

674
К 17

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 674.58.002(075)

Калугин
Юрий Константинович

**РАЗРАБОТКА РЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ
ЛУЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТОЧНОГО БАЗИРОВАНИЯ
ФАНЕРНЫХ СОРТИМЕНТОВ**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.21.05 – дрезесиноведение, технология
и оборудование деревообработки**

Минск 2007

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» на кафедре технологии деревообрабатывающих производств.

Научный руководитель кандидат технических наук, доцент Янушкевич А.А., кафедра технологии деревообрабатывающих производств, УО «Белорусский государственный технологический университет»

Официальные оппоненты: доктор технических наук Алифанов А.В., заведующий лабораторией гетерогенных систем ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»;

кандидат технических наук Гришкевич А.А., заведующий кафедрой деревообрабатывающих станков и инструментов, УО «Белорусский государственный технологический университет»

Оппонирующая организация Белорусский национальный технический университет

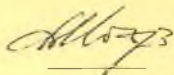
Защита состоится «22» июня 2007 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.06 в УО «Белорусский государственный технологический университет».

Адрес: 220050, г. Минск, ул. Свердлова, 13а,
тел. 227-83-41.

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

Автореферат разослан « 14 » 05 2007 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
канд. техн. наук, доцент



Мохов С.П.

Проблема экономии древесного сырья является актуальной для деревообрабатывающей промышленности Республики Беларусь, в том числе для фанерного производства. Опыт работы предприятий показал, что пороки фанерного сырья создают ограничения при его обработке и приводят к увеличению количества отходов. Отходы и потери в фанерном производстве составляют более половины переработанной древесины (от 59 до 48% для различных сортов фанеры). Их образование происходит на следующих стадиях производства: лущения шпона, сушки шпона, склеивания и обрезки фанеры. Наибольшее количество отходов образуется при лущении шпона (40...45%). Основной причиной возникновения отходов древесины на данном этапе технологического процесса является неточное базирование сортиментов. Возникновение ошибки базирования зависит от геометрических пороков формы ствола и приводит к значительным потерям сырья и уменьшению объемного выхода шпона, что особенно характерно для механических базирующих устройств, применяемых на фанерных предприятиях. Работа этих устройств основана на ориентации сортимента по двум сечениям, которые находятся на определенном расстоянии друг от друга. Форма участка ствола, расположенного между ними, при базировании не учитывается, что приводит к неточностям при установке сортимента в шпанделях лущильного станка.

Важным направлением в решении проблемы экономии древесного сырья наряду с внедрением новых технологий может явиться разработка методов управления оборудованием для лущения шпона на основе компьютерных систем. Применение современных устройств для оцифровывания поверхностей круглых лесоматериалов и параметрических систем трехмерного моделирования, позволят значительно увеличить точность ориентации сортиментов при лущении, разработать и создать координатные устройства, обеспечивающие увеличение объемного выхода шпона и экономии фанерного сырья.

Выполнен комплекс научных исследований, основанный на разработанных методах, использующих оцифрованные значения координат поверхности фанерных сортиментов для их точного базирования и измерения кривизны. Это позволило увеличить объемный выход шпона из фанерного сырья с повышением его качества.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами. Диссертационная работа выполнена по тематике Государственной научно-технической программы «Леса Беларуси и их рациональное использование» (№ госрегистрации 19993477 БС 99-204) и является частью комплексных исследований, выполненных в БГТУ (2001-2006) в соответствии с научным направлением кафедры технологии деревообрабатывающих производств: «Разработка научных основ ресурсо-, энергосберегающих и экологически чистых технологий, оборудования и специальных транспортных систем, обеспечивающих рациональное и комплексное использование древесного сырья».

Цель и задачи исследования. Цель работы – научное обоснование и разработка технологических решений для повышения объемного выхода шпона из

887 ар

фанерных сортиментов на основе их точного базирования с учетом геометрических параметров и пороков формы ствола.

В соответствии с целью работы сформулированы основные задачи исследований:

- установить размерно-качественные характеристики фанерного сырья и преобладающие виды пороков формы ствола;
- разработать метод формирования базовой многопараметрической модели, отображающей геометрические особенности сортиментов;
- теоретически обосновать и разработать метод точного базирования фанерных сортиментов на основе параметров модели;
- разработать метод бесконтактного измерения кривизны сортиментов на основе базовой параметрической модели и установить зависимость объемного выхода шпона от ее значения;
- провести промышленную апробацию и осуществить внедрение, на практическом уровне, технологического процесса лущения на основе разработанных методов базирования и измерения кривизны.

