

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 674.055

**АНИКЕЕНКО**  
Андрей Федорович

**РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ РЕЖИМЫ  
ОБРАБОТКИ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ  
ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ ФРЕЗЕРОВАНИЕМ НА СТАНКАХ  
С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

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

по специальности 05.21.05 – Дровесиноведение,  
технология и оборудование деревопереработки

Минск 2012

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 кафедры оборудования и автоматизации производства учреждения образования «Барановичский государственный университет»;

**Шетько Сергей Васильевич**, кандидат технических наук, доцент, 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» декабря 2012 г. в 09.00 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, ауд. 240, корп. 4. Тел. 8-(017)-327-83-41, факс 8-(017)-327-62-17, e-mail: [root@bstu.unibel.by](mailto:root@bstu.unibel.by).

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

Автореферат разослан «28» ноября 2012 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций  
кандидат технических наук, доцент



С. П. Мохов

## ВВЕДЕНИЕ

Государственная программа развития деревообрабатывающей промышленности Республики Беларусь на период с 2008 по 2014 годы предусматривает ввод в эксплуатацию предприятий концерна «Беллесбумпром» проектной мощностью 480 000 м<sup>3</sup> древесностружечных плит (ДСтП) в год с суммой инвестиций более 300 миллионов евро, что требует значительного совершенствования технологий их переработки.

Требования обеспечения качества выпускаемой продукции, с учетом необходимости увеличения объемов ее поставок за рубеж, предопределили широкое использование технологий фрезерования ламинированных плит для изготовления мебельной продукции на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) на ведущих мебельных деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь: ОАО «Холдинговая компания «Пинскдрев», ООО «ЗОВ», ИП «Черный красный белый», ЗАО «Молодечномебель», ОАО «Витебскдрев».

Принципиальным отличием станков с ручным управлением от станков с ЧПУ является то, что вторые обеспечивают управление движениями рабочих органов, скоростью их перемещения, последовательностью цикла резания на каждом участке контура обработки, режимами резания по управляющей программе, обеспечиваемой математическими моделями, установление которых является задачей наших исследований.

Анализ известных научных работ по фрезерованию древесины и плитных материалов показал, что их результаты и рекомендации, применительно к обработке ламинированных ДСтП, использовать практически невозможно, так как они не обеспечивают требуемое качество.

Критерием качества обработки является отсутствие сколов на лицевой поверхности ламинированных ДСтП, которые возникают из-за нерациональных технологических режимов и конструкций дереворежущих инструментов.

На многооперационных станках с ЧПУ используются дереворежущие инструменты в хвостовом исполнении с ограничениями по массе и другими конструктивными параметрами. Новизна работы заключается: в разработке новой конструкции хвостовой фрезы с изменяемым углом резания и рабочим режимом самоторможения сектора-ножедержателя; установлении приоритетных показателей, таких как производительность, период стойкости инструмента и потребляемая мощность на резание, обеспечивающих высокую экономическую эффективность на рациональных режимах резания, разработанных на основе математических моделей.

Разработка энерго- и ресурсосберегающих режимов фрезерования ламинированных ДСтП на станках с ЧПУ является актуальной и востребованной задачей и требует проведения теоретических и экспериментальных исследований.

1680 ар

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами. 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 (раздел 5 – «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., утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17.05.2005 г. № 512 (раздел 1 – «Энергообеспечение, нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, энергосбережение и эффективное использование энергии; создание энерго- и ресурсоэкономичных архитектурно-конструктивных систем нового поколения»); основным направлениям научной деятельности университета на 2011-2015 гг., утвержденным Министерством образования Республики Беларусь 7 декабря 2010 года (раздел 2 – «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 научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 гг., утвержденного 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 - «Теоретические и экспериментальные исследования процессов фрезерования древесины и древесных материалов и усовершенствование конструкций фрезерного инструмента»), финансируемой Министерством образования Республики Беларусь, Минск 2006–2010 гг.; с утвержденным планом Республиканской госбюджетной темы ГБ 14–11 «Деревообрабатывающее оборудование и инструменты, обеспечивающие энергоэффективность и ресурсосбережение процессов обработки материалов; алгоритмы управления процессом механической обработки» (раздел 1 - «Исследование процесса фрезерования древесины и древесных материалов инструментом, обеспечивающим качество обработки, энерго- и ресурсосбережение»), финансируемой Министерством образования Республики Беларусь, Минск 2011–2015 гг.

**Цель и задачи исследований.** Цель исследований – разработать режущий инструмент, ресурсо- и энергосберегающие режимы цилиндрического фрезерования ламинированных древесностружечных плит на станках с ЧПУ.

**Задачи исследований:**

1. Обосновать направления исследований и выявить пределы изменения переменных факторов, влияющих на ресурсо- и энергосбережение при фрезеровании ламинированных ДСтП на станках с ЧПУ.

2. Разработать методику научных исследований, позволяющую осуществить моделирование переменных факторов технологического процесса фрезерования ламинированных ДСтП, влияющих на качество обработки, период стойкости инструмента, ресурсо- и энергосбережение.

3. Разработать конструкцию и обосновать основные технологические параметры хвостовой фрезы с изменяемым углом резания для обработки ламинированных ДСтП на станках с ЧПУ, обеспечивающие безопасность ее эксплуатации.

4. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработать математические модели энерго- и ресурсосберегающих режимов обработки ламинированных ДСтП.

5. Провести опытно-промышленные испытания новой конструкции хвостовой фрезы на разработанных режимах фрезерования ламинированных ДСтП на станках с ЧПУ и рекомендовать их к промышленному использованию.

**Объект исследования:** режимы цилиндрического фрезерования ламинированных ДСтП на станках с ЧПУ.

**Предмет исследования:** ламинированная ДСтП, хвостовая фреза с изменяемым углом резания.

**Положения, выносимые на защиту**

1. Обоснованные технологические параметры новой конструкции хвостовой фрезы с изменяемым углом резания для обработки ламинированных ДСтП, обеспечивающие экономию энергетических и материальных ресурсов, качество обработки и безопасность эксплуатации на станках с ЧПУ.

2. Результаты экспериментальных исследований, устанавливающие ранговые зависимости переменных факторов режимов обработки ламинированных древесностружечных плит на станках с ЧПУ.

3. Математические модели, позволяющие определять влияние: средней толщины стружки, высоты припуска, скорости и диаметра резания на: длину обработанной поверхности; длину пути контакта режущей кромки; период стойкости инструмента; затрат мощности на резание.

4. Результаты опытно-промышленных испытаний новой конструкции фрезы на предлагаемых для промышленного использования энерго- и ресурсосберегающих режимах фрезерования ламинированных ДСтП на станках с ЧПУ.

**Личный вклад соискателя.** Опубликованные по теме диссертации работы выполнены автором лично и в соавторстве. Соискатель принимал непосредственное участие в постановке цели и задач исследований, проведении теоретических и экспериментальных исследований, обработке и анализе полученных данных, разработке патента, во внедрении результатов в производство и учебный процесс. Соавторы публикаций участвовали в анализе и выборе методов для решения необходимых задач, а также в обсуждении и оформлении полученных результатов.

