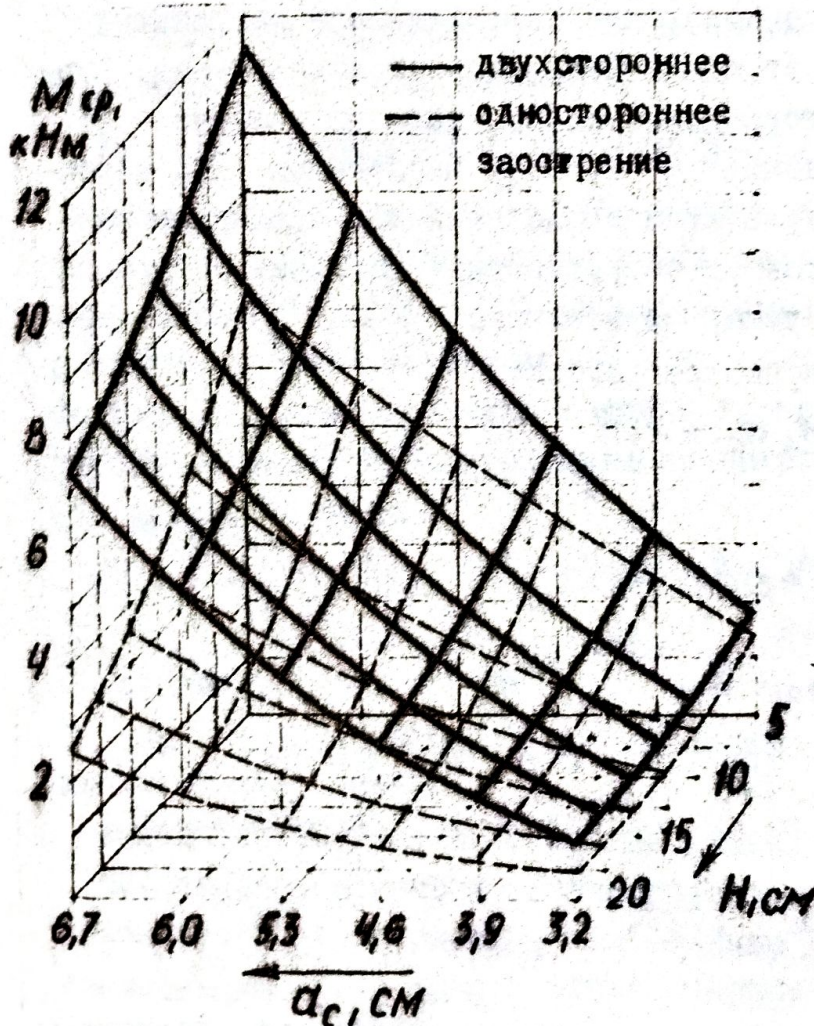


Рис. 3. Влияние параметров СВР на $M_{\text{ср}}$

Результаты проведенных расчетов указывают на необходимость снижения или полного исключения сопротивлений трения по полотну резца. Этого можно достигнуть образованием поднутрения по полотну, применением резцов с увеличивающимся шагом и др. Весьма энергоемким оказался также СВР с односторонней заточкой (соответствует финской конструкции, см. патент СССР № 1056886). На основе анализа получен-

ных результатов разработана конструкция СВР для выработки щепы, применение которого позволяет практически исключить сопротивления по полотну реза (а.с. СССР № 1140955).

В четвертом разделе изложены задачи и методика экспериментальных исследований процесса резания древесины спирально-винтовым резом, перерабатывающим древесные стволы на цилиндрические фракции. Представлены также специальные опыты по определению удельного давления на полотно реза σ_0 . Параметры процесса резания СВР исследовались на специально изготовленном стенде, включающем приводную станцию с электромотором и гидронасосом, и измельчающий узел, в котором вращение гидромотора посредством редуктора и цепной передачи передается спирально-винтовому резцу. Установлены органы для управления и предохранения гидропередачи. Опыты проводились с образцами свежесрубленной древесины березы, ели, сосны и осины (влажность $W = 55...75\%$), а также воздушно-сухой ($W = 20...25\%$) и мерзлой (температура $-8...-10^{\circ}\text{C}$) березы. Диаметр образцов варьировал в пределах $20...60$ мм. С помощью тензометрических датчиков измерялись момент сопротивления резанию на валу реза M , радиальное P_p и перпендикулярное к нему касательное P_k усилия резания. По специальной методике определялись также численные величины $\sigma_{в.см.}$. Силовые параметры, угол поворота реза и время протекающих процессов фиксировались на осциллограмме с помощью тензометрического усилителя и светолучевого осциллографа. СВР был изготовлен фрезерованием из цельной заготовки с последующим шлифованием рабочих поверхностей. Геометрические параметры реза составляли (см. рис. 1):

$H = 0,096$ м, $a_c = 0,032$ м, толщина полотна $4,5$ мм, заострение двухстороннее под углом $0,52$ рад. Опыты по определению удельного нормального давления на полотно реза σ_0 проводились на фрезерном станке ВФ-222 с помощью специального устройства, позволяющего имитировать напряженное состояние сжатой между двумя витками СВР древесины. Это достигалось прорезанием образцов, упирающихся торцами в оправку, плоским спиралеобразным резом толщиной $4,5$ мм. Замерялись торцевые реакции, по которым вычислялось σ_0 . Длина образцов (имитирующая винтовой шаг H) составляла $10, 15$ и 20 см, диаметр - $3,0, 4,5$ и $6,0$ см.

В пятом разделе приведены результаты экспериментальных исследований. Полученные зависимости средних и максимальных вели-

тии M , R_k и R_p от диаметра, породы и физического состояния древесины выражены уравнениями регрессии. Выявлена прямо пропорциональная связь между $M_{ср}$, $R_{k,ср}$ и площадью поперечного сечения образцов. При резании воздушносухой древесины $M_{ср}$ на 13,8...21,8%, мерзлой на 23,9...34,5% превышает аналогичный показатель для свежесрубленной древесины. Для $M_{макс}$ превышение составляет 7...25% и 11...17%. Соотношение $M_{ср}/M_{макс}$ в исследованном диапазоне диаметров образцов составляет: для свежесрубленной древесины 0,66...0,82, воздушносухой 0,60...0,86, мерзлой 0,70...0,88.

На преодоление сопротивлений, возникающих при скольжении древесины по направляющему упору, расходуется 14,8...20,3% от общих

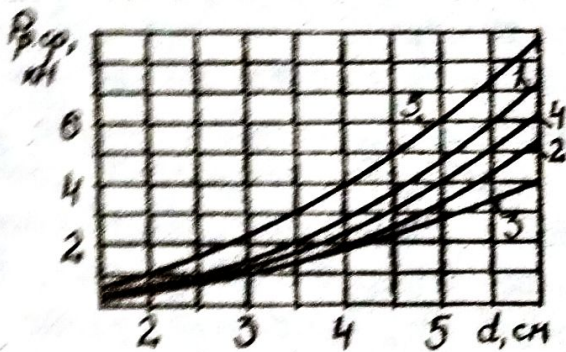
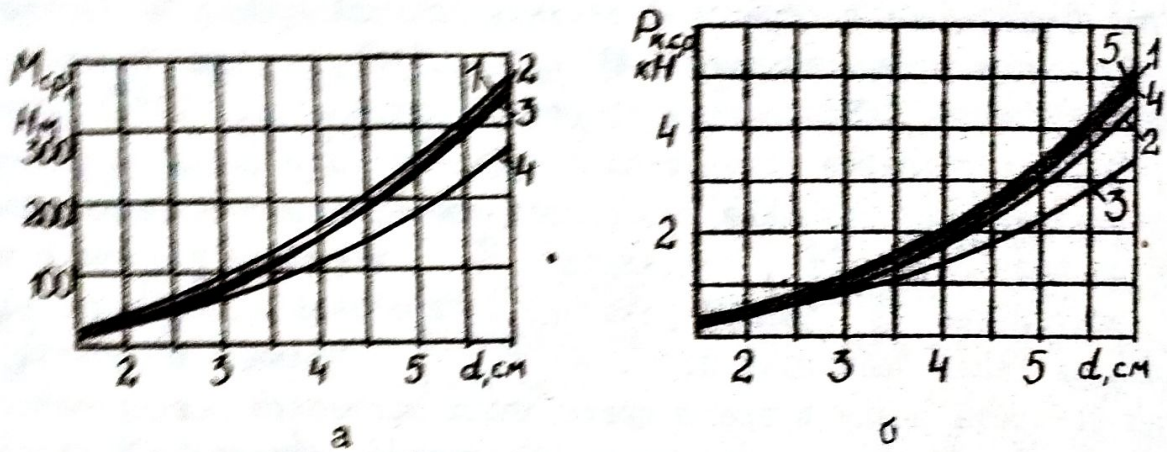


Рис. 4. Изменение $M_{ср}$. (а), $R_{k,ср}$. (б) и $R_{p,ср}$. (в) от породы и диаметра образцов: 1 - береза, 2 - ель, 3 - сосна, 4 - осина, 5 - береза мерзлая

энергозатрат измельчения, что указывает на целесообразность применения роликового упора. На рис. 4 приведены зависимости силовых параметров свежесрубленной древесины от диаметра образцов. Рис. 5 представляет изменение энергоемкости процесса измельчения.

Удельное нормальное давление на передней грани ($\sigma_{в.сн}$) СВР при резании мерзлой березы составляет 19,3 МПа. Для свежесрубленных березы, ели, сосны и осины оно равно соответственно 11,8; 10,4; 10,3 и

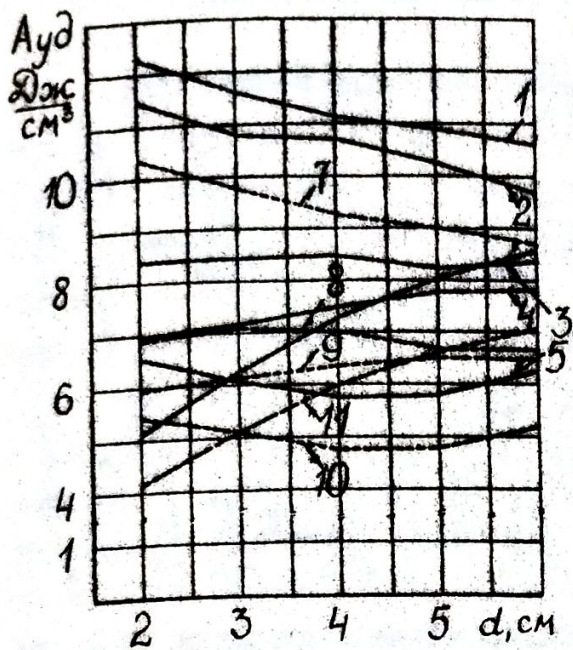


Рис. 5. Удельная энергоёмкость измельчения: 1,7 - береза мерзлая, 2 - береза воздушносухая, 3,8 - береза свежерубленая, 4,9 - ель, 6,11 - осина, - - - работа резания, — то же, учитывая сопротивления на упоре

мельчающей машины. Изготовлен экспериментальный образец навесной спирально-винтовой рубильной машины (СВРМ) к трактору МТЗ-82 для выработки щепы в условиях пасаки. В машине применен разработанный на основе теоретических и экспериментальных исследований спирально-винтовой резец, масса которого 12 кг (рис. 6). СВРМ массой 120 кг (без трубы выдува) измельчает древесину диаметром до 14 см, скорость подачи самим резцом составляет 1,2 м/с. Машина оборудуется телескопическим манипулятором МТТ-10 с вылетом стрелы 10,5 м для подтаскивания из пасаки пачек тонкомерных деревьев (рис. 7). Энергоёмкость измельчения при длине щепы 60 мм составляет 0,8 кВт·ч/м³. Производительность измельчения пелых тонкомерных деревьев при ручной непрерывной подаче по одному дереву представлена на рис. 8.

Проведен фракционный анализ заготовленной щепы и изготовлены экспериментальные образцы опытных древесностружечных плит. Годовой экономический эффект от внедрения одной машины СВРМ 4100 руб.

12,9 МПа.

В результате реализации полного двухфакторного эксперимента получена следующая модель влияния диаметра d , (мм) и длины образцов (винтового шага) H , (мм) на удельное нормальное давление на полотно СВР

$$\sigma_y = 4,310 - 0,0153d - 0,0016H, \quad (\text{МПа}). \quad (15)$$

В шестом разделе рассмотрены вопросы практического применения результатов исследований. Проанализированы технологии применения предложенных спирально-винтовых измельчающих устройств. Приведены результаты испытаний макетного образца срезающе-из-

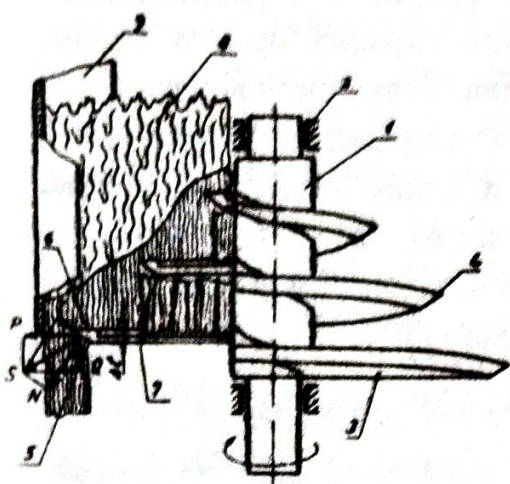


Рис. 6. Схема стружкообразования при резании СВР (по а.с. № 1140955).



Рис. 7. Выработка щепы на пасеке.

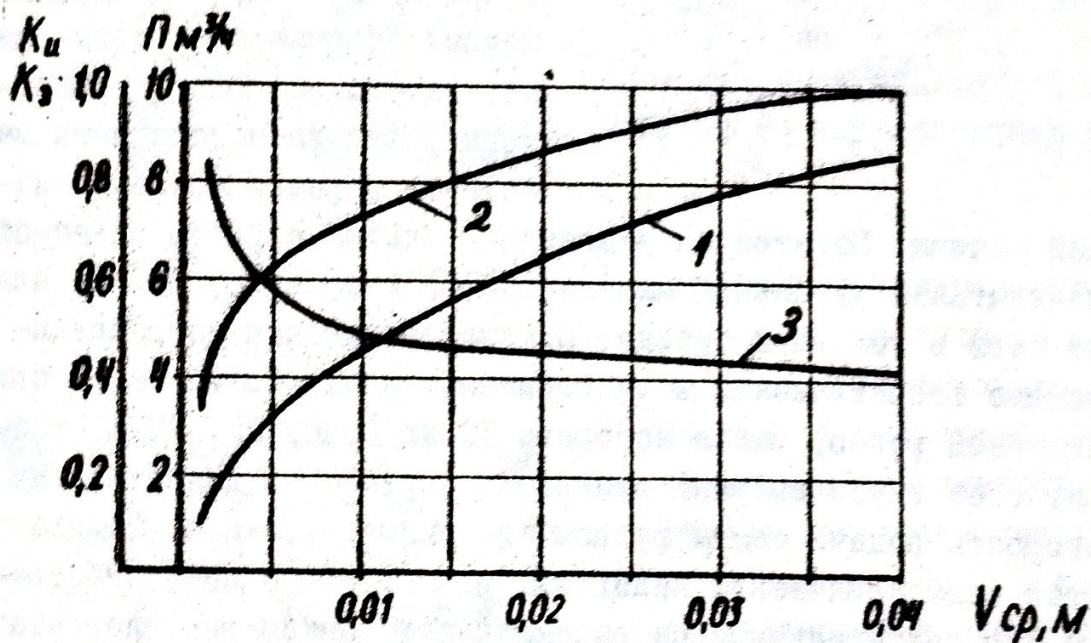


Рис. 8. Показатели процесса измельчения СВР:
 1 - кривая производительности; 2 - изменение коэффициента использования; 3 - изменение коэффициента эффективности подачи (учитывает необходимость ручной подачи ветвей диаметром менее 1 см).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Предложенный новый режущий орган - спирально-винтовой резец - является многооперационным инструментом, способным осуществлять захват и срезание дерева, бесповальное его измельчение без дополнительных удерживающих устройств и механизмов принудительной подачи, производить направленный отвод измельченной древесной массы. Эти качества позволили разработать ряд схем лесозаготовительного оборудования, в том числе нового, создание которого было невозможно на базе традиционных средств резания древесины. К ним относятся; срезочно-измельчающая машина для рубок ухода в молодняках; выносной манипуляторный измельчитель для переработки тонкомерного древесного сырья в местах его накопления на пашеке, без предварительного подтаскивания к технологическому коридору; навесная спирально-винтовая рубильная установка.

2. Разработаны основные теоретические положения процесса резания древесины спирально-винтовым резцом. С помощью математической модели процесса резания определены моменты сопротивления на приводном валу резца для различных сочетаний его геометрических параметров. В результате численной реализации математической модели установлено, что средний $M_{\text{ср}}$ и максимальный $M_{\text{макс}}$ моменты сопротивления резанию круглой древесины с ростом диаметра увеличиваются согласно уравнению квадратической параболы. Увеличение шага винтовой линии резца (длины отрезаемых образцов) приводит к снижению $M_{\text{ср}}$ и $M_{\text{макс}}$ по убывающей ветви квадратической параболы. В исследованном интервале варьирования спирального и винтового шагов резца сопротивления, возникающие на его заостренной части, составляют 22...48% от общей энергоемкости процесса резания. Следовательно, до 78% энергозатрат расходуются на преодоление сопротивлений трения на винтовой поверхности ("полотне") спирально-винтового резца. С целью снижения данных сопротивлений следует применять резцы с увеличивающимся винтовым шагом или с поднутрением на винтовой поверхности.

3. Экспериментальными исследованиями были установлены следующие особенности и закономерности процесса резания древесины спирально-винтовым резцом:

- с увеличением диаметра измельчаемых стволов средние и максимальные величины момента сопротивления резанию, касательного и радиального усилий резания возрастают по восходящей ветви

квадратической параболы. Средний момент сопротивления резанию $M_{ор}$ и среднее касательное усилие резания $P_{к.ср.}$ в исследованном диапазоне диаметров прямо пропорциональны площади поперечного сечения образцов;

- наименьшие энергосиловые параметры процесса резания получены на опытах со свежесрубленной древесиной сосны, наибольшие - березы. Средний момент сопротивления резанию мерзлой древесины березы в 1,36 раза, а воздушносухой в 1,20 раза больше, чем свежесрубленной;

- в зависимости от породы и диаметра измельчаемой древесины на преодоление сопротивлений, возникающих на направляющем упоре, расходуется 14,8...20,3% общих энергозатрат резания;

- при резании древесины березы, ели и сосны, с ростом диаметра удельная энергоемкость изменяется незначительно, с некоторой тенденцией к снижению. Наименьшие энергозатраты получены при измельчении древесины сосны - 1,32...1,50 кВт ч/м³, наибольшие - березы мерзлой - 2,41...2,88 кВт ч/м³;

- удельное нормальное давление на передней грани спирально-винтового реза при резании березы мерзлой составляет 19,3 МПа. Для свежесрубленных березы, ели, сосны и осины удельное давление равно соответственно 14,5, 10,4, 10,2 и 12,9 МПа. Удельное нормальное давление на винтовую поверхность ("полотно") спирально-винтового реза для этих же пород составляет соответственно 3,52, 3,29, 2,77 и 3,38 МПа;

- увеличение винтового шага спирально-винтового реза и диаметра измельчаемой древесины приводит к снижению удельного нормального давления на винтовую поверхность реза по линейному закону. При двукратном изменении шага и диаметра, удельное давление уменьшается соответственно на 4,6% и 12,7%.

4. Измельчение древесины спирально-винтовыми резами может осуществляться, в зависимости от их геометрических параметров, на цилиндрические фракции или на щепу требуемых размеров. Разработана конструкция и обоснованы геометрические параметры спирально-винтовых резов для переработки древесины на щепу. Полученная щепа пригодна для древесноплитного и гидролизного производства.

5. На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований изготовлена навесная спирально-винтовая рубильная установка и проведены экспериментально-производственные испыта-

ния. Применение предлагаемого оборудования позволит снизить на 10...15% удельную энергоемкость и на 50...60% удельную металлоемкость в технологических процессах переработки на щепу тонкомерных деревьев. Годовой экономический эффект от использования установки составляет 4170 рублей.

8. Широкий выбор возможных областей применения спирально-винтовых измельчающих устройств, простота и надежность их конструкций, низкая металлоемкость и энергоемкость, выявленные проведенными исследованиями, обосновывают вывод о перспективности данного способа переработки и необходимости дальнейших исследований, направленных на создание и внедрение новой техники для заготовки и использования тонкомерной древесины.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Балтрушайтис А.Ю. Увеличение выхода древесного сырья путем измельчения тонкомерной древесины на лесосеке. - Труды XXIV научно-технической конференции ЛитСХА. Лесное хозяйство и лесная промышленность. - Каунас: ЛитСХА, 1976, с. 101-102.

2. Балтрушайтис А.Ю. Экспериментальное исследование резания древесины спирально-винтовым резцом. - В кн.: Совершенствование конструкций сельскохозяйственных машин. Проблемы экономики. - Вильнюс: Райде, 1981, с. 11-13, на лит. яз.

3. Балтрушайтис А.Ю., Леонавичюс Л.Л., Раманаускас Р.П. Работа резания при использовании спирально-винтовых резцов. - В кн.: Совершенствование конструкций сельскохозяйственных машин. Проблемы экономики. Науч. тр. ЛитСХА. - Вильнюс: Райде, 1981, с. 13-16, на лит. яз.

4. Балтрушайтис А.Ю., Леонавичюс Л.Л., Раманаускас Р.П. Новая техника для проведения рубок ухода. - В кн.: Проблемы охраны флоры и фауны. Науч. труд. ЛитСХА. - Каунас-Норейкишкес, 1981, с. 25-26, на лит. яз.

5. Балтрушайтис А.Ю., Леонавичюс Л.Л., Раманаускас Р.П. Новые средства механизации для несплошных рубок. - Лесоэксплуатация и лесосплав, 1982, № 9, - с. 6.

6. Балтрушайтис А.Ю., Леонавичюс Л.Л., Землис П.И. - Указатель рукописей, депонированных в ЛитНИИЛХ в 1982 г., № 2 (14). - Вильнюс, 1982.

7. Балтрушайтис А.Ю., Леонавичюс Л.Л., Раманаускас Р.П. Аналитическое исследование процесса резания древесины спиральным

резном. - В кн.: Вопросы формирования и защиты максимально продуктивных насаждений. Науч. тр. ЛитНИИЛХ, т. XXII. - Вильнюс: Моклас, 1982, с. 126-132.

8. Иевинь И.К., Балтрушайтис А.Ю. Метод определения удельного давления на передней грани реза. - В кн.: Усовершенствование технологии ремонта сельскохозяйственных машин. Проблемы экономики. Науч.тр. ЛитСХА. - Вильнюс: Райде, 1982, с. 27-31.

9. Иевинь И.К., Балтрушайтис А.Ю., Леонавичюс Л.Л. К вопросу машинного способа рубок ухода в молодняках. - В кн.: Лесные ресурсы: контроль, использование и воспроизводство. Науч.тр. ЛитСХА, т. XXVIII. - Вильнюс; Моклас, 1982, с. 63-70.

10. Балтрушайтис А.Ю., Раманаускас Р.П., Леонавичюс Л.Л. Экспериментальное исследование бесстружечного резания древесины спирально-винтовым резном. - В кн.: Лесоводственные и экологические исследования. Науч.тр. ЛитНИИЛХ, т. XXIII. - Вильнюс: Моклас, 1983, с. 151-158.

11. Балтрушайтис А.Ю., Бистрипкас В.М., Раманаускас Р.П. Вн-работка щепы спирально-винтовыми измельчающими устройствами. - Каунас: Райде, 1984. - с. 26.

12. Балтрушайтис А.Ю. Применение спирально-винтовых измельчающих устройств для переработки тонкомерной древесины. - В кн.: Механизация и технология несплошных рубок леса. - Вильнюс: Моклас, 1985, - с. 26-41.

13. А.С. 592393 СССР, МКИ² А01G 23/08. Устройство для измельчения древесины. /Кайрюкшис Л.А., Раманаускас Р.П., Балтрушайтис А.Ю. - Оpubл. 15.02.78, Бюл. № 6-2с.: ил.

14. А.с. 604540 СССР; МКИ² А01G 23/08. Машина для рубок ухода в молодняках. /Кайрюкшис Л.А., Раманаускас Р.П., Балтрушайтис А.Ю. / - Оpubл. 30.04.78, Бюл. № 16 - 4с.: ил.

15. А.С. 1140955 СССР, МКИ³ В27L 11/00. Спирально-винтовой резец для измельчения древесины на щепу. /Балтрушайтис А.Ю., Раманаускас Р.П. - Оpubл. 23.02.85. Бюл. № 7. - 2с.: ил.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями просим прислать по адресу : 220630, г. Минск, ул. Свердлова, 13^а, БТИ.

Ответственный редактор к.т.н. **Л.Л. Леснавичюс**.
Подписано к печати 86.04.21. ЛВ 00433. Тираж 100 экз. I п.л.
Бесплатно. Отпечатано на ротопринтере типографии "Райде" г. Каунас,
ул. Спаустувиннику II. Заказ № 11365