

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 674.914 : 674.338

РАПОВЕЦ
Вячеслав Валерьевич

**КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ ФРЕЗАМИ
СО СПИРАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ СБОРНЫХ ДВУХЛЕЗВИЙНЫХ
НОЖЕЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ
И СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.21.05 – древесиноведение, технология
и оборудование деревопереработки

Минск 2011

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов

Научный руководитель

Гришкевич Александр Александрович,
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой деревообрабатывающих станков и инструментов учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет»

Официальные оппоненты:

Алифанов Александр Викторович,
доктор технических наук, профессор, учреждение образования «Барановичский государственный университет», кафедра технологии и оборудования машиностроения;

Шетько Сергей Васильевич,
кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии и дизайна изделий из древесины учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет»

Оппонирующая организация

Государственное научное учреждение «Физико-технический институт НАН Беларуси»

Защита состоится « 29 » июня 2011 г. в 14.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.06 в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» по адресу: 220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, в ауд. 240, корп. 4. Тел.: (017) 227-43-25, факс: (017) 227-62-17, электронная почта: root@bstu.unibel.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Автореферат разослан « 27 » мая 2011 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
кандидат технических наук



Мохов С.П.

ВВЕДЕНИЕ

Комплексная обработка древесины включает совмещение нескольких технологических операций на одной линии с одновременным получением пилопродукции и технологической щепы и реализацией безотходной технологии переработки сырья. Такую функцию выполняют фрезерно-брусующие механизированные и автоматизированные линии, обеспечивающие высокую производительность. Это и предопределило использование таких технологий производителями в области лесопиления в ведущих мировых странах, в том числе и Республике Беларусь.

В состав фрезерно-брусующих линий входят фрезерно-брусующие станки (ФБС), оснащенные специальным режущим инструментом – фрезами со спиральным расположением цельных двухлезвийных ножей. Эксплуатируются линии фирм A. Costa righi, Storti (Италия), SAB (Германия) и др., получившие наибольшее распространение и на лесопильно-древеснообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь.

Конструкции цельных двухлезвийных ножей, жестко закрепленных во фрезах, не позволяют варьировать их геометрические параметры и управлять тем самым энергоемкостью процесса резания и качеством получаемой продукции.

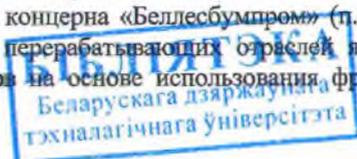
В диссертационной работе впервые предложено использовать сборные двухлезвийные ножи для фрезерно-брусующих станков, которые позволяют изменять их геометрические параметры и устанавливать энергосберегающие режимы за счет снижения сил резания с обеспечением выпуска высококачественной продукции. Снижение сил резания позволяет также повысить выход пилопродукции за счет исключения сколов на кромках бруса и уменьшить затраты на эксплуатацию сборных режущих ножей вследствие раздельной переподготовки лезвий.

В Республике Беларусь, согласно прогнозным данным Министерства экономики, общий объем заготовок ликвидной древесины планируется к 2015 году увеличить до 16,7 млн. м³. При этом выпуск пилопродукции – в объеме порядка 6,1 млн. м³. Кроме того, для изготовления плитных материалов (ДСП, ДВП, МДФ) планируется дальнейшее увеличение производства технологической щепы, объемы которой составят более 1 млн. м³.

Поэтому исследования по совершенствованию комплексной технологии фрезерования древесины на основе разработки энергосберегающих режимов, обеспечивающих качество продукции, с использованием фрез со сборными двухлезвийными ножами являются актуальными и имеют научное и практическое значение.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами. В Государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2007–2010 гг., утвержденной Указом Президента Республики Беларусь от 26.03.2007 г. № 136, обозначено, что для предприятий концерна «Беллесбумпром» (п. 3.3.26) «...приоритетной задачей модернизации перерабатывающих отраслей является организация производства пиломатериалов на основе использования фрезерно-брусующего оборудования».



1479 ak

Проведенные в настоящей работе научные исследования соответствуют основным направлениям научной деятельности университета на 2006–2010 гг., утвержденным Министерством образования Республики Беларусь 14 декабря 2005 года («Разработка научных основ ресурсо-, энергосберегающих и экологически чистых технологий, оборудования и специальных транспортных систем, обеспечивающих глубокую переработку древесного сырья») и сформированным на основе перечня приоритетных направлений фундаментальных и прикладных исследований Республики Беларусь на 2006–2010 гг. (утвержден Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17.05.2005 г. № 512), а также основным направлениям научной деятельности университета на 2011–2015 гг., утвержденным Министерством образования Республики Беларусь 1 декабря 2010 года («Научные основы ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий, транспортных систем и оборудования для переработки древесного сырья на инновационную и экспортоориентированную продукцию, обеспечивающих рациональное использование сырьевых, энергетических и трудовых ресурсов») и сформированным на основе перечня приоритетных направлений фундаментальных и прикладных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 гг. (утвержден Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 г. № 585).

Научные исследования по теме диссертации выполнялись на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов УО «БГТУ» в соответствии с утвержденным планом Республиканской госбюджетной темы ГБ 8-06 «Совершенствование процессов механической обработки древесины и древесных материалов» (раздел 3), 2006–2010 гг.; ХД 28-015 «Проведение комплекса работ по повышению качества пилопродукции и технологической щепы на лесопильном потоке комплексной переработки бревен» с ОАО «Борисовский ДОК», № ГР 2008/1961, срок выполнения 2008–2009 гг.

Цель и задачи исследования. Цель работы – научное обоснование и разработка технологических режимов комплексной обработки древесины на фрезерно-брусующих станках фрезами со сборными двухлезвийными ножами, позволяющими уменьшить энергетические затраты на резание и получить высококачественную продукцию.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач:

1. Провести анализ влияния геометрических параметров двухлезвийных ножей фрезерно-брусующих станков на силовые и качественные показатели процесса резания древесины для получения пилопродукции и технологической щепы, изучить существующие методики расчета касательной составляющей силы резания.

2. Установить математическую зависимость длины дуги контакта двухлезвийного ножа с древесиной от диаметра обрабатываемого бревна, высоты бруса, размеров щепы, количества ножевых спиралей фрезы, а также величины смещения оси бревна по отношению к оси вращения фрез для определения суммарного пути резания и времени до потери режущей способности ножа.

3. Теоретически определить влияние углов скорости резания и наклона кромок двухлезвийного ножа на касательную составляющую силы резания, определяющую энергетические затраты процесса резания древесины.

4. Экспериментально установить закономерности влияния углов наклона кромок двухлезвийного ножа, их взаимного смещения на касательную, осевую и радиальную составляющие силы резания, определяющие мощность электродвигателей привода резания и конструкции узлов крепления ножей.

5. Провести опытно-промышленную апробацию разработанных конструкций сборных двухлезвийных ножей для проверки их работоспособности и разработки рекомендаций для последующего освоения в производстве.

Объектом исследования является режущий инструмент фрезерно-брусующих станков, перерабатывающих бревно на пилопродукцию и технологическую щепу. Предметом исследования является процесс формообразования пилопродукции и технологической щепы фрезами ФБС со спиральным расположением двухлезвийных ножей.

Положения, выносимые на защиту:

1. Математическая модель для расчета длины дуги контакта, учитывающая диаметр обрабатываемого бревна, длину щепы, количество ножевых спиралей, величину смещения оси бревна по отношению к оси вращения фрез.

2. Математическая зависимость для расчета касательной составляющей силы резания, учитывающая углы наклона кромок двухлезвийного ножа, угол скорости резания, позволяющая определять энергетические затраты на процесс резания древесины.