**Апробация результатов диссертации.** Основные положения диссертации доложены и обсуждены на научно-технических конференциях, научных семинарах и выставках: 69-й научно-технической конференции (г. Минск, БГТУ, 2005), 70-й научно-технической конференции (г. Минск, БГТУ, 2006), Международной научно-технической конференции «Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии» (г. Минск, БГТУ, 2005), Международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие лесов и рациональное использование лесных ресурсов» (г. Минск, БГТУ, 2005), 71-й научно-технической конференции (г. Минск, БГТУ, 2007), Международной научно-технической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии в машиностроении» (г. Минск, БНТУ, 2007), III Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России» (г. Екатеринбург, УГЛТУ, 2007), 72-й научно-технической конференции (г. Минск, БГТУ, 2008), Международной научно-технической конференции (г. Штудгарт, Германия, 2008), Международной научно-технической конференции «Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии» (г. Минск, БГТУ, 2008), 73-й научно-технической конференции (г. Минск, БГТУ, 2009), 74-й научно-технической конференции (г. Минск, БГТУ, 2010), 75-й научно-технической конференции (г. Минск, БГТУ, 2011) и 76-й научно-технической конференции (г. Минск, БГТУ, 2012).

**Опубликованность результатов.** По теме диссертации опубликовано 21 научная работа объемом 3,54 авторского листа, в том числе 13 статей в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК по специальности, 8 статей в сборниках материалов конференций. Получено 2 патента.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем работы 105 страниц печатного текста, в том числе иллюстрации и таблицы общим объемом 25 страниц, приложения - 25 страниц. Библиографический список включает список используемых источников из 94 наименований и список публикаций соискателя из 23 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Первая глава** посвящена аналитическому обзору литературных источников по теме диссертации.

Для обоснования целесообразности проведения научных исследований выявлены основные направления совершенствования ресурсосберегающих процессов механической обработки древесных материалов и энергосберегающих режимов методом цилиндрического фрезерования.

Основополагающие исследования процессов фрезерования натуральной древесины ученых: Бершадского А. Л., Воскресенского С. А., Кряжева Н. А., Манжоса Ф. М., Ивановского Е. Г. и др. позволили разработать теоретические положения кинематики процесса резания, создать методическую базу для расчетов режимов обработки с учетом энергетических затрат и качественных показателей.

Методики расчетов энергетических показателей фрезерования древесностружечных плит, получившие развитие в трудах Амалицкого В. В., Бершадского А. Л., Кряжева Н. А. и др. основаны на том, что при решении технологических задач необходимо учитывать возможную скорость подачи при полном использовании мощности привода резания. Данный критерий не является основным энерго- и ресурсосберегающим показателем, определяющим эффективность эксплуатации оборудования и качества обработки.

С учетом технических характеристик и технологических возможностей современного оборудования с ЧПУ, применяемого для обработки ламинированных ДСтП, выявлены следующие основные критерии, позволяющие обеспечить ресурсо- и энергосбережение: длина обработанной поверхности; длина пути контакта режущей кромки в материале; период стойкости инструмента; затраты мощности на выполнение процесса резания.

Проведенный анализ конструкций фрез для обработки ламинированных ДСтП выявил две основные группы инструментов по способу их крепления: насадные и хвостовые (концевые). Современные технологии обработки ламинированных ДСтП используют оборудование с ЧПУ и инструменты с хвостовым креплением. Применяемые конструкции насадных фрез с изменяемым углом резания позволяют устанавливать необходимые угловые параметры в зависимости от обрабатываемого материала. В связи с этим целесообразно разработать и обосновать параметры фрез с изменяемым углом резания в хвостовом исполнении в соответствии с техническими возможностями станков с ЧПУ.

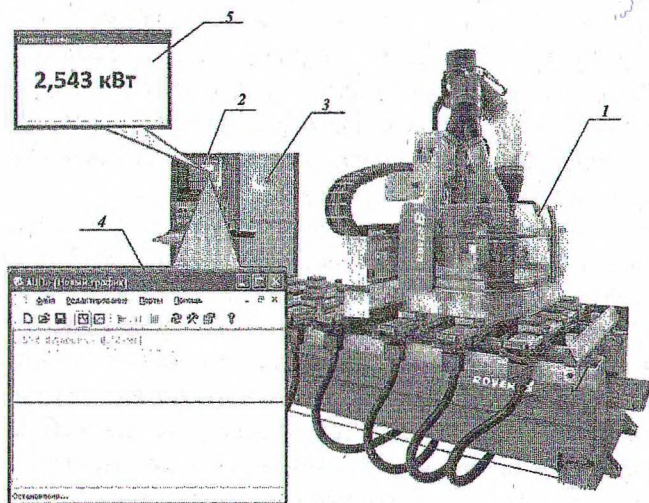
На основании анализа литературных источников сформулированы цель и задачи научных исследований по теме диссертации.

**Во второй главе** представлена методика проведения научных исследований.

Физико-механические свойства ламинированных ДСтП определены ГОСТ 10632 и ТУ 13-0260215-02, а критерием качества их обработки является отсутствие дефектов в виде сколов на лицевой поверхности.

Во время опытных исследований проведен отсеивающий эксперимент с использованием метода случайного баланса, который позволил построить диаграммы рангов и уточнить диапазоны варьирования значимых переменных факторов: средняя толщина стружки  $X1 [e]$ , мм (0,05 - 0,35); высота припуска  $X2 [h]$ , мм (1 - 3); скорость резания  $X3 [V_s]$ , м/с (25 - 45); диаметр фрезерования  $X4 [D]$ , мм (80 - 140).

С учетом диапазонов переменных факторов и регистрируемых показателей в качестве экспериментальной установки определен современный многооперационный деревообрабатывающий станок модели Rover B 4.35 с числовым программным управлением (рисунок 1) [8, 12, 15]. Принципиальная схема экспериментальной установки представлена на рисунке 2. Аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) позволяет с точностью  $\pm 5$  Вт регистрировать в реальном режиме времени энергозатраты процесса. Разработано программное обеспечение для управления АЦП. Измерительная система оттарирована при помощи тензометрической измерительной системы EX-UT 10 и универсального динамометрического моста УДМ-1200, имеющих сертификаты точности.



1 - многооперационный станок Rover B4.35; 2 - персональный компьютер;  
3 - аналоговый дисплей указания текущей потребляемой мощности; 4, 5 - окна программы регистрации мощности

Рисунок 1 – Экспериментальная установка



В проводимых исследованиях использовались ножи, изготовленные из твердых сплавов марок: ВК15, ВК8 и ВК6 ОМ.

Контроль состояния режущих кромок и соответствия химического состава проводился на сканирующем электронном микроскопе JSM-5610 LV, оснащенном системой химического микроанализа EDX JED-2210.

При проведении экспериментов использован В-оптимальный план математического планирования экспериментальных исследований, который позволяет получить достоверные математические модели функций отклика [11].

Полученные математические модели позволили выявить рациональные режимы обработки ламинированных ДСтП и разработать рекомендации по их использованию.