Объектом исследования является процесс лущения шпона – одна из основных стадий производства фанеры, в результате которой образуется наибольшее количество отходов.

Предмет исследований – процесс базирования, учитывающий геометрические параметры и пороки формы фанерных сортиментов.

Положения, выносимые на защиту:

- базовая многопараметрическая модель, отображающая размерные характеристики и геометрические особенности формы фанерных сортиментов, отличающаяся повышением точности моделирования геометрических параметров сортиментов по сравнению с эмпирическими интерполирующими моделями, учитывающая толщину и объем коры, полезный объем сортиментов, реализованная с помощью компьютерной системы проектирования и позволяющая на основе числовых параметров структурных элементов определять влияние пороков формы ствола на точность базирования и объемный выход шпона;
- способ базирования фанерных сортиментов в шпинделях станка, устанавливающий зависимость координат оси вписанного цилиндра максимального объема от координат точек его периферийной поверхности, отличающийся высокой точностью совмещения оси сортимента с осью вращения рабочих шпинделей лущильного станка, устанавливающий на основе параметров базовой модели оптимальные координаты оси сортимента для управления устройством позиционирования с числовым программным управлением;
- метод бесконтактного измерения кривизны лесоматериалов, отличающийся точным определением координат условных центров сечений на основе многопараметрического анализа их положения при помощи трехмерной модели, учитывающий толщину коры, позволяющий на основе числовых значений кривизны определять качественные показатели лесоматериалов;
- технология лущения на основе точного базирования сортиментов, отличающаяся определением точного положения оси вращения сортимента в шпинделях станка, обеспечивающая максимальный объемный выход сырого шпона

при лущении и экономии сырьевых ресурсов.

Личный вклад соискателя. Автор выполнил: поиск и анализ литературных сведений по теме диссертации, непосредственно участвовал в постановке задач исследования; разработке и создании опытной установки для оцифровывания координат поверхности сортиментов; разработке и апробации технологических решений для повышения экономии фанерного сырья и объемного выхода шпона на основе параметрической модели сортимента, алгоритмов и методов точного измерения кривизны сортиментов и их базирования; проведении экспериментальных работ и необходимых расчетов.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты исследований докладывались, обсуждались и были одобрены на ежегодных научно-технических конференциях по итогам научно-исследовательских работ в БГТУ (2001-2004), международной научно-технической конференции «Леса европейского региона – стратегия устойчивого природопользования» (Минск, ноябрь 2002 г.), международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие лесов и рациональное использование лесных ресурсов» (Минск, декабрь 2005 г.), международной научно-практической конференции: «Актуальные проблемы современных наук: теория и практика-2006» (Днепропетровск, 2006 г.).

Опубликованность результатов диссертации. По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ. Из них 4 статьи в сборниках (0,76 а. л.), 3 статьи в рецензируемых научных журналах (0,57 а. л.), 1 тезис доклада. Подано 2 заявки на получение патентов РБ (№ а20040653 МПК⁷ В27L 5/00. Способ базирования фанерного чурака. Приоритет от 09.07.2004г. Авторы: Калугин Ю.К., Янушкевич А.А., № а20040944 МПК⁷ В27L 5/00. Способ измерения кривизны круглых лесоматериалов. Приоритет от 12.10.2004г. Авторы: Калугин Ю.К., Янушкевич А.А.)

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 4 глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Работа содержит 127 страниц машинописного текста, 25 таблиц, 69 рисунков, 137 литературных источников и 3 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В первой главе представлен литературный обзор, посвященный вопросам влияния показателей качества фанерного сырья на объемный выход шпона, способам измерения геометрических параметров круглых лесоматериалов и базирования сортиментов, рассмотренным в работах известных в этой области отечественных и зарубежных ученых: Н. П. Анучина, М. С. Розенблита, В. С. Петровского, В. В. Харитонова, В. А. Куликова, Н. G. Lamberta, J.R. Campbell и др. В этом разделе, особое внимание уделено разработкам зарубежных фирм, в частности фирмы RAUTE (Финляндия), KELLER, HOLTEC (Германия) и др.