3. Закономерности влияния геометрических параметров лезвий ножа на касательную, осевую и радиальную составляющие силы резания и рекомендации по их практическому применению для расчета мощности привода механизма резания, расчетов на жесткость и прочность узлов крепления и крепежных элементов двухлезвийных ножей.

4. Обоснование конструкции нового сборного двухлезвийного ножа, обеспечивающей снижение энергоемкости процесса и повышение качества продукции при комплексной обработке древесины с учетом ее геометрических параметров, условий работы и режимов эксплуатации.

5. Режимы обработки древесины сосны и ели фрезами со спиральным расположением сборных двухлезвийных ножей, обеспечивающие снижение энергетических затрат.

Личный вклад соискателя. Автор диссертации принимал непосредственное участие в постановке цели и задач исследований, проведении теоретических и экспериментальных исследований, обработке и анализе полученных данных, написании статей, тезисов, докладов, отчетов о НИР, разработке патентов на изобретения, во внедрении результатов исследований в производство и учебный процесс. Все основные результаты, приводимые в диссертационной работе, получены автором лично. Соавторы публикаций участвовали в обсуждении результатов исследований.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертации представлены и обсуждены на научно-технических конференциях, научных семинарах и выставках: с 68-й по 74-ю научно-технических конференциях (БГТУ, Минск, 2004–2010 гг.), Международной научно-технической конференции «Ре-

сурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии» (БГТУ, Минск, 2005), Международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие лесов и рациональное использование лесных ресурсов» (БГТУ, Минск, 2005), VI Международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления» (ГГТУ, Гомель, 2006), выставке «Лесдревтех» (БелЭкспо, Минск, 2006, 2007, 2010), Международной научно-технической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии в машиностроении» (БНТУ, Минск, 2007), II и V Международных евразийских симпозиумах «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века» (УГЛТУ, Екатеринбург, 2007, 2010), III Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России» (УГЛТУ, Екатеринбург, 2007), научно-практическом семинаре «Деревообрабатывающее оборудование: качество и материалоемкость продукции» (Минск, 2008), The international scientific and technical conference-exhibition «Weinig InTech 2008» (Weinig, Touberbishofsheim, Germany, 2008), Международной научно-технической конференции «Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии» (БГТУ, Минск, 2008, 2010).

Опубликованность результатов диссертации. По теме диссертации опубликовано 22 научные работы, в том числе 7 статей объемом 2,75 авторского листа в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК по специальности, 5 статей в научных сборниках, 7 статей в сборниках материалов конференций, тезисы 1 доклада, получено 2 патента Республики Беларусь, подана заявка на изобретение «Нож сборный фрезерно-брусующего станка» № а20101572, заявл. 02.11.2010 г. Общий объем опубликованных материалов составляет 87 страниц.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав, заключения, библиографического списка, включающего список использованных источников из 107 наименований и список публикаций соискателя из 22 наименований, приложений. Работа изложена на 206 страницах печатного текста, содержит 35 иллюстраций на 24 страницах, 12 таблиц на 12 страницах, 16 приложений на 52 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена аналитическому обзору литературных и патентных источников по теме диссертации: рассмотрены технологии, оборудование и используемый режущий инструмент для комплексной обработки древесины на фрезерно-брусующих линиях. Изучению процессов при фрезеровании древесины, эффективности использования оборудования, геометрии режущих инструментов посвящены исследования отечественных и зарубежных ученых (А.Л. Бершадский, Л.З. Лурье, Н. Хартлер, С.А. Воскресенский, В.В. Амалицкий, Е.М. Боровиков, А.Э. Грубе, В. И. Санев и др.).

Основное внимание необходимо уделять конструкциям режущего инструмента фрезерно-брусующих станков – малоножевым и многоножевым торцово-

коническим фрезам. При сравнительной оценке преимуществ и недостатков фрез предпочтение следует отдавать многоножевым. От геометрии ножей данных фрез, режимов обработки древесины различных пород зависят качество получаемых пилопродукции и технологической щепы, энергетические затраты, эксплуатационные расходы на режущий инструмент. Выделены факторы, влияющие на процесс резания, которые в наибольшей степени определяются геометрией двухлезвийных ножей фрез ФБС: углы резания при длинном и коротком лезвиях ножа, угол перерезания волокон древесины, угол скорости резания.

Предназначенные для переработки бревен на пилопродукцию и технологическую щепу конструкции сборных фрез ФБС со спиральным расположением цельных двухлезвийных ножей, которыми оснащено оборудование фирм SAB, EWD (Германия), Soderhamn-Eriksson, Ari Vislanda (Швеция), A. Costa righi (Италия-Германия), Storti, Artiglio (Италия), Heinola, Veisto Group (Финляндия) и др. (рисунок 1), не позволяют, изменяя угловые параметры ножей, варьировать режимы резания, а следовательно, оказывать влияние на энергозатраты и качество продукции.



Рисунок 1 – Сборная фреза фрезерно-брусующего станка со спиральным расположением двухлезвийных ножей

Это предопределило необходимость проведения исследований по установлению влияния геометрических параметров двухлезвийных ножей на силовые показатели процесса резания древесины и показатели качества продукции; по установлению математической зависимости для определения длины дуги контакта каждого двухлезвийного ножа фрезы с древесиной и методик проведения экспериментальных исследований с разработкой конструкции сборного двухлезвийного ножа.

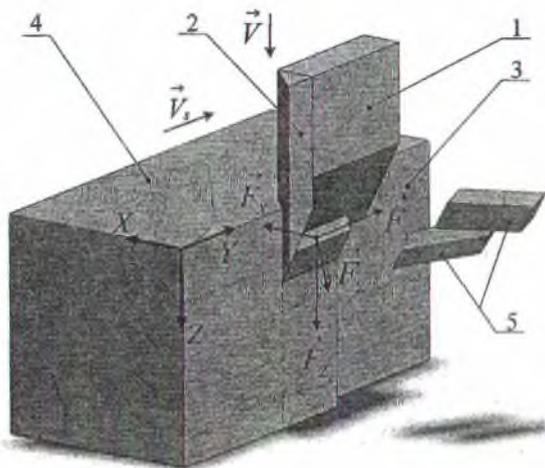
Изученные методики П.С. Афанасьева, А.Л. Бершадского, Ф.И. Коперина, Н.М. Вальщикова, Н.И. Тимофеева для расчета касательной составляющей силы резания при обработке древесины двухлезвийными ножами на фрезерно-брусующих станках и сравнительная оценка ее значений при равных условиях (древесина сосны влажностью 35 %, скорость резания 13 м/с, толщина щепы 5 мм, длина щепы 25 мм, угол перерезания волокон 45°, угол заострения 40°, угол резания 43°, радиус округления режущей кромки 8 мкм) показали значительный разброс в интервале значений от 500 Н до 1322,0 Н. Это связано с тем, что данные методики разрабатывались для строго определенных условий проведения экспериментов и не учитывают особенностей кинематики процесса резания на фрезер-

но-брусующих станках, в частности изменение углов резания при режущих лезвиях, а также угла скорости резания на коротком лезвии ножа при его движении.

В результате проведенного анализа сформулированы цель и задачи исследований.

Вторая глава посвящена разработке методик проведения экспериментальных исследований и обработки экспериментальных данных. Методики включают обоснование геометрических параметров сборных двухлезвийных ножей и уровней их варьирования, определение пути резания каждым ножом при его движении по циклоиде, создание экспериментальной установки, позволяющей синхронно регистрировать составляющие силы резания при обработке древесины двухлезвийными ножами с возможностью фиксирования качества поверхности пласти бруса и технологической щепы.