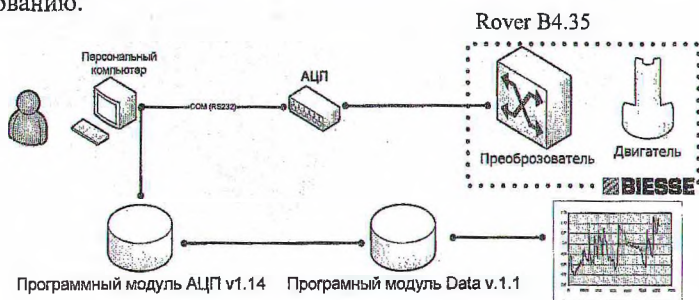


Рисунок 2 – Принципиальная схема экспериментальной установки

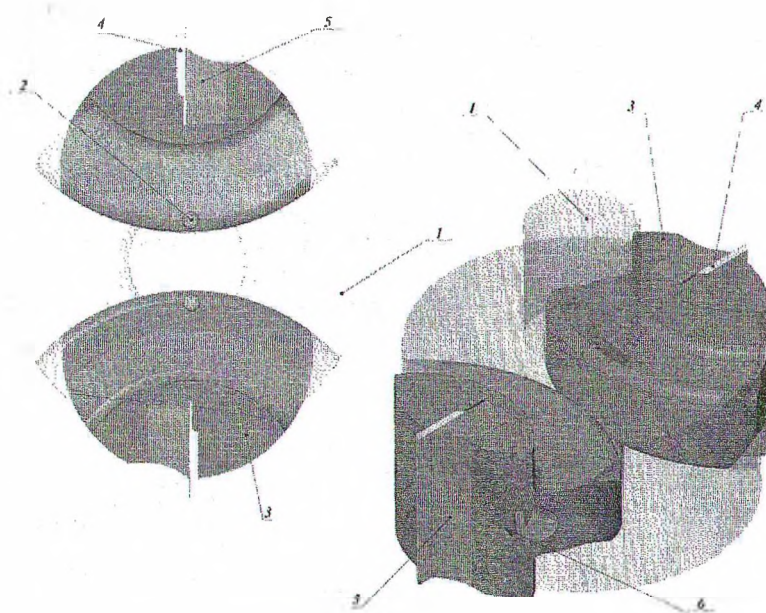
В третьей главе обоснованы параметры новых конструкций фрез с изменяемым углом резания в хвостовом исполнении для станков с ЧПУ [1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 14, 19, 20, 21, 22, 23].

В корпусе фрезы (рисунок 3) в соединении «ласточкин хвост» установлены подвижные секторы с ножами, что позволяет путем изменения их положения задавать необходимый угол резания. Крепление фрезы обеспечивает хвостовик в соответствии с техническими требованиями станков с ЧПУ.

Произведены расчеты сил, сдвигающих сектор относительно корпуса фрезы, и сил, удерживающих его в заданном положении.

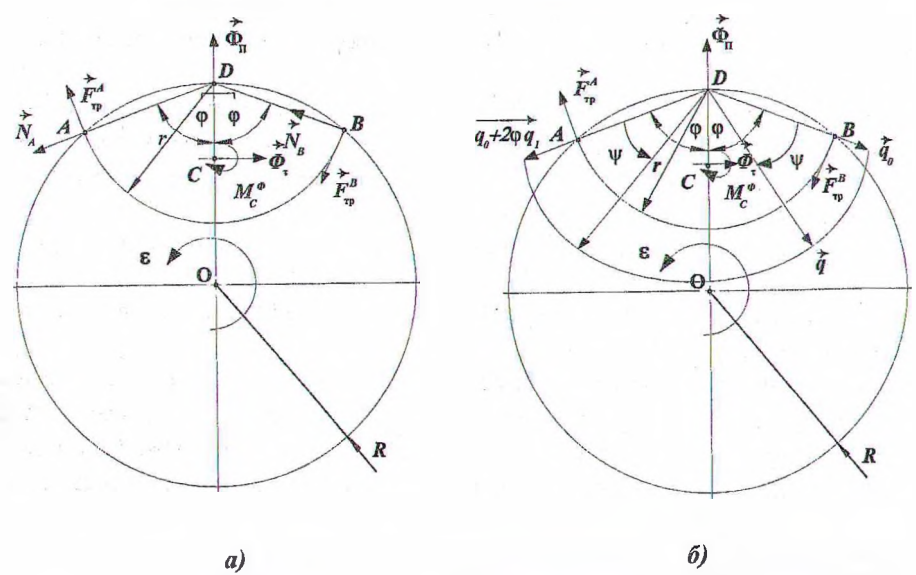
При разработке методики расчетов использована схема действия сил, показанная на рисунке 4.

Выполнен анализ движения фрезы на начальном этапе разгона. В начале процесса разгона фрезы, когда центробежная сила инерции не велика, сектор касается фрезы в двух противоположных точках  $A$  и  $B$  (рисунок. 4,  $a$ ), и действие касательных сил инерции приводит к появлению нормальных реакций  $N_A$  и  $N_B$  в точках  $A$  и  $B$ , причем значения обеих реакций положительны, а также сил трения  $F_{тр}^A$  и  $F_{тр}^B$ .



1 – хвостовая часть корпуса; корпус; 2 – крепежный винт; 3 – сектор;  
4 – нож; 5 – клин; 6 – винт

**Рисунок 3 – Конструкция проектируемой фрезы**



**Рисунок 4 – Расчетная схема сил действующих на подвижный сектор**

При этом в точке  $B$  сектор прижимается к корпусу фрезы по цилиндрической поверхности, тогда как в точке  $A$  – по конической, и в результате действия расклинивающих усилий в точке  $A$  необходимо учитывать приведенный коэффициент трения, определяемый соотношением

$$f_{np} = f / \sin 20^\circ \approx 3f. \quad (1)$$

Задача решена методом предельного равновесия, когда предполагается, что силы трения достигли своих предельных значений, равных произведению коэффициентов трения на нормальные реакции. На основании принципа Даламбера составлены уравнения моментов всех сил, включая силы инерции, относительно точек  $A$  и  $B$ . Это позволило записать следующие выражения (2, 3):

$$N_A = \frac{A + B\epsilon t^2}{\sin 2\varphi - f_{np}(1 - \cos 2\varphi)} m r \epsilon, \quad (2)$$

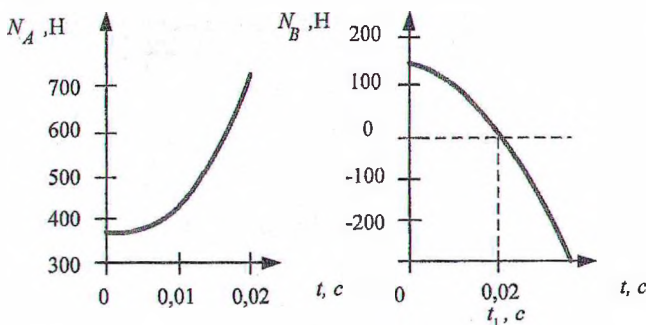
$$N_B = \frac{A - B\epsilon t^2}{\sin 2\varphi - f(1 - \cos 2\varphi)} m r \epsilon, \quad (3)$$

где

$$A = \frac{1}{2} - \frac{1}{3} \frac{\sin 2\varphi}{\varphi} + \frac{R}{r} \left( \cos \varphi - \frac{2}{3} \frac{\sin \varphi}{\varphi} \right), \quad B = \left( \frac{R}{r} - \frac{2}{3} \frac{\sin \varphi}{\varphi} \right) \sin \varphi,$$

$m$  – масса сектора;  $r$  – радиус сектора;  $\epsilon$  – угловое ускорение фрезы;  $\varphi$  – угловой параметр сектора (рисунок 4);  $f_{np}$  – приведенный коэффициент трения.

Результаты вычислений по этим зависимостям представлены на рисунке 5. Продолжительность первого этапа определяется условием  $t \leq t_1 = \sqrt{A/B \cdot \epsilon}$ . Для рассматриваемых условий  $t_1 = 0,02$  с.