Установлена недостаточно высокая точность существующих интерполирующих моделей и методов измерения геометрических параметров поверхно-

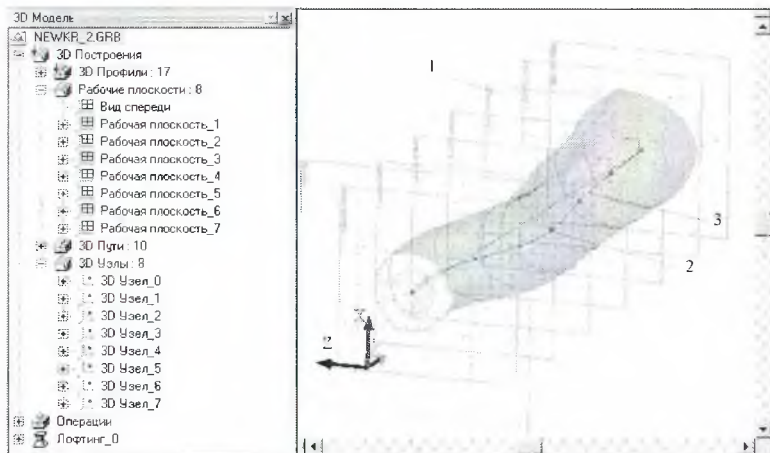
сти лесоматериалов, что в совокупности приводит к ошибкам центрирования сортиментов и незапланированным потерям сырья.

В опубликованных материалах отсутствует информация о применении компьютерного моделирования процесса лущения шпона, определении значений и вида кривизны фанерных сортиментов на основе параметров трехмерного моделирования, использовании элементов параметрической оптимизации в производстве лущеного шпона.

Вторая глава посвящена теоретическим исследованиям, направленным на создание базовой многопараметрической модели фанерного сортимента и методов, оптимизирующих технологические операции при лущении шпона.

На основе анализа многоэкстремальных функций для описания геометрических характеристик хлыстов, рассмотренных в работах Н. П. Анучина, а также метода описания геометрических параметров круглых лесоматериалов при помощи бикубических сплайнов, представленного в работах М. К. Яковлева, А. А. Янушкевича, М. И. Кулака, был разработан метод формирования трехмерной *базовой многопараметрической модели* сортимента.

Разработанная модель позволяет с достаточно высокой точностью моделировать операции базирования и измерения кривизны сортиментов. Структура модели показана на рисунке 1.

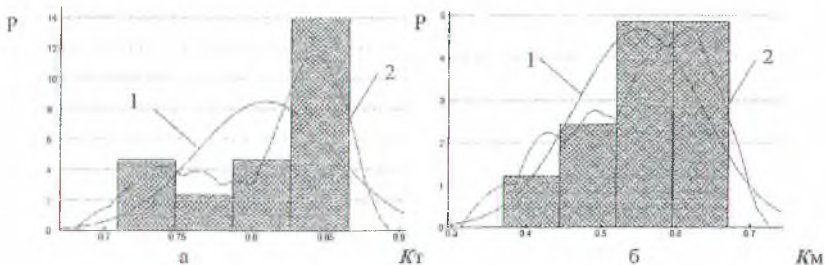


1 – рабочая плоскость; 2 – 3D узлы; 3 – криволинейная ось сортимента

Рисунок 1 – Структура трехмерной параметрической модели

Модель сформирована на основе восьми поперечных сечений, построенных на рабочих плоскостях 1. Каждое сечение построено с помощью сплайн функции с двенадцатью узловыми точками. Кривизна сортимента определяется положением трехмерных узлов 2 – условных центров сечений. Соединенные между собой отрезками они являются основой криволинейной оси 3 сортимента. Для построения модели использовались 112 внешних переменных, в состав

которых вошли координаты узловых точек поперечных сечений сортимента (12 точек в каждом из 8 поперечных сечений сортимента, 8 точек определяющих положение условных центров этих сечений), промежуточные переменные, характеризующие вписанные в сечение окружности. Эти переменные характеризуют геометрические параметры сортимента и положение точек его поверхности в трехмерной системе координат. Полученные соотношения между параметрами были использованы для определения положения оси вращения сортимента, при котором объем полученного форматного и делового шпона имеет максимальное значение, а также определяют точное значение его кривизны. Для проверки правомерности использования разработанной модели были проведены экспериментальные исследования по определению объема сортиментов и их геометрических характеристик. Для этого были выполнены измерения параметров выборочной партии березовых сортиментов с использованием специально разработанной опытной установки для измерения координат точек поверхности (описание установки в главе 3). На рисунке 2 представлены сравнительные гистограммы распределения коэффициентов объемного выхода шпона для разных методов определения объема сортиментов.