На рисунке 2 показана схема регистрации составляющих силы резания: осевой F_x , радиальной F_y и касательной F_z .



1 – длинное лезвие ножа; 2 – короткое лезвие ножа; 3 – полученная поверхность пласти бруса; 4 – образец древесины; 5 – технологическая щепка;

\vec{V} – скорость главного движения; \vec{V}_s – скорость подачи; \vec{F}_x – осевая,

\vec{F}_y – радиальная, \vec{F}_z – касательная составляющие силы резания

Рисунок 2 – Схема регистрации составляющих силы резания при формообразовании продукции двухлезвийным ножом

Переменными исследуемыми факторами являются: угол наклона кромки длинного лезвия ножа λ_d (от -30° до $+30^\circ$ с интервалом 30°), угол наклона кромки короткого лезвия ножа λ_k (от -20° до $+20^\circ$ с интервалом 20°), смещение лезвий ножа Δl (от -5 мм до $+5$ мм с интервалом 5 мм). Использован план B_3 математического планирования экспериментов, который позволяет получить функции отклика в виде уравнений регрессии второго порядка.

Выходными параметрами являлись осевая F_x , радиальная F_r и касательная F_z составляющие силы резания, фиксируемые разработанной измерительной системой. Касательная составляющая F_z силы резания определяет энергетические показатели процесса резания древесины, и ее значения необходимы для расчета мощности привода механизма резания; составляющие F_x , F_r воспринимаются узлами крепления двухлезвийных ножей и рекомендуются для использования при практических расчетах на жесткость и прочность крепежных элементов.

Путь резания древесины двухлезвийным ножом с учетом приращения ϵ радиуса округления режущих кромок ножа на пути резания 1 м определяет период стойкости режущего инструмента (лезвий). Радиус округления режущих кромок ножа оказывает влияние на силы резания и качество пласти бруса и технологической щепы. С увеличением радиуса округления режущих кромок ножа увеличиваются силы резания и снижается качество получаемой продукции. Следовательно, расчет пути резания и среднего приращения радиуса округления режущих кромок лезвий ножа позволит контролировать процесс обработки древесины и своевременно заменять ножи.

Длина дуги контакта каждым двухлезвийным ножом торцово-конической фрезы со спиральным их расположением, представляющая собой часть удлиненной циклоиды, может быть рассчитана по выражению (1):

$$l_{iу} = \frac{L}{2} \int_{\theta_{iвх}}^{\theta_{iвых}} \sqrt{1 + 2\lambda \cos \theta + \lambda^2} d\theta, \quad (1)$$

где $\lambda = \frac{d}{L} = \frac{\pi \cdot d}{k \cdot l_{и}}$ – постоянная удлиненной циклоиды; $L = \frac{k \cdot l_{и}}{\pi}$ – диаметр «катящейся» окружности, мм; $\theta_{iвх}$ – угол входа i -го двухлезвийного ножа в древесину, рад; $\theta_{iвых}$ – угол выхода i -го двухлезвийного ножа из древесины, рад.

Для определения углов входа $\theta_{iвх}$ и выхода $\theta_{iвых}$ двухлезвийного ножа фрезы из древесины необходимо знать диаметр d_i резания i -м двухлезвийным ножом и ширину b_i соответствующей ему пласти, а также величину a – смещение оси бревна по отношению к оси вращения фрез. Углы входа $\theta_{iвх}$ и выхода $\theta_{iвых}$ двухлезвийного ножа из древесины могут быть рассчитаны по выражениям:

$$\theta_{iвх} = \arccos \left(\frac{b_i + 2a}{d_i} \right); \quad \theta_{iвых} = \pi - \arccos \left(\frac{b_i - 2a}{d_i} \right). \quad (2)$$

Для практического использования предложенных зависимостей (1), (2) экспериментально исследованы промышленные образцы ножей в условиях ОАО «Борисовский ДОК», которые позволили определить предельный радиус округления короткой режущей кромки, наиболее влияющий на силы резания и размерно-качественные характеристики щепы. Методом слепков на микроскопе Neophot 9000 определен предельный радиус округления короткой режущей кромки, равный 92 мкм, и на его основе рассчитано среднее приращение ϵ радиуса округления режущей кромки лезвия ножа на пути резания 1 м, которое для ножа из инструментальной стали 4X5МФ составило 0,00022 мкм/м. Данное значение позволило рассчитать период стойкости каждого двухлезвийного ножа.

вдоль вектора скорости главного движения влияют на составляющие силы резания и качественные показатели продукции.

Снижение составляющих силы резания при обработке древесины на ФБС двухлезвийными ножами возможно за счет изменения геометрических параметров ножей: углов резания при коротком и длинном лезвиях ножа, угла перерезания волокон, углов заострения лезвий ножа, заднего угла, а также смещения лезвий ножа.

Наиболее универсальной методикой расчета сил резания являются разработанные проф. А.Л. Бершадским теоретические положения, учитывающие многофакторность процесса резания древесины. Анализ данной методики выявил возможность снижения сил резания за счет изменения углов резания на лезвиях ножа: на коротком δ_k и на длинном δ_d путем придания им дополнительных углов наклона режущих кромок λ_k и λ_d соответственно, с учетом угла скорости резания на коротком лезвии ножа. Это позволило разработать зависимости (3), (4) для расчета касательной F_z , N , составляющей силы резания:

$$F_z = \left[\left((A_s \cdot \delta_s + B_s \cdot V - B_s) \cdot a_c + a_{p1} \cdot p_s \right) \cdot \left(1 - \frac{2\varphi_m}{\pi} \right) \right] \cdot b_1 + \left[\left((A_1 \cdot \delta_s + B_1 \cdot V - B_1) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times a_c + a_{p1} \cdot p_1 \right) \cdot \frac{2\varphi_m}{\pi} \right] \cdot b_1 + \left((A_s \cdot \delta_d + B_s \cdot V - B_s) \cdot a_c + a_{p2} \cdot p_s \right) \cdot b_2. \quad (3)$$

где $A_s, B_s, V_s, A_1, B_1, V_1$ – коэффициенты, учитывающие направление резания, соответственно для поперечного и торцового резания; δ_k, δ_d – углы резания при коротком и длинном лезвиях ножа, град; V – скорость главного движения двухлезвийным ножом, м/с; a_c – толщина стружки, срезаемая двухлезвийным ножом, мм; a_{p1}, a_{p2} – коэффициенты, учитывающие радиус округления соответственно короткого и длинного лезвий ножа; p_k, p_1 – фиктивные единичные силы резания по задним граням лезвий ножа соответственно для поперечного и торцового видов резания, Н/мм; φ_m – угол среза торца технологической щепы, рад; b_1, b_2 – ширина реза соответственно коротким и длинным лезвиями ножа, мм.

$$\delta_k = \arctg(\tg(\beta_k + \alpha_c - \eta) \cdot \cos \lambda_k); \quad \delta_d = \arctg(\tg(\beta_d + \alpha_c) \cdot \cos \lambda_d), \quad (4)$$

где $\beta_k, \beta_d, \lambda_k, \lambda_d$ – углы заострения и наклона кромок короткого и длинного лезвий ножа соответственно, град; α_c – статический главный задний угол короткого и длинного лезвий ножа, град; η – угол скорости резания двухлезвийным ножом, град.

Эти зависимости дают возможность теоретически определить касательную составляющую силы резания, учитывающую углы наклона кромок двухлезвийного ножа, угол скорости резания и позволяющую определить энергетические затраты на процесс резания древесины.

Результаты теоретических исследований по определению силовых характеристик процесса резания древесины двухлезвийными ножами на ФБС показывают, что касательная составляющая силы резания при обработке древесины сосны и ели может быть снижена до 15,7% за счет изменения углов наклона кромок лезвий ножа.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований комплексной обработки древесины сборными двухлезвийными ножами двух пород: сосны и ели. Эксперименты проводились в соответствии с разработанными методиками с целью подтверждения влияния геометрических параметров двухлезвийного ножа на составляющие силы резания и качество продукции. Разработаны конструкции сборных двухлезвийных ножей для проведения экспериментальных исследований, позволяющие независимо изменять углы резания на каждом из режущих лезвий ножа. Изменяя углы наклона кромок лезвий ножа и смещая лезвия в пределах диапазонов варьирования, при помощи разработанной измерительной системы синхронно регистрировали осевую F_x , радиальную F_y и касательную F_z составляющие силы резания. Результаты выполненных исследований позволили разработать математические модели (5) и (6), описывающие указанное влияние и представленные в явном виде.

При обработке древесины сосны:

$$\begin{aligned}
 F_z &= 632,78 - 1,51\lambda_d + 1,89\lambda_k + 2,80\Delta l - 0,03\lambda_d\lambda_k + 0,03\lambda_d\Delta l + 0,45\lambda_k\Delta l + \\
 &+ 0,19\lambda_d^2 + 3,76\Delta l^2; \\
 F_y &= 98,80 - 2,51\lambda_d + 2,65\lambda_k + 6,39\Delta l - 0,07\lambda_d\lambda_k + 0,06\lambda_d\Delta l + 0,30\lambda_k\Delta l + \\
 &+ 0,05\lambda_k^2 + 4,55\Delta l^2; \\
 F_x &= 19,46 - 1,28\lambda_d + 1,68\lambda_k + 1,55\Delta l - 0,09\lambda_d\lambda_k - 0,40\lambda_d\Delta l + 0,84\lambda_k\Delta l + \\
 &+ 0,12\lambda_d^2 + 0,10\lambda_k^2 + 3,56\Delta l^2,
 \end{aligned} \tag{5}$$

где λ_d – угол наклона кромки длинного лезвия ножа, град; λ_k – угол наклона кромки короткого лезвия ножа, град; Δl – смещение лезвий ножа, мм.

При обработке древесины ели:

$$\begin{aligned}
 F_z &= 669,64 - 2,20\lambda_d - 7,86\Delta l + 0,08\lambda_d\lambda_k - 0,36\lambda_d\Delta l + 0,66\lambda_k\Delta l + \\
 &+ 0,02\lambda_d^2 + 0,20\lambda_k^2 + 3,72\Delta l^2; \\
 F_y &= 206,90 - 2,09\lambda_d + 2,70\lambda_k + 2,73\Delta l - 0,01\lambda_d\lambda_k - 0,37\lambda_d\Delta l - 0,28\lambda_k\Delta l - \\
 &- 0,01\lambda_d^2 - 0,15\lambda_k^2 + 2,68\Delta l^2; \\
 F_x &= 78,24 - 0,86\lambda_d - 1,14\lambda_k + 6,08\Delta l + 0,05\lambda_d\lambda_k - 0,28\lambda_d\Delta l - 0,50\lambda_k\Delta l + \\
 &+ 0,13\lambda_d^2 - 0,05\lambda_k^2 + 0,24\Delta l^2.
 \end{aligned} \tag{6}$$

Для анализа полученных моделей и установления степени влияния каждого независимого фактора на касательную составляющую F_z силы резания, определяющую энергетические затраты и необходимую для расчета мощности привода механизма резания, целесообразно использовать трехмерные графические отображения функций – поверхности отклика, при построении которых фиксируется только один независимый фактор на уровнях (-1; 0; +1), а два других фактора изменяются.

Для древесины сосны (рисунок 4): исследование экстремумов функции отклика касательной составляющей F_z силы резания показало, что при угле наклона кромки длинного лезвия ножа $+30^\circ$, угле наклона кромки короткого лезвия ножа -2° и смещении лезвий ножа на величину $-0,3$ мм минимальное значение функции

отклика касательной составляющей F_z силы резания равно 585,9 Н. При угле наклона кромки длинного лезвия ножа -30° , угле наклона кромки короткого лезвия ножа $+20^\circ$, смещении лезвий ножа на $+5$ мм максимальное значение функции отклика касательной составляющей F_z силы резания равно 960 Н.

На рисунке 4 показано, что при увеличении угла наклона кромки длинного лезвия ножа от -30° до $+30^\circ$ происходит уменьшение касательной составляющей силы резания на всех трех уровнях варьирования смещения лезвий ножа. Это связано с уменьшением угла резания при длинном лезвии ножа и увеличением плавности входа его в древесину. С увеличением угла наклона кромки короткого лезвия ножа от -20° до $+20^\circ$ увеличивается касательная составляющая силы резания.

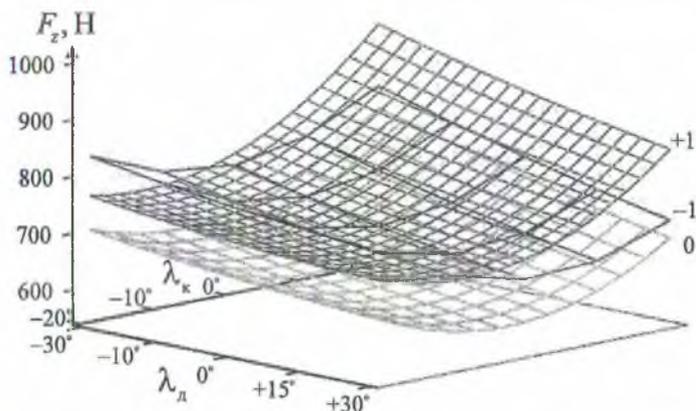


Рисунок 4 – Поверхности отклика функции касательной составляющей F_z силы резания при фиксировании фактора Δl – смещения лезвий ножа

Такой характер поведения данной функции отклика заметнее проявляется при переходах от основного уровня варьирования (0) фактора Δl к верхнему уровню (+1), возрастание касательной силы резания более интенсивное. Причиной тому является увеличение суммарной длины резания коротким лезвием ножа, работающего в условиях поперечно-торцевого вида резания. Аналогично проведен анализ построенных функций отклика при варьировании переменных факторов λ_d и λ_k .

Для древесины ели (рисунок 5): исследование экстремумов функции отклика касательной составляющей F_z силы резания показало, что при угле наклона кромки длинного лезвия ножа $+30^\circ$, угле наклона кромки короткого лезвия ножа $-11,5^\circ$, смещении лезвий ножа на величину $+3,5$ мм функция отклика касательной составляющей F_z силы резания принимает минимальное значение 575,4 Н.

При угле наклона кромки длинного лезвия ножа -30° , угле наклона кромки короткого лезвия ножа $+20^\circ$ и смещении лезвий ножа на величину $+5$ мм максимальное значение функции отклика касательной F_z составляющей силы резания равно 1024 Н.

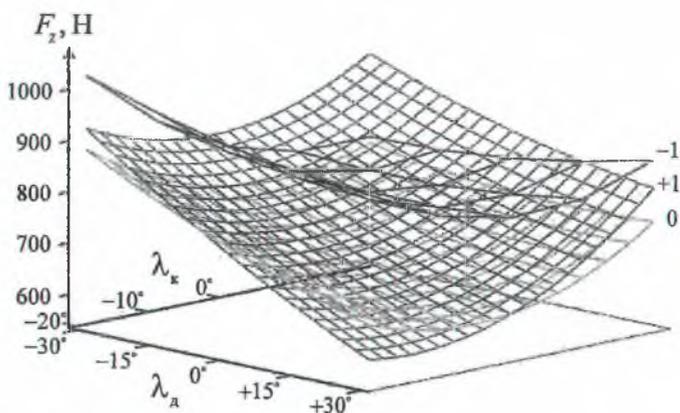


Рисунок 5 – Поверхности отклика функции касательной составляющей F_Z силы резания при фиксировании фактора Δl – смещения лезвий ножа

С увеличением угла наклона кромки короткого лезвия ножа от -20° до $+20^\circ$ изменение касательной составляющей F_Z силы резания на трех уровнях варьирования фактора Δl проявляется по-разному. На нижнем уровне (-1) она снижается за счет преобладания поперечного вида резания длинным лезвием ножа, так как короткое лезвие ножа внедряется в древесину с запаздыванием. На верхнем уровне ($+1$) значения касательной составляющей F_Z силы резания плавно увеличиваются из-за увеличения суммарной длины резания коротким лезвием ножа и доминирования поперечно-торцевого вида резания, при этом с запаздыванием рез осуществляет длинное лезвие.

На основном уровне (0) функция отклика касательной составляющей F_Z силы резания остается практически полой с небольшими изменениями. Аналогично проведен анализ построенных функций отклика при варьировании переменных факторов λ_d , λ_k и для древесины ели.

При проведении экспериментов в каждом опыте показатели качества продукции регистрировались цифровыми фотоснимками и измерительной аппаратурой: а) шероховатость поверхности пласти пилопродукции – поверенными индикаторным глубиномером, оптическими приборами ТСП-4 и МИС-11; б) размерные характеристики технологической щепы – штангенциркулем с точностью до $0,1$ мм.

Для определения качества среза торца щепы использовался электронный микроскоп JEOL JSM-5610. Микроструктурные исследования (рисунок 6) показывают, что торец щепы может быть образован без смятия волокон древесины или с их частичной закрытостью. При угле наклона кромки длинного лезвия ножа -15° , угле наклона кромки короткого лезвия ножа $+10^\circ$, смещении лезвий ножа 0 мм технологическая щепка образуется без смятия волокон древесины (рисунок 6, а). Такая щепка характеризуется стабильными размерно-качественными характеристиками в соответствии с требованиями ГОСТ 15815 и рекомендуется к использованию в целлюлозно-бумажном производстве.



а ($\times 200$)



б ($\times 200$)

а – с открытой структурой волокон древесины; б – с закрытой структурой волокон древесины

Рисунок 6 – Микроструктура торцевого среза технологической щепы

При угле наклона кромки длинного лезвия ножа $+15^\circ$, угле наклона кромки короткого лезвия ножа $+20^\circ$, смещении лезвий ножа 0 мм технологическая щепа образуется с частичным смятием волокон древесины (рисунок 6, б). Такая щепа также характеризуется стабильными размерно-качественными характеристиками и рекомендуется для использования в производствах плитных материалов.

Результаты анализа разработанных математических моделей и построенных на их основе трехмерных поверхностей функций отклика касательной составляющей F_z силы резания в пределах исследуемых интервалов варьирования независимых факторов, оценки показателей качества продукции позволяют рекомендовать к практическому использованию следующие геометрические параметры сборного двухлезвийного ножа:

а) для обработки древесины сосны угол наклона кромки длинного лезвия ножа $+15^\circ$, угол наклона кромки короткого лезвия ножа $+20^\circ$, смещение лезвий ножа 0 мм с получением шероховатости поверхности пласти бруса около 150 мкм; угол наклона кромки длинного лезвия ножа -15° , угол наклона кромки короткого лезвия ножа $+10^\circ$, смещение лезвий ножа 0 мм для получения качественной технологической щепы без смятия волокон древесины;

б) для обработки древесины ели угол наклона кромки длинного лезвия ножа $+15^\circ$, угол наклона кромки короткого лезвия ножа -10° , смещение лезвий ножа $+5$ мм с получением шероховатости поверхности пласти бруса около 380 мкм; угол наклона кромки длинного лезвия ножа -15° , угол наклона кромки короткого лезвия ножа $+20^\circ$, смещение лезвий ножа 0 мм с получением качественной технологической щепы без смятия волокон древесины.

В пятой главе на основании результатов производственных испытаний обоснована эффективность практического применения новых конструкций сборных двухлезвийных ножей со спиральным расположением на фрезях ФБС.

Опытно-промышленная проверка работоспособности новых конструкций двухлезвийных ножей проводилась на ФБС второго ряда PSP 500 линии комплексной переработки круглого леса фирмы SAB (Германия) лесопильно-деревообрабатывающего предприятия ОАО «Борисовский ДОК». Станок предназначен для получения 4-кантного бруса и технологической щепы из 2-кантного бруса. К качеству продукции, производимой с фрезерно-брусующим станком второго ряда, предъявляются повышенные требования, так как этот станок формирует пласти боковых досок и их кромки. Часто на нижней части поверхности пласти по-

лучаемого 4-кантного бруса, на кромках, возле выходящих на пласт бруса сучков наблюдаются сколы и вырывы величиной около 2–5 мм (рисунок 7, а).

На каждую сборную фрезу (левую и правую) со спиральным расположением двухлезвийных ножей было установлено по 8 участвующих в резании новых конструкций двухлезвийных ножей со следующими геометрическими параметрами: угол наклона кромки длинного лезвия ножа $+15^\circ$, угол наклона кромки короткого лезвия ножа $+20^\circ$, смещение лезвий ножа 0 мм. Обработывалась древесина сосны влажностью 35–40 % с вершинным диаметром 16–20 см в соответствии со спецификацией по выпуску продукции предприятия с учетом результатов проведенных исследований. Предложена также схема расположения двухлезвийных ножей в корпусах спиральных фрез для снижения сил резания в зоне формирования пластей бруса, при которой указанный производственный брак (сколы) на кромках и поверхностях пластей бруса не наблюдался (рисунок 7, б).

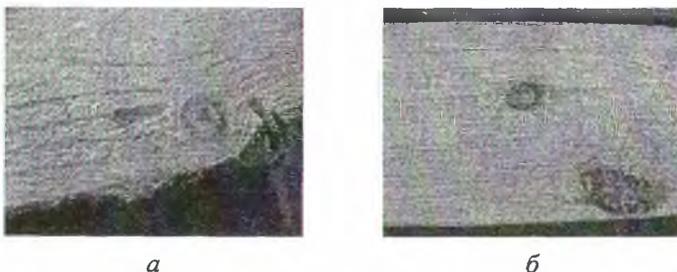


Рисунок 7 – Поверхности пластей бруса древесины сосны, полученные базовыми (а) и разработанными новыми (б) двухлезвийными ножами

При проведении производственных испытаний измерялась шероховатость поверхности пласти бруса древесины сосны. При обработке базовыми двухлезвийными ножами (угол наклона кромки длинного лезвия ножа 0° , угол наклона кромки короткого лезвия ножа -20° , смещение лезвий ножа 0 мм) шероховатость поверхности составляла около 350 мкм, разработанными новыми ножами (угол наклона кромки длинного лезвия ножа $+15^\circ$, угол наклона кромки короткого лезвия ножа $+20^\circ$, смещение лезвий ножа 0 мм) – 150 мкм, т. е. снизилась в 2,3 раза. Аналогичные результаты могут быть получены при проведении испытаний разработанных новых конструкций ножей на других лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях, выпускающих пилопродукцию и щепу на фрезерно-брусующих станках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Получены математические зависимости влияния углов наклона длинного и короткого лезвий ножа, величины их смещения на составляющие силы резания, шероховатость обработанной поверхности пласти бруса и размерно-качественные показатели технологической щепы, позволяющие устанавливать энергосберегающие режимы обработки древесины на фрезерно-брусующих станках с использова-

нием фрез со сборными двухлезвийными ножами и получением высококачественной продукции [1-А, 3-А, 10-А, 21-А].

2. Разработанные теоретические зависимости для расчета касательной составляющей силы резания выявили возможность ее снижения при обработке древесины сосны и ели до 15,7% с учетом изменения углов скорости резания и наклона кромок длинного и короткого лезвий ножа [5-А].

Разработанная математическая зависимость длины дуги контакта двухлезвийного ножа с древесиной, учитывающая диаметр обрабатываемого бревна, высоту бруса, размеры щепы, количество ножевых спиралей фрезы, а также величину смещения оси бревна по отношению к оси вращения фрез, позволила определить суммарный путь резания и период стойкости режущего инструмента. Разработанная автором на основе данной модели программа расчета Cutters Control v.1.0 для фрезерно-брусующих станков с числовым программным управлением оснащена алгоритмами редактирования исходных данных, внесения поправок, изменений и защиты от некорректности их введения [3-А, 11-А, 13-А, 14-А, 20-А].

3. С использованием разработанных методик исследования обоснованы геометрические параметры сборных двухлезвийных ножей и уровни их варьирования, разработана конструкция сборного двухлезвийного ножа, создана экспериментальная установка, оснащенная высокоточной контрольно-измерительной аппаратурой, позволяющая синхронно регистрировать составляющие силы резания при обработке древесины двухлезвийными ножами с возможностью фиксирования качества получаемых поверхности пласти бруса и технологической щепы [2-А, 8-А].

4. Результаты экспериментальных исследований позволили установить зависимости составляющих F_X и F_Y силы резания, которые рекомендуются для использования при конструировании узлов крепления ножей фрезерно-брусующих станков. Установлено, что геометрические параметры двухлезвийных ножей влияют на касательную составляющую F_Z силы резания, определяющую энергетические затраты процесса резания:

а) для древесины сосны на режимах с углом наклона кромки длинного лезвия ножа $+30^\circ$, углом наклона кромки короткого лезвия ножа -2° , смещением лезвий ножа $-0,3$ мм уменьшается на 12,9 % (с 672,4 Н до 585,9 Н); б) для древесины ели на режимах с углом наклона кромки длинного лезвия ножа $+30^\circ$, углом наклона кромки короткого лезвия ножа $-11,5^\circ$, смещением лезвий ножа $+3,5$ мм уменьшается на 23,4 % (с 751,0 Н до 575,4 Н) [5-А, 6-А].

Обеспечивается следующее качество поверхности пласти бруса:

а) для древесины сосны на режимах с углом наклона кромки длинного лезвия ножа $+15^\circ$, углом наклона кромки короткого лезвия ножа $+20^\circ$, смещением лезвий ножа 0 мм шероховатость обработанной поверхности пласти бруса снижается с 350 мкм до 150 мкм по сравнению с базовым цельным двухлезвийным ножом; б) для древесины ели на режимах с углом наклона кромки длинного лезвия ножа $+15^\circ$, углом наклона кромки короткого лезвия ножа -20° , смещением лезвий ножа $+5$ мм шероховатость обработанной поверхности пласти бруса снижается с 930 мкм до 380 мкм [7-А].

Стабильные размерно-качественные характеристики технологической щепы обеспечиваются: а) для древесины сосны на режимах с углом наклона кромки

длинного лезвия ножа -15° , углом наклона кромки короткого лезвия ножа $+10^\circ$, смещением лезвий ножа 0 мм; б) для древесины ели на режимах с углом наклона кромки длинного лезвия ножа -15° , углом наклона кромки короткого лезвия ножа $+20^\circ$, смещением лезвий ножа 0 мм.

Результаты экспериментальных исследований обработки древесины сосны и ели на фрезерно-брусующих станках показали, что рациональные геометрические параметры двухлезвийных ножей должны устанавливаться в каждом конкретном случае с учетом снижения энергетических показателей процесса резания и обеспечения требуемых качественных показателей продукции [5-А, 9-А, 15-А, 16-А, 18-А].

5. Проведенные опытно-промышленные испытания разработанных новых конструкций сборных двухлезвийных ножей на ОАО «Борисовский ДОК» на ФБС второго ряда при обработке 2-кантного бруса на 4-кантный за счет снижения сил резания позволили уменьшить сколы и вырывы на кромках и получить шероховатость поверхности пласти бруса до 150 мкм, снизить объемы выпуска продукции, не соответствующие нормативно-технической документации [4-А, 12-А, 17-А, 19-А, 22-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Результаты диссертационной работы использованы для повышения эффективности сборных фрез со спиральным расположением двухлезвийных ножей фрезерно-брусующих станков PSP 500 лесопильной линии SAB ОАО «Борисовский ДОК».

Выполненные расчеты технико-экономических показателей в условиях производства ОАО «Борисовский ДОК» свидетельствуют об экономической эффективности использования новых конструкций сборных двухлезвийных ножей фрезерно-брусующих станков [23-А]. За счет снижения текущих затрат на режущий инструмент, электрическую энергию, увеличения объемов выпуска высококачественной готовой продукции достигнут годовой экономический эффект в размере 54 357,79 тыс. руб. (в ценах 2010 года).

2. Разработанный метод определения силовых показателей при комплексной обработке древесины фрезами со спиральным расположением ножей, отличающийся определением рациональных режимов обработки и возможностью прогнозирования времени работы до потери режущей способности инструмента со сборными двухлезвийными ножами, внедрен в учебный процесс на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов УО «БГТУ».

3. Разработанная автором диссертации модель для расчета длины дуги контакта двухлезвийного ножа с древесиной, учитывающая диаметр обрабатываемого бревна, высоту бруса, размеры щепы, количество ножевых спиралей фрезы, а также величину смещения оси бревна по отношению к оси вращения фрез и положенная в основу разработки программы Cutters Control v.1.0 для фрезерно-брусующих станков с числовым программным управлением, позволяет определять суммарный путь резания и время до потери режущей способности ножей, производить их замену не комплектом, а попарно затупившихся (например, на лесопильной линии SAB ОАО «Борисовский ДОК» на двух фрезерно-брусующих станках установлено 208 ножей), что повышает экономическую эффективность использования оборудования.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК

1-А. Раповец, В.В. Определение влияющих на силовые показатели основных параметров процесса резания на фрезерно-брусующих станках / В.В. Раповец, Н.В. Бурносов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2005. – Вып. XIII. – С. 182–185.

2-А. Раповец, В.В. Методика проведения экспериментальных исследований процесса резания древесины на фрезерно-брусующих станках / В.В. Раповец, Н.В. Бурносов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2006. – Вып. XIV. – С. 175–177.

3-А. Раповец, В.В. Возможности управления качественными и силовыми показателями процесса формирования технологической щепы двухлезвийными резцами на фрезерно-брусующих станках / В.В. Раповец, Н.В. Бурносов // Труды БГТУ, Сер. II. Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2007. – Вып. XV. – С. 251–255.

4-А. Раповец, В.В. Практические результаты экспериментальных исследований резания древесины двухлезвийными резцами на фрезерно-брусующих станках / В.В. Раповец // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 205–208.

5-А. Раповец, В.В. Энергетические показатели процесса резания древесины двухлезвийными резцами на фрезерно-брусующих станках / В.В. Раповец, Н.В. Бурносов, И.И. Бавбель // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 225–229.

6-А. Раповец, В. В. Влияние угловых параметров двухлезвийных ножей фрезерно-брусующих станков на энергетические показатели / В. В. Раповец, Н. В. Бурносов, А. К. Вершина // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII. – С. 297–300.

7-А. Раповец, В. В. Комплексная обработка древесины со спиральным расположением двухлезвийных ножей / В. В. Раповец // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 246–251.

Статьи в научных сборниках

8-А. Раповец, В.В. Моделирование процесса формирования пилопродукции и технологической щепы на фрезерно-брусующих станках / В.В. Раповец, Н.В. Бурносов // Машиностроение: республикан. межведомственный сб. науч. тр. / Белорус. нац. техн. ун-т; под ред. Б.М. Хрусталева. – Минск, 2007. – Вып. 23. – С. 212–217.

9-А. Раповец, В.В. Разработка и оптимизация конструкций двухлезвийных ножей для фрезерно-брусующих станков / В.В. Раповец, Н.В. Бурносов // Машиностроение: республикан. межведомственный сб. науч. тр. / Белорус. нац. техн. ун-т; под ред. Б.М. Хрусталева. – Минск, 2009. – Вып. 24. – т. 2. – С. 100–103.

10-А. Раповец, В.В. Разработка мероприятий по повышению эффективности процесса переработки бревен на фрезерно-брусующих станках, оснащенных фрезами со спиральным расположением двухлезвийных резцов / В.В. Раповец, Н.В. Бурносов // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды II Междунар. евраз. симпози., Екатеринбург, 2–5 окт. 2007 г. /

Урал. гос. лесотехн. ун-т ; под ред. В.Г. Новоселова. – Екатеринбург, 2007. – С. 213–221.

11-А. Раповец, В.В. Критерии временной стойкости двухлезвийных резцов фрезерно-брусующих станков в зависимости от требуемого качества продукции / В.В. Раповец, Н.В. Бурносов // *Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды II Междунар. евраз. симпоз.*, Екатеринбург, 2–5 окт. 2007 г. / Урал. гос. лесотехн. ун-т; под ред. В.Г. Новоселова. – Екатеринбург, 2007. – С. 222–225.

12-А. Раповец, В. В. Агрегатная обработка древесины двухлезвийными ножами с получением бруса и технологической щепы / В. В. Раповец // *Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды V Междунар. евраз. симпоз.*, Екатеринбург, 25–28 мая 2010 г. / Урал. гос. лесотехн. ун-т; под ред. В.Г. Новоселова. – Екатеринбург, 2010. – С. 240–247.

Материалы конференций и тезисы докладов

13-А. Раповец, В.В. Методика установления работоспособности резцов спиральных фрез фрезерно-брусующей машины / В.В. Раповец, Н.В. Бурносов, А.А. Станкевич // *Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф.*, Минск, 16–18 нояб. 2005 г.: ч.1 / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2005. – С. 306–309.

14-А. Раповец, В.В. Повышение эффективности эксплуатации фрезерно-брусующих машин с фрезами со спиральным расположением резцов / В.В. Раповец, Н.В. Бурносов, А.А. Станкевич // *Устойчивое развитие лесов и рациональное использование лесных ресурсов: материалы Междунар. науч.-практ. конф.*, Минск, 6–7 дек. 2005 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: О.А. Атрощенко [и др.]. – Минск, 2005. – С. 309–312.

15-А. Раповец, В.В. Новые конструкции двухлезвийных ножей для фрезерно-брусующих станков / В.В. Раповец, А.Р. Гороновский // *Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы III Всерос. науч.-техн. конф.*, Екатеринбург, 24–25 апр. 2007 г. / Урал. гос. лесотехн. ун-т; редкол.: С.В. Залесов [и др.]. – Екатеринбург, 2007. – С. 223–226.

16-А. Аркатов, Ю.М. Современные подходы к созданию лесопильных деревообрабатывающих производств / Ю.М. Аркатов, Б.Е. Львович, Н.В. Бурносов, В.В. Раповец // *Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф.*, Минск, 19–20 нояб. 2008 г.: в 2 ч. / Белорус. гос. технол. ун-т ; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2008. – Ч. 2. – С. 323–325.

17-А. Раповец, В.В. Анализ результатов экспериментальных исследований силовых показателей переработки бревен двухлезвийными резцами на фрезерно-брусующих станках / В.В. Раповец, А.А. Гришкевич, Н.В. Бурносов // *Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф.*, Минск, 19–20 нояб. 2008 г.: в 2 ч. / Белорус. гос. технол. ун-т ; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2008. – Ч. 2. – С. 325–329.

18-А. Раповец, В.В. Повышение качества поверхности пласти бруса и технологической щепы при переработке бревен на фрезерно-брусующих станках / В.В. Раповец, Н.В. Бурносос // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19–20 нояб. 2008 г.: в 2 ч. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2008. – Ч. 2. – С. 341–344.

19-А. Раповец, В. В. Снижение энергозатрат при комплексной обработке бревен торцово-коническими фрезами со спиральным расположением сборных двухлезвийных ножей / В. В. Раповец, Н. В. Бурносос // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 24–26 нояб. 2010 г.: в 2 ч. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 2010. – Ч. 1. – С. 430–433.

20-А. Раповец, В.В. Эффективное использование фрезерно-брусующих машин со спиральным расположением резцов / В.В. Раповец, Н.В. Бурносос, А.А. Гришкевич // НИРС-2005: материалы X респ. науч. конф. студентов и аспирантов высш. учеб. заведений Респ. Беларусь, Минск, 14–16 фев. 2006 г.: в 3 ч. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: А.Г. Захаров [и др.]. – Минск, 2006. – Ч. 2. – С. 35.

Патенты

21-А. Комбинированная фрезерная головка: пат. 10172 Респ. Беларусь, МПК В 23 С 5/16 / С.И. Карпович, А.А. Гришкевич, Д.С. Карпович, В.В. Раповец; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а 20051032; заявл. 27.10.2005; опубл. 30.06.2007 //Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 6. – С. 68.

22-А. Комбинированная режущая головка фрезерно-брусующего станка: пат. 11982 Респ. Беларусь, МПК В 27 G 13/00 / Н.В. Бурносос, В.В. Раповец; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а 20061204; заявл. 30.11.2006; опубл. 09.03.2009 //Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 3. – С. 71.

23-А. Нож сборный фрезерно-брусующего станка: заявка на изобретение Респ. Беларусь, МПК7 В 27L 11/02 / В. В. Раповец, Н. В. Бурносос, А. А. Гришкевич; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т – № а 20101572; заявл. 02.11.2010. – 12 с.

РЭЗІЮМЭ

Рапавец Вячаслаў Валер'евіч

Комплексная апрацоўка драўніны фрэзамі са спіральным размяшчэннем зборных двухлязовых нажоў, якая забяспечвае якасць прадукцыі і зніжэнне энергазатрат

Ключавыя словы: фрэзерна-брусуючы станок, пілапрадукцыя, тэхналагічная шчэпка, зборны двухлязовы нож, шлях рэзання, складальныя сілы рэзання, энергазатраты, якасць прадукцыі.

Мэта работы – навуковае абгрунтаванне і распрацоўка тэхналагічных рэжымаў комплекснай апрацоўкі драўніны на фрэзерна-брусуючых станках фрэзамі са зборнымі двухлязовымі нажамі, якія дазваляюць знізіць энергетычныя затраты на рэзанне і атрымаць высакаякасную прадукцыю.

Метады даследаванняў і апаратура: у працэсе правядзення даследаванняў выкарыстоўваліся аналітычныя метады, метады планавання эксперыменту, камп'ютарнага мадэлявання, эксперымент. Пры правядзенні эксперыменту, рэгістрацыі і апрацоўцы атрыманых вынікаў выкарыстоўваліся: спецыяльная эксперыментальная ўстаноўка для даследаванняў працэсу рэзання драўніны на фрэзерна-брусуючых станках, універсальны дынамометрычны мост УДМ-1200, сілавымяральная сістэма EX-UT10 ф. Sony (Японія), далучаная да персанальнага камп'ютара, электронны вымяральнік вільготнасці МГ4Д, тахометр ЦАТ-2М, дынамометр узорны універсальны ДОУ-3-1 кН, індыкатарны глыбінямер, аптычны прыбор ТСП-4, мікраскоп МІС-11, электронны мікраскоп JEOL JSM-5610.

Навуковая навізна атрыманых вынікаў: распрацавана матэматычная мадэль для разліку даўжыні дугі кантакту двухлязовага нажа з драўнінай, якая дазваляе вызначаць час да згублення рэжучай здольнасці нажа ў залежнасці ад тэхналагічных параметраў. Устаноўлены заканамернасці ўплыву вуглоў нахілу краёў доўгага і кароткага лязоў нажа, іх узаемнага змяшчэння на складальныя сілы рэзання і шурпатасць паверхняў пласцей бруса пры апрацоўцы драўніны сасны і елкі на фрэзерна-брусуючых станках, якія дазваляюць разлічыць магучасць прывада механізма рэзання і вузлы мацавання нажоў. Вызначаны рэжымы апрацоўкі драўніны фрэзамі са спіральным размяшчэннем распрацаваных зборных двухлязовых нажоў, якія дазваляюць знізіць энергаёмкасць працэсу рэзання і атрымаць высакаякасную прадукцыю.

Ступень выкарыстання: вынікі даследаванняў выкарыстаны для павышэння эфектыўнасці зборных фрэз са спіральным размяшчэннем двухлязовых нажоў фрэзерна-брусуючых станкоў PSP 500 лесапільнай лініі SAB ААТ «Барысаўскі ДАК», якія дазволілі прадпрыемству дасягнуць гадавога эканамічнага эфекту ў памеры 54 357,79 тыс. руб. (у цэнах 2010 года).

Вобласць ужывання вынікаў дысертацыі – вынікі працы могуць быць выкарыстаны на лесапільна-дрэваапрацоўчых прадпрыемствах, якія выпускаюць пілапрадукцыю і тэхналагічную шчэпку на фрэзерна-брусуючых станках і лініях.

РЕЗЮМЕ

Раповец Вячеслав Валерьевич

Комплексная обработка древесины фрезами со спиральным расположением сборных двухлезвийных ножей, обеспечивающая качество продукции и снижение энергозатрат

Ключевые слова: фрезерно-брусующий станок, пилопродукция, технологическая щепка, сборный двухлезвийный нож, путь резания, составляющие силы резания, энергозатраты, качество продукции.

Цель работы: научное обоснование и разработка технологических режимов комплексной обработки древесины на фрезерно-брусующих станках фрезами со сборными двухлезвийными ножами, позволяющими уменьшить энергетические затраты на резание и получить высококачественную продукцию.

Методы исследования и аппаратура: в процессе проведения исследований применялись аналитические методы, методы планирования экспериментов, компьютерного моделирования, эксперимент. При проведении экспериментов, регистрации и обработке полученных результатов использовались специальная экспериментальная установка для исследований процессов резания древесины на фрезерно-брусующих станках, универсальный динамометрический мост УДМ-1200, силоизмерительная система EX-UT10 ф. Sony (Япония), подключенная к персональному компьютеру, электронный измеритель влажности МГ4Д, тахометр ЦАТ-2М, динамометр образцовый универсальный ДООУ-3-1 кН, индикаторный глубиномер, оптический прибор ТСП-4, микроскоп МИС-11, электронный микроскоп JEOL JSM-5610.

Научная новизна полученных результатов: разработана математическая модель для расчета длины дуги контакта двухлезвийного ножа с древесиной, позволяющая определять время до потери режущей способности ножа в зависимости от технологических параметров. Установлены закономерности влияния углов наклона кромок длинного и короткого лезвий ножа, их взаимного смещения на составляющие силы резания и шероховатость поверхностей пластей бруса при обработке древесины сосны и ели на фрезерно-брусующих станках, позволяющие рассчитать мощность привода механизма резания и узлы крепления ножей. Определены режимы обработки древесины фрезами со спиральным расположением разработанных сборных двухлезвийных ножей, позволяющие снизить энергоемкость процесса резания и получить высококачественную продукцию.

Степень использования: результаты исследований использованы для повышения эффективности сборных фрез со спиральным расположением двухлезвийных ножей фрезерно-брусующих станков PSP 500 лесопильной линии SAB ОАО «Борисовский ДОК», что позволило предприятию достичь годового экономического эффекта в размере 54 357,79 тыс. руб. (в ценах 2010 года).

Область применения: результаты работы могут быть использованы на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях, выпускающих пилопродукцию и технологическую щепу на фрезерно-брусующих станках и линиях.

SUMMARY

Rapovets Vyacheslav Valerievich

Complex processing of wood by mills with a spiral arrangement modular double-blades knives, providing quality of production and decrease in power inputs

Key words: chipper-canter machine tool, sawn wood, technological chips, prefabricated double-blades knife, a way of cutting, the passage of cutting making cutting powers, power inputs, quality of production.

The purpose of work: the scientific substantiation and exploitation of technological conditions of a complex wood processing on chipper-canters mills with prefabricated double-blades knives, allowing to reduce power expenses for cutting and to receive high-quality production.

Research methods and facilities: in the course of carrying out of researches analytical methods, methods of planning of experiments, computer modeling, experiment were applied. At carrying out of experiments, registration and processing of the received results were used special experimental installation for researches of cutting actions of wood on chipper-canters, universal dinamometric bridge UDM-1200, force gaging system EX-UT10 f. Sony (Japan) connected to the personal computer, an electronic measuring instrument of humidity MG4D, tachometre TSAT-2M, a dynamometer exemplary universal DOU-3-1 kN, display depth measuring instrument, optical gauge TSP-4, microscope MIS-11, electronic microscope JEOL JSM-5610.

Scientific novelty of the results obtained: the mathematical model is developed for account of length of a bow of contact double-blade a knife with the wood, allowing to define time before loss of cutting ability of a knife depending on technological parameters. Regularities influence of angles of taper of edges of long and short knife blades, their mutual displacement on making cutting powers and a roughness of surfaces of faces of a bar are installed at a wood processing of a pine and a spruce on the chipper-canters, allowing to calculate capacity of a drive of the mechanism of cutting and hitches of fastening of knives. Conditions of a wood processing by mills with a spiral arrangement developed prefabricated double-blades knives are defined, allowing to lower power consumption of a cutting action and to receive high-quality production.

Efficiency: results of researches are used for increasing of efficiency of prefabricated mills with a spiral arrangement double-blades knives of chipper-canters PSP 500 sawing lines SAB Open Society «Borisovsky DOK» that has allowed the enterprise to reach annual economic benefit at a rate of 54 357,79 thousand rbl. (in the prices of 2010).

Application domain: the results obtained can be used on the woodworking enterprises, discharging sawn wood and a technological chips on chipper-canters and lines.

Научное издание

Раповец Вячеслав Валерьевич

**КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ ФРЕЗАМИ
СО СПИРАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ СБОРНЫХ ДВУХЛЕЗВИЙНЫХ
НОЖЕЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ
И СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.21.05 – древесиноведение, технология
и оборудование деревопереработки

Ответственный за выпуск В.В. Раповец

Подписано в печать 26.05.2011. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,5. Уч.-изд. л. 1,5.
Тираж 60 экз. Заказ 294.

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.
ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.