**Рисунок 5 - Зависимость нормальных реакций в точках  $A$  и  $B$  от времени на начальном этапе разгона**

Суммарная сила трения определяется уравнением моментов относительно точки  $D$ :

$$F_{\text{тр}}^A + F_{\text{тр}}^B = \left( \frac{2}{3} \frac{R \sin \varphi}{r} - \frac{1}{2} \right) m r \varepsilon. \quad (4)$$

Она зависит лишь от углового ускорения вращения фрезы и равна 85 Н. Возникающие при этом силы трения обеспечивают около половины этой величины. Поэтому необходимы минимальные стопорные устройства, например, в виде одного или двух винтов М4. За время 0,02 с продолжительности первого этапа корпус фрезы поворачивается примерно на угол 0,12 рад (около  $7^\circ$ ), так что даже при отсутствии стопорных устройств угол относительного поворота сектора составит не более половины этой величины, т. е. около  $3^\circ$ , что и было зафиксировано при испытаниях опытного образца фрезы.

Так же выполнен анализ движения фрезы на заключительном этапе разгона. При достаточно большой угловой скорости вращения фрезы вследствие действия центробежной силы инерции сектор прижимается к конической опоре «ласточкиного хвоста». Однако касательные силы инерции приводят к неравномерному распределению сил нормального давления. В первом приближении можно предположить, что эти силы линейно увеличиваются с увеличением угла  $\psi$  при переходе от точки  $B$  к точке  $A$  (рисунок 4, б).

Анализ уравнений динамического равновесия в соответствии с принципом Даламбера показал, что минимально допускаемое значение коэффициента трения определяется условием (5):

$$f = \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{3} \frac{R \sin \varphi}{r} \right) m r \varepsilon / [\varphi(q_0 + \varphi q_1)]. \quad (5)$$

Параметры интенсивности распределения нагрузки  $q_0$  и  $q_1$  являются сложными функциями коэффициента трения, так что решение уравнения (5) возможно лишь численными методами и показано на рисунке 6.

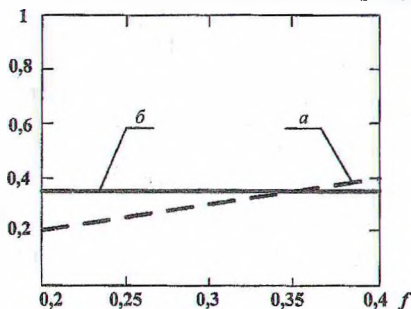


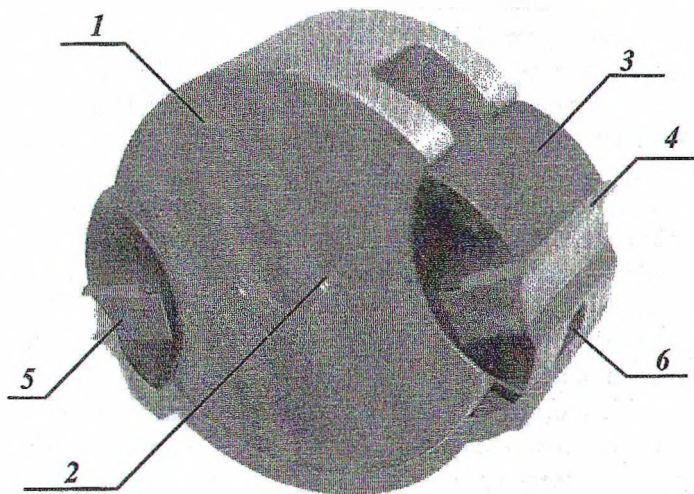
Рисунок 6 – Зависимость левой ( $a$ ) и правой ( $b$ ) части уравнения (5) от значения коэффициента трения

Числовые расчеты выполнены при условии, что номинальный режим работы фрезы устанавливается при  $\omega \cong 1250$  рад/с ( $12\ 000$  мин<sup>-1</sup>). Тогда при  $\epsilon = 600$  рад/с<sup>2</sup> время разгона фрезы составит примерно 2 секунды. Вычисления выполнены в рамках программного пакета MathCAD.

На втором этапе уже в момент времени 0,03 с требуемый коэффициент трения составляет 0,35, и поскольку контакт сектора и корпуса осуществляется по конической поверхности, то значение приведенного коэффициента трения для стали по стали 0,35–0,4 достаточно для обеспечения относительного равновесия сектора (рисунок 6). С течением времени ввиду увеличения сил нормального взаимодействия, обусловленного увеличением центробежной силы инерции, требуемое значение приведенного коэффициента трения уменьшается, что обеспечивает безопасность работы фрезы на всех режимах ее работы.

Экспериментальная фреза испытана на промышленных режимах без использования стопорных устройств. Подвижный сектор на этапе разгона смещался относительно корпуса фрезы на 2–3°. Для обеспечения точности установки и безопасности эксплуатации в конструкции фрезы предусмотрен один фиксатор сектора.

В соответствии с теоретическими и конструкторскими разработками изготовлен опытный образец фрезы (рисунок 7). В процессе экспериментальных исследований подтверждена их работоспособность на станках с ЧПУ.



1 – корпус; 2 – крепежный винт; 3 – сектор; 4 – нож; 5 – клин; 6 – винт

Рисунок 7 - Фреза хвостовая с изменяемым углом резания

В четвертой главе в соответствии с методикой проведения экспериментальных исследований разработаны математические модели, устанавливающие рациональные режимы фрезерования ламинированных ДСтП на многооперационных станках с ЧПУ. Модели проверены на адекватность по критерию Фишера с достоверностью не ниже 90% [10, 11, 17].

Модели влияния переменных факторов на выходные показатели [17, 19]:

- на длину обрабатываемой поверхности:

$$L = -162,58 + 392,58e - 21,32h + 4,868V + 1,852D + 116,53eh + 2,864eD - 0,438hV - 0,243hD - 0,041VD - 617,3e^2 + 15,71h^2; \quad (6)$$

- на длину дуги контакта:

$$l = -2135,4 - 3626,7e + 973h + 59,15V + 21,645D - 746,7eh + 51,27eV + 15,02eD - 12,51hV - 2,09hD - 0,5123VD; \quad (7)$$

- на период стойкости инструмента:

$$T = -30,66 - 50,1e + 8,58h + 0,604V + 0,49D - 4,53eh + 1,106eV - 0,104hV - 0,037hD - 0,0092VD; \quad (8)$$

- на полезную мощность процесса фрезерования:

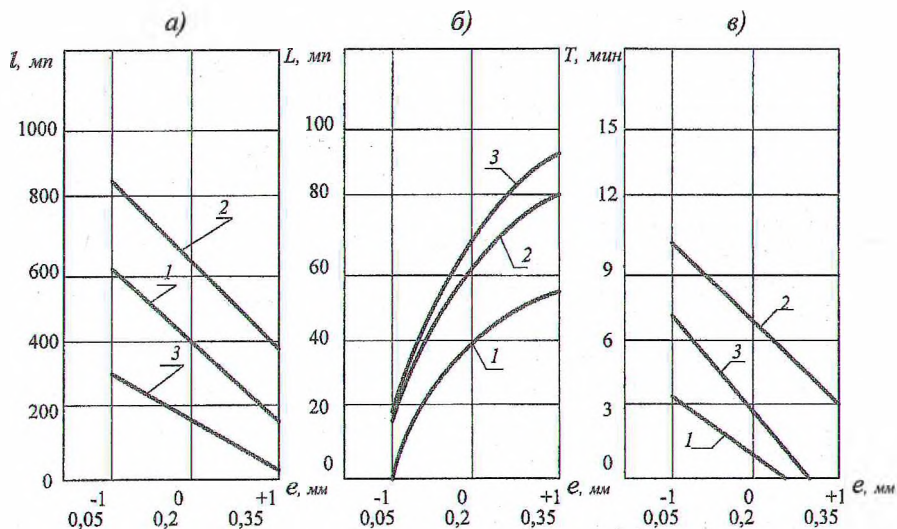
$$P = -37 + 1357e - 14h + 3V - 0,3D + 353eh + 19eV + 2,6hV - 4222e^2 - 20h^2; \quad (9)$$

где  $e$  – толщина стружки, мм;  $h$  – высота припуска, мм;  $V$  – скорость резания, м/с;  $D$  – диаметр фрезерования, мм.

Анализ математических моделей проведен на основе их графического представления. Установлено, что наибольшее влияние на выходные показатели оказывают: средняя толщина стружки (рисунок 8) и высота припуска обработки (рисунок 9).

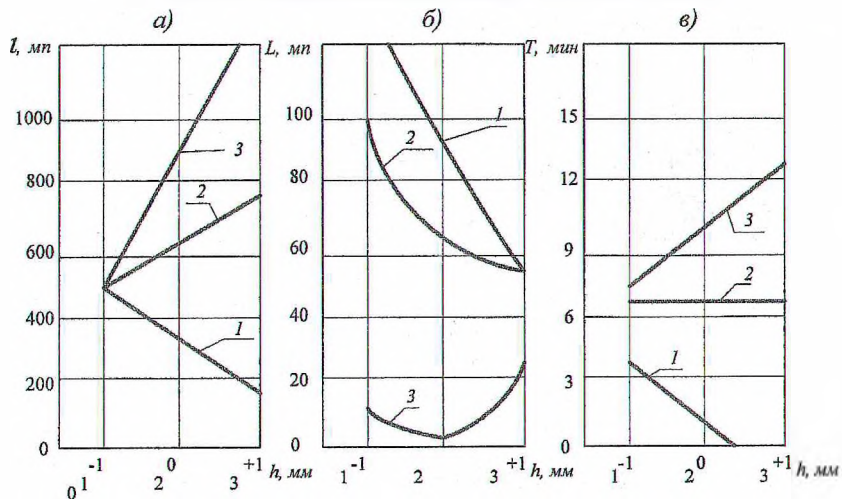
Математические модели позволяют установить предельные значения выходных показателей. Установлено, что при фрезеровании с большими припусками, с целью обеспечения бездефектной обработки целесообразно припуск удалять за несколько проходов, что снизит производительность оборудования, уменьшит период стойкости инструмента, однако обеспечит требуемое качество поверхности и пониженное энергопотребление. Такие противоречивые закономерности дали основание для разработки рекомендаций по установлению рациональных режимов резания в направлении увеличения производительности оборудования и снижения расхода дереворежущего инструмента, представленных в таблице 1.

Длина дуги контакта ограничивает время работы инструмента и уменьшает длину обработанной поверхности до появления дефектов (рисунок 13), при этом снижая производительность процесса обработки.



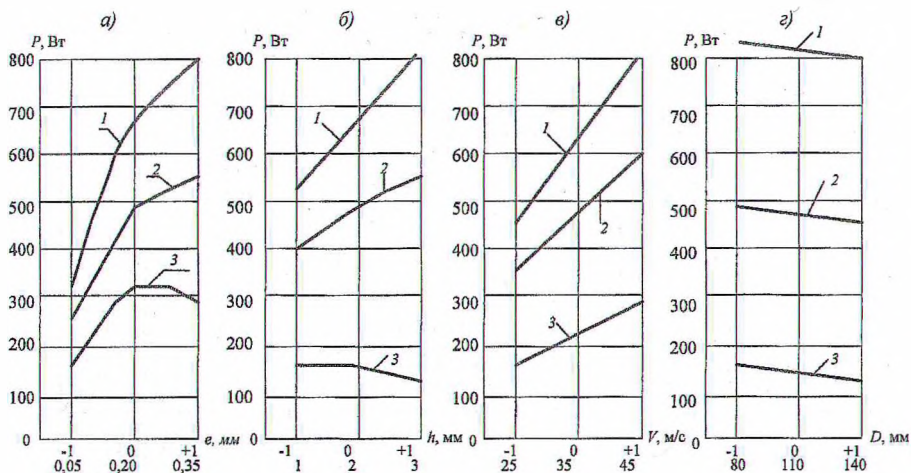
1- нижний; 2-средний; 3-верхний уровень варьирования переменных факторов

**Рисунок 8 - Влияние средней толщины стружки на длину дуги контакта (а), длину обработанной поверхности (б) и период стойкости режущего инструмента (в) (материал ножа BK15)**

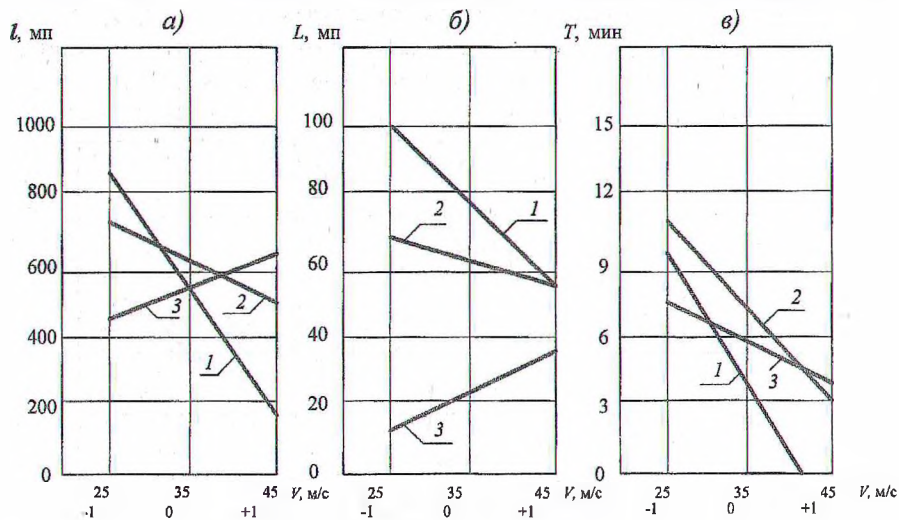


1- нижний; 2-средний; 3-верхний уровень варьирования переменных факторов

**Рисунок 9 Влияние высоты припуска на длину дуги контакта (а), длину обработанной поверхности (б) и период стойкости режущего инструмента (в) (материал ножа BK15)**

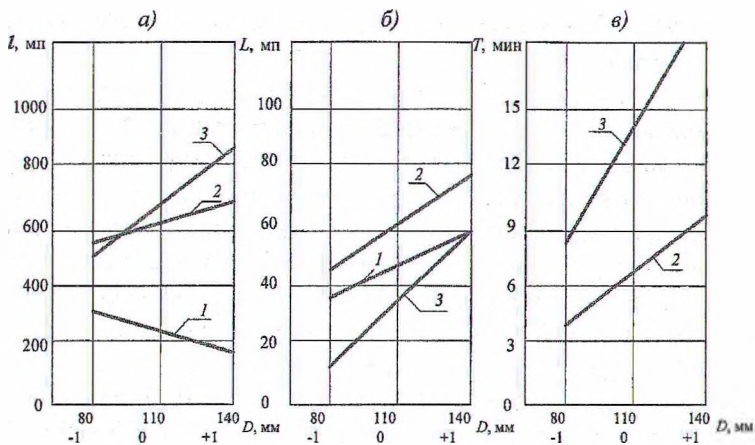


1-нижний; 2-средний; 3-верхний уровень варьирования переменных факторов  
**Рисунок - 10** Влияние толщины стружки (а), высоты припуска (б), скорости резания (в) и диаметра фрезерования (г) на мощность резания

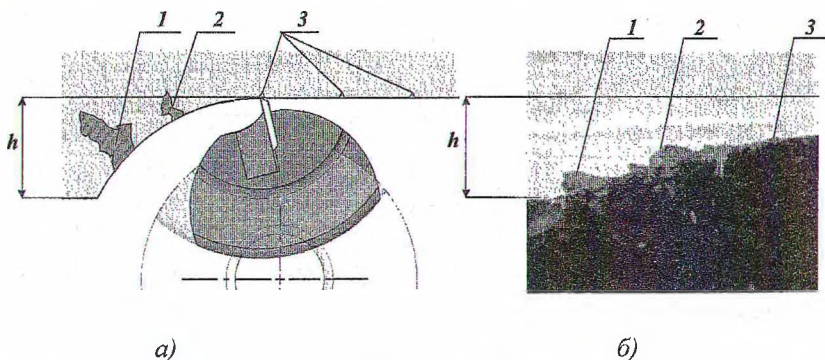


1-нижний; 2-средний; 3-верхний уровень варьирования переменных факторов  
**Рисунок - 11** Влияние скорости резания на длину дуги контакта (а), длину обработанной поверхности (б) и период стойкости режущего инструмента (в) (материал ножа ВК15)





1-нижний; 2-средний; 3-верхний уровень варьирования переменных факторов  
**Рисунок - 12** Влияние диаметра фрезерования на длину дуги контакта (а),  
 длину обработанной поверхности (б) и период стойкости инструмента (в)  
 (материал ножа ВК15)



1, 2 – сколы на поверхности резания; 3 – сколы на обработанной поверхности  
**Рисунок - 13** Схема образования сколов (а), и фотография  
 образовавшихся сколов (б)

Образование дефектов (сколов) происходит как в зоне формирования поверхности обработки, так и в зоне снятия основного припуска (рисунок 13). При уменьшении толщины стружки необходимо увеличивать скорость резания или уменьшать скорость подачи, что обеспечивается системой управления станков с ЧПУ. Такая взаимосвязь выявленных математических моделей позволяет назначать технологические режимы обработки в зависимости от приоритетности выходного показателя (таблица 1).

В пятой главе обобщены результаты исследований с целью их практического использования [13].

Математические модели позволили разработать рекомендации по назначению рациональных режимов обработки ламинированных ДСтП на станках с ЧПУ в зависимости от приоритетности выходного показателя (таблица 1).

При необходимости получения максимальной производительности процесса с обеспечением установленного качества другие выходные показатели могут значительно ухудшать свои значения (ресурсосбережение), наименьшие энергозатраты не позволяют получать высокий показатель производительности процесса и периода стойкости инструмента (энергосбережение).

Результаты проведенных исследований позволили установить, что значения выходных показателей должны корректироваться поправочными коэффициентами: при использовании ножей из сплава ВК15 – 1, ВК8 – 1,7 и ВК6 ОМ – 2,2.

Таблица 1 - Рациональные режимы обработки кромок ламинированных древесностружечных плит методом цилиндрического фрезерования

Выходные показатели	Значения переменных факторов, устанавливающих рациональный режим обработки			
	средняя толщина стружки $e$ , мм	высота припуска $h$ , мм	скорость резания $V$ , м/с	диаметр фрезерова- ния $D$ , мм
1. Наибольшая длина обработанной поверхности, пог. м	0,25-0,35 $h = 1,0$ мм $V = 25$ м/с $D = 80$ мм	1,0-1,5 $e = 0,35$ мм $V = 45$ м/с $D = 140$ мм	25-30 $e = 0,35$ мм $h = 3,0$ мм $D = 140$ мм	135-140 $e = 0,2$ мм $h = 2,0$ мм $V = 35$ м/с
2. Наибольший путь контакта режущей кромки в материале, пог. м	0,05-0,1 $h = 2,0$ мм $V = 35$ м/с $D = 110$ мм	2,5-3,0 $e = 0,05$ мм $V = 25$ м/с $D = 180$ мм	25-30 $e = 0,35$ мм $h = 3,0$ мм $D = 140$ мм	135-140 $e = 0,05$ мм $h = 1,0$ мм $V = 25$ м/с
3. Наибольший период стойкости инструмента, мин	0,05-0,1 $h = 2,0$ мм $V = 35$ м/с $D = 110$ мм	2,5-3,0 $e = 0,05$ мм $V = 25$ м/с $D = 80$ мм	25-30 $e = 0,2$ мм $h = 2,0$ мм $D = 110$ мм	135-140 $e = 0,05$ мм $h = 1,0$ мм $V = 25$ м/с
4. Наименьшая мощность на процесс резания, кВт	0,05-0,1 $h = 1,0$ мм $V = 25$ м/с $D = 140$ мм	1,0-1,5 $e = 0,05$ мм $V = 25$ м/с $D = 80$ мм	25-30 $e = 0,05$ мм $h = 1,0$ мм $D = 80$ мм	80 $e = 0,05$ мм $h = 1,0$ мм $V = 25$ м/с

В главе представлена методика расчета себестоимости механической обработки ламинированных ДСтП на станках с ЧПУ с использованием новой конструкции фрезы на ресурсо- и энергосберегающих режимах.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Основные научные результаты диссертации**

1. Обоснованы технологические параметры конструкций хвостовых фрез с изменяемым углом резания для обработки ламинированных ДСтП на станках с ЧПУ со следующими техническими характеристиками: рабочий диаметр 80-140 мм, частота вращения до 24 000 мин<sup>-1</sup>, диапазон изменения угла резания 65°–75°. Разработана и обоснована математическая модель, теоретически устанавливающая зависимость требуемого коэффициента трения на опоре скольжения в корпусе новой конструкции хвостовой фрезы  $f_{пр} \leq 0,15$  от радиуса сектора-ножедержателя, его массы и радиуса корпуса фрезы, что обеспечивает рабочий режим самоторможения сектора-ножедержателя и безопасность эксплуатации фрезы.

2. На основе установления ранговой зависимости режимов обработки ламинированных древесностружечных плит на станках с ЧПУ на выходные показатели: длину обработанной поверхности; длину пути контакта режущей кромки; период стойкости инструмента; затраты мощности на резание, следует считать основными значимыми факторами: среднюю толщину стружки  $e = 0,05-0,35$  мм, величину припуска обработки  $h = 1-3$  мм, скорость резания  $V_e = 25-45$  м/с и диаметр фрезерования  $D = 80-140$  мм.

3. Математические модели влияния переменных факторов процесса фрезерования, указанных в п. 2, на выходные показатели процесса, позволяют назначать рациональные режимы обработки ламинированных ДСтП на станках с ЧПУ в зависимости от приоритетности выходного показателя (таблица 1). При этом возможно снижение энергозатрат на 8-12%.

4. Подтверждена работоспособность новой хвостовой фрезы в промышленных условиях на разработанных энерго- и ресурсосберегающих режимах фрезерования ламинированных ДСтП на станках с ЧПУ.

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Результаты диссертационной работы апробированы на ЗАО холдинговая компания «Пинскдрев» с целью повышения эффективности обработки ламинированных древесностружечных плит цилиндрическим фрезерованием на станках с ЧПУ.

Рациональные режимы обработки, согласно расчетов технико-экономических показателей, позволили на предприятии получить экономический эффект в размере 313 664 тыс. бел. рублей (в ценах 2012 года).

Внедрение новой конструкции фрезы с изменяемым углом резания, согласно расчетам технико-экономических показателей, позволили получить экономический эффект в размере 77 724 тыс. бел. рублей (в ценах 2012 года).

2. Разработанные математические модели расчетов ресурсо- и энергоэффективных режимов цилиндрического фрезерования ламинированных ДСтП позволяют производить расчеты мощности процесса резания, периода стойкости инструмента и внедрены в учебный процесс на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов УО «Белорусский государственный технологический университет» по дисциплинам «Резание древесины и дереворежущий инструмент», «Проектирование и производство дереворежущего инструмента и заточного оборудования», «Проектирование деревообрабатывающих машин» учебного плана специальности 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса».

3. Получено коммерческое предложение от одной из крупнейших мировых фирм-производителей дереворежущих инструментов LEUCO (Германия) по освоению конструкции новой фрезы с изменяемым углом резания для обработки древесных материалов.

### **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ**

**Статьи в научных журналах и сборниках, входящих в перечень ВАК**

1. Аникеенко, А. Ф. Схемы крепления фрезерного инструмента и типы их конструкции / А. Ф. Аникеенко // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. - Минск, 2004. - Вып. XII, Сер. II. - С. 237-241.

2. Гришкевич, А. А. Сборная цилиндрическая фреза с изменяемыми угловыми параметрами для обработки древесины и древесных материалов / А. А. Гришкевич, А. Ф. Аникеенко, А. П. Клубков // Деревообрабатывающая промышленность. - М., - 2005. № 5 (560). - с. 1-32.

3. Гришкевич, А. А. Экспериментальная установка для исследования процесса фрезерования древесины и древесных материалов / А. А. Гришкевич, А. Ф. Аникеенко // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. - Минск, 2005. - Вып. XIII, Сер. II. - С. 202-204.

4. Гришкевич, А. А. Сборные дереворежущие фрезы / А. А. Гришкевич, А. Ф. Аникеенко, А. П. Клубков // Деревообрабатывающая промышленность. - М., 2006. - № 4. - с. 10-11.

5. Сборная цилиндрическая фреза для фрезерования древесины и древесных материалов / А. А. Гришкевич [и др] // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. - Минск., 2006. - Вып. XIV, Сер. II. - С. 163-165.

6. Клубков, А. П. Конструкция сборной цилиндрической фрезы с изменяемыми угловыми параметрами для обработки древесины и древесных материалов / А. П. Клубков, А. А. Гришкевич, А. Ф. Аникеенко // Материалы технологии инструменты. - Гомель, 2006. - т. 11. - № 4. - с. 98-101.

7. Использование силовых воздействий на элементы сборной фрезы при разработке рефлекторных самонастраивающихся инструментов / А. А. Гришкевич [и др.] // Материалы технологии инструменты. - Гомель, 2007. - т. 12. - № 2. - с. 85-91.

8. Аникеенко, А. Ф. Методика проведения экспериментальных исследований по фрезерованию древесных плитных материалов на обрабатывающем центре с числовым программным управлением Rover b4.35 / А. Ф. Аникеенко, А. А. Гришкевич // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. - Минск, 2007. - Вып. XV, Сер. II. - с. 213-216.

9. Гришкевич, А. А. Совершенствование многогранных твердосплавных пластин одноразового использования для фрезерования древесины и древесных плитных материалов / А. А. Гришкевич, А. П. Клубков, А. Ф. Аникеенко // Деревообрабатывающая промышленность. - М., - 2007. № 6. - с. 12-14.

10. Аникеенко, А. Ф. Влияние технологических характеристик на силу и мощность процесса фрезерования древесноволокнистых плит средней плотности (MDF) / А. Ф. Аникеенко, А. А. Гришкевич // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. - Минск, 2008. - Вып. XVI, Сер. II. - С. 188-194.

11. Результаты экспериментальных исследований по изучению влияния основных переменных факторов, влияющих на мощность процесса фрезерования облицованных плитных материалов / А. Ф. Аникеенко // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. - Минск, 2009. - Вып. XVII, Сер. II. - С. 293-296.

12. Аникеенко, А. Ф. Рекомендации по методике проведения исследований в области механической обработки ламинированных древесностружечных плит / А. Ф. Аникеенко, А. П. Фридрих // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. - Минск, 2011. - № 2 (140). - С. 313-315.

13. Аникеенко, А. Ф. Разработка рекомендаций по практическому использованию результатов исследований процессов фрезерования ламинированных древесностружечных плит / А. Ф. Аникеенко, А. П. Фридрих // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. - Минск, 2011. - № 2 (140). - С. 316-319.

#### **Статьи в сборниках научных трудов**

14. Гришкевич, А. А. Цилиндрическая сборная фреза с изменяемыми угловыми параметрами для обработки древесины и древесных материалов / А. А. Гришкевич, А. Ф. Аникеенко // Технология изготовления машин: Республиканский межведомственный сборник научных трудов Вып. 2. - т. 5 - Минск, 2004. - С. 48-51.

15. Гришкевич, А. А. Экспериментальная установка для исследования процесса фрезерования древесины и древесных материалов / А. А. Гришкевич,

А. Ф. Аникеенко // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века, труды Международного евразийского симпозиума. - Екатеринбург, 2006 – с. 200-205.

16. Аникеенко, А. Ф. Исследование процесса обработки древесины и древесных материалов методом цилиндрического фрезерования / А. Ф. Аникеенко, А. А. Гришкевич // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века, труды Международного евразийского симпозиума. – Екатеринбург, 2007. – с. 203-205.

17. Аникеенко, А. Ф. Математическая модель влияния основных переменных факторов на мощность цилиндрического фрезерования ламинированных древесностружечных плит / А. Ф. Аникеенко // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды Международного евразийского симпозиума. – Екатеринбург, 2010. – с. 171-177.

#### **Материалы конференций**

18. Гришкевич, А. А. Сборная фреза с двух лезвийными одноразовыми твердосплавными пластинками / А. А. Гришкевич, А. П. Клубков, А. Ф. Аникеенко // 69-я научно-техническая конференция. - Минск. - БГТУ, - 2005.

19. Аникеенко, А. Ф. Особенности износа лезвия инструмента при фрезеровании кромок древесноволокнистых плит средней плотности (MDF) / А. Ф. Аникеенко, И. И. Бавбель // Ресурсо – и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Международной научно-технической конференции. – Минск: – БГТУ, -2006.

#### **Тезисы докладов на конференциях**

20. Гришкевич, А. А. Цилиндрическая сборная фреза с изменяемыми угловыми параметрами для обработки древесины и древесных материалов / А. А. Гришкевич, А. Ф. Аникеенко // Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование, технология: II Международная техническая конференция. – Минск: БНТУ, 2004.

21. Аникеенко, А. Ф. Новая сборная концевая фреза / А. Ф. Аникеенко, Д. Л. Шукевич // X Республиканская научная конференция студентов и аспирантов высших учебных заведений Республики Беларусь. – Минск: БГТУ, 2006.

#### **Патенты и заявки на изобретения**

22. Нож дереворежущий: патент № 9574 Респ. Беларусь, МПК (2006) В27В 33/02 / А. П. Клубков, А. А. Гришкевич, А. Ф. Аникеенко; заявитель учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет». – № а 20050744; заявл. 19.04.2005; Оpubл. 19.04.2007.

23. Дереворежущий инструмент: патент №10331 Респ. Беларусь, МПК (2006) В27В 33/ 00/ / А. П. Клубков, А. А. Гришкевич, А. Ф. Аникеенко; заявитель учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет». – № а 20050743; заявл. 19.07.2005; Оpubл. 22.11.2007.

## РЕЗЮМЕ

Аникеев Андрей Федорович

### **Ресурсо- и энергосберегающие режимы обработки ламинированных древесностружечных плит цилиндрическим фрезерованием на станках с числовым программным управлением**

**Ключевые слова:** фреза, ламинированная древесностружечная плита, стружка, припуск, скорость резания, диаметр фрезерования, качество поверхности, период стойкости, мощность резания.

**Объект исследований** – режимы цилиндрического фрезерования ламинированных ДСтП на станках с ЧПУ.

**Предмет исследований** – ламинированная ДСтП, хвостовая фреза с изменяемым углом резания.

**Цель исследований** – разработать режущий инструмент, ресурсо- и энергосберегающие режимы цилиндрического фрезерования ламинированных древесностружечных плит на станках с ЧПУ.

**Методы исследований и аппаратура.** Для планирования эксперимента используется метод случайного баланса и В-план математического планирования. При проведении эксперимента, регистрации и обработке полученных результатов использовались: деревообрабатывающий многооперационный станок с ЧПУ Rover B4.35, аналого-цифровой преобразователь АЦП-240, сканирующий электронный микроскоп JSM-5610 LV, оснащенный системой химического микроанализа EDX JED-2210, камера скоростной видеосъемки Motion Cube3-3 с разрешением 512×512 пикселей и частотой съемки 1 кГц.

**Научная новизна полученных результатов** заключается: в разработке новой конструкции хвостовой фрезы с изменяемым углом резания и рабочим режимом самоторможения сектора-ножедержателя; установлении приоритетных показателей, таких как производительность, период стойкости инструмента и потребляемая мощность процесса фрезерования, обеспечивающих высокую экономическую эффективность на основе разработанных математических моделей, позволяющих устанавливать рациональные режимы резания.

Разработаны практические рекомендации по режимам обработки ламинированных древесностружечных плит методом цилиндрического фрезерования на станках с ЧПУ, позволяющие повысить период стойкости режущего инструмента, производительность процесса, уменьшить мощность на резание и получить продукцию установленного качества.

**Область применения результатов диссертации** – деревообрабатывающие предприятия, а также машиностроительные, разрабатывающие и производящие деревообрабатывающее оборудование и фрезерный инструмент.

**РЭЗІЮМЭ**  
**Анікеенка Андрэй Фёдаравіч**

**Рэсурса- і энергазберагальныя рэжымы апрацоўкі ламінаваных  
драўнянастружкавых пліт цыліндрычным фрэзераваннем на станках  
з лічбавым праграмным кіраваннем**

**Ключавыя словы:** фрэза, ламінаваная драўнянастружкавая пліта (ДСтП), стружка, прыпуск, скорасць рэзання, дыяметр фрэзеравання, якасць паверхні, перыяд устойлівасці, магутнасць рэзання.

**Аб'ект даследаванняў** - рэжымы цыліндрычнага фрэзеравання ламінаваных ДСтП на станках з ЛПК.

**Прадмет даследаванняў** - ламінаваная ДСтП, хваставая фрэза са зменлівым вуглом рэзання.

**Мэта даследаванняў** – распрацоўка рэжучага інструмента, рэсурса- і энергазберагальных рэжымаў цыліндрычнага фрэзеравання ламінаваных ДСтП на станках з ЛПК.

**Метады даследаванняў і апаратура.** Для планавання эксперыменту выкарыстоўваецца метады выпадковага балансу і В-план матэматычнага планавання. Пры правядзенні эксперыменту, рэгістрацыі і апрацоўкі атрыманых вынікаў выкарыстоўваліся дрэваапрацоўчы шматаперацыйны станок з ЛПК Rover B4.35, аналага-лічбавы пераўтваральнік АЛП-240, скануючы электронны мікраскоп JSM-5610 LV, аснашчаны сістэмай хімічнага мікрааналізу EDX JED - 2210, камера скарасной відэаздымкі Motion Cube3-3 з дазваляем 512×512 пікселей і частатой здымкі 1 кГц.

**Навуковая навізна атрыманых вынікаў** заключаецца: у распрацоўцы новай канструкцыі хваставой фрэзы са зменлівым вуглом рэзання і рабочым рэжымам саматармажэння сектара-ножатарымальніка; устанавленні прыярытэтных паказчыкаў, такіх як прадукцыйнасць, перыяд устойлівасці інструмента і спажывальная магутнасць працэсу фрэзеравання, якія забяспечваюць высокую эканамічную эфектыўнасць на аснове распрацаваных матэматычных мадэлей і дазваляюць устанавліваць рацыянальныя рэжымы рэзання.

Распрацаваны практычныя рэкамендацыі па рэжымах апрацоўкі ламінаваных ДСтП метадамі цыліндрычнага фрэзеравання на станках з ЛПУ, якія дазваляюць павысіць перыяд стойкасці рэзальнага інструмента, прадукцыйнасць працэсу, зменшыць магутнасць на рэзанне і атрымаць прадукцыю ўстаноўленай якасці.

**Вобласць ужывання вынікаў дысертацыі** – дрэваапрацоўчыя і машынабудаўнічыя прадпрыемствы, якія распрацоўваюць і вырабляюць дрэваапрацоўчае абсталяванне і фрэзерны інструмент.



**SUMMARY**  
**Andrey F. Anikeenko**

**DEVELOPMENT OF RESOURCE- AND ENERGY-SAVING MODES  
OF CIRCULAR NC MACHINING OF LAMINATED PARTICLE BOARDS**

**Key words:** mill, laminated particle board, chips, dimensional allowance, milling diameter, surface quality, efficient life, cutting power.

**The object-matters of research** are the modes of circular NC machining of laminated particle boards.

**The subject-matters of research** are laminated particle boards, shank-type mill with adjustable cutting angles.

**The purpose of research** is to develop a cutting tool, resource- and energy-saving modes of circular NC machining of laminated particle boards.

The research methods and equipment used. To design the experiment, the method of random balance and the B-plan of mathematical planning were used. When carrying out the experiment, registering and processing of the obtained results, the following equipment was employed: woodworking NC multicenter Rover B4.35, analog-to-digital converter ADC-240, scanning electron microscope JSM-5610 LV equipped with chemical microanalysis system EDX JED-2210, Motion Cube 3-3 high-speed camera with 512×512 pixel resolution and 1 kHz fps.

**The scientific novelty of the results obtained** is as follows: a new design of the shank-type mill with adjustable cutting angle and knife holder locking mode has been developed; priority parameters such as performance, efficient tool life and milling power consumption have been defined which ensure high economic efficiency based on the developed mathematical models determining rational cutting modes.

Practical guidelines for circular NC machining of laminated particle boards have been elaborated which ensure increased efficient tool life, high performance of cutting, reduced power consumption and required quality of the output.

**Application fields of the thesis results:** woodworking factories and machine-building plants designing and manufacturing woodworking equipment and milling tools.

Научное издание

Аникеенко Андрей Федорович

**РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ РЕЖИМЫ  
ОБРАБОТКИ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ  
ПЛИТ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ ФРЕЗЕРОВАНИЕМ НА СТАНКАХ  
С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Автореферат

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

Ответственный за выпуск А. Ф. Аникеенко

Подписано в печать 28.11.2012. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.  
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,3. Уч.-изд. л. 1,4.  
Тираж 60 экз. Заказ 506 .

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