а – распределение K_T ; б – распределение K_M ; 1 – кривая нормального распределения; 2 – кривая фактического распределения; p – плотность распределения

Рисунок 2 – Гистограммы выборочных распределений для K_T и K_M

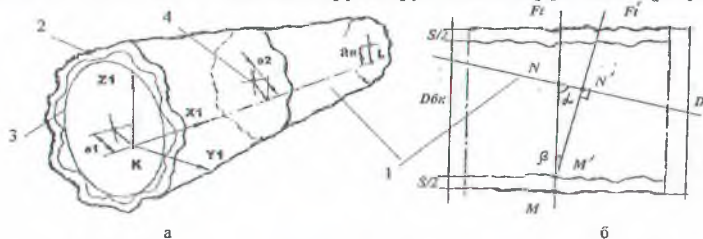
где K_M – средний объемный выход шпона (объем сортимента рассчитан с помощью моделей), K_T – средний объемный выход шпона (рассчитан по таблицам). Из рисунка 2 следует, что кривая фактического распределения значений для K_M имеет меньшее отклонение от кривой нормального распределения, чем кривая распределения K_T . Проведенные исследования дают основание допустить, что используемый в настоящее время метод определения объемного выхода шпона из сортиментов с использованием таблиц, в определенной степени завышает расчетные значения, т.к. средние значения объемного выхода шпона рассчитанного с помощью таблиц и по моделям, составили соответственно 0,808 и 0,548. Для определения соотношения объемных выходов получено значение коэффициента:

$$\varphi = K_M / K_T = 0,678, \quad (1)$$

Разработанная базовая многопараметрическая модель были использована для создания метода ориентации фанерных сортиментов в шпинделях лучиль-

ного станка. На рисунке показана схема, поясняющая алгоритм этого метода (рисунок 3, а). Прямая, проходящая через точки $K(a, y_1, z_1)$ и $L(b, y_2, z_2)$ на торцовых поверхностях сортимента определяет положение его условной оси. Координаты точек определяются в соответствии с геометрической формой сортимента и толщиной коры. Поиск оптимального положения оси производится на основе минимизации длин отрезков a_1, a_2, \dots, a_n , которые численно равны расстоянию между точками условных центров сечений и предполагаемой осью сортимента.

Модель позволяет определять координаты для любого конечного количества сечений. При оцифровывании координат сортиментов неизбежны погрешности, значения которых зависят от геометрических характеристик сортиментов и их положения при обмере. Для компенсации погрешностей положения сортиментов вычисляется значение корректирующего коэффициента (рисунок – 3, б).



а – расположение условной оси вписанного цилиндра; б – схема для расчета коэффициента коррекции данных; 1 – положение оси при базировании; 2 – слой коры; 3 – вписанная окружность; 4 – условный центр сечения

Рисунок 3 – Положение оси с учетом коррекции искажений

Предположим, что секущая плоскость параллельна оси OZ , тогда уравнение плоскости:

$$Ax + By + D = 0. \quad (2)$$

Предварительно определив направляющий вектор прямой и нормальный вектор плоскости, получим:

$$\vec{S}(b-a, y_2-y_1, z_2-z_1); \vec{n}(A, B). \quad (3)$$

Угол между прямой и плоскостью определим из уравнения:

$$\sin \alpha = \frac{|A(b-a) + B(y_2-y_1)|}{\sqrt{A^2 + B^2} \sqrt{(b-a)^2 + (y_2-y_1)^2}}, \quad (4)$$

где α – угол между прямой KL и плоскостью Ft ; A, B – коэффициенты, определяющие положение плоскости в пространстве, $(a, y_1, z_1), (b, y_2, z_2)$ – координаты точек на торцовых поверхностях сортимента (рисунок – 3, а).

Принимая во внимание значение угла и положение отрезков на рисунке (рисунок – 3, б), вычислим длины отрезков:

$$NM' = NM - MM'; MM' = \frac{S}{2}, \quad (5)$$

где, S – толщина коры, определяемая по данным ЦНИИФ, для березовых сортиментов:

$$S = 0,0225 \cdot D_{\text{ок}} + 0,095, \quad (6)$$

где $D_{\text{ок}}$ – диаметр сортимента без коры.

Тогда отрезок $N'M'$, определяющий точное значение расстояния от «внутренней поверхности коры» до условной оси KL , будет равен:

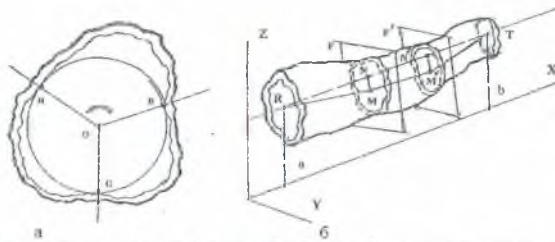
$$N'M' = MN \cdot \cos \beta; \quad \beta = (180^\circ - (90^\circ + \varphi)). \quad (7)$$

Искомый коэффициент коррекции данных учитывается в дальнейших расчетах и равен:

$$k = \frac{N'M'}{NM} = \frac{MN \cdot \cos \beta}{NM}. \quad (8)$$

При этом граничные условия поиска выбираются в соответствии с координатами точек, принадлежащих соответствующему профилю поперечного сечения сортимента.

Проведенный анализ геометрических характеристик поступающего на предприятие сырья, показал что преобладающим видом пороков формы ствола, влияющим на объем лушеного шпона, является – кривизна. *Точное измерение кривизны* сортиментов, в соответствии с разработанным нами методом, выполняется на основе анализа полезной зоны обработки в различных сечениях (рисунк 4).



а – схема формирования полезной зоны обработки; б – геометрическая интерпретация алгоритма измерения кривизны сортимента

Рисунок 4 – Метод точного измерения кривизны круглых лесоматериалов

Полезная зона обработки формируется при условном вращении многолучевого базиса (для упрощения на рисунке показан трехлучевой базис). Во время вращения точка $O(x_0, y_0)$ перемещается на заданном интервале. Конечным условием является равенство отсекаемых «внутренней поверхностью» коры отрезков:

$$OH = OB = OG = A, B_j = const, \quad (9)$$

где $i, j = 1, \dots, n$.

Координаты центров сечений на различных участках сортимента составляют массив данных необходимых для анализа числовых значений кривизны. Кривизна сортимента определяется положением трехмерных узлов условных центров сечений. Соединенные между собой отрезками они определяют функцию кривизны сортимента. Максимальное расстояние от узловых точек до продольной оси сортимента, а также направляющие векторы отрезков, характеризуют числовые значения и вид кривизны. Конечное значение кривизны соот-

ветствует выражению:

$$K = \max(NM, NM', \dots, N_j M_j), \quad (10)$$

где $i, j = 1, \dots, n$.

Рассмотренные методы точного базирования и измерения кривизны сортиментов были реализованы с помощью компьютерной системы и апробированы на предприятии (ФСК, г. Гомель). Описание и возможности реализации методов приведены в четвертой главе.

Третья глава содержит результаты экспериментальных исследований размерных и качественных характеристик фанерного сырья, необходимых для установления преобладающих видов пороков и технико-экономических расчетов. В этой главе приведено описание экспериментальной измерительной установки и особенностей реализации метода формирования трехмерных моделей сортиментов. Здесь же приводится статистический анализ результатов проведенных измерений.

На основе выборочных исследований качественных характеристик сырья, проведенных на Гомельском ФСК было выявлено, что на предприятие для переработки поступают кряжи преимущественно лиственных пород: береза (*Betula*) и ольха (*Alnus*) – средний возраст рубки 61...80 лет. Как правило, фанерное сырье имеет значительные отклонения формы ствола (кривизна, закомелистость, сбежистость), которые затрудняют обработку и увеличивают непредвиденные потери древесины. Для сортиментов распределение преобладающих пороков по их видам, как показали исследования, имеет следующие средние значения: кривизна – 29,5%, закомелистость – 10%, сбежистость – 10,4%, овальность – 5,8% (объем выборки 235 сортиментов). Выборочный анализ качественных характеристик кряжей и сортиментов, позволяет установить общие закономерности в составе сырья и представляет основу для анализа его геометрических характеристик. При этом был использован метод полиномиальной аппроксимации, реализованный с помощью программного пакета Excel. Получены уравнения, характеризующие геометрические пороки фанерного сырья:

а) для сортиментов с пороками в виде кривизны ствола:

$$y = 0,0005x^6 - 0,0798x^5 + 5,3194x^4 - 187,61x^3 + 3692,7x^2 - 38441x + 165290 \quad (11)$$

$$R^2 = 0,9912;$$

б) для сортиментов с пороками в виде закомелистости:

$$y = 0,0003x^6 - 0,0455x^5 + 3,0135x^4 - 105,51x^3 + 2060,4x^2 - 21272x + 90699 \quad (12)$$

$$R^2 = 0,9496;$$

в) для сортиментов с пороками в виде сбежистости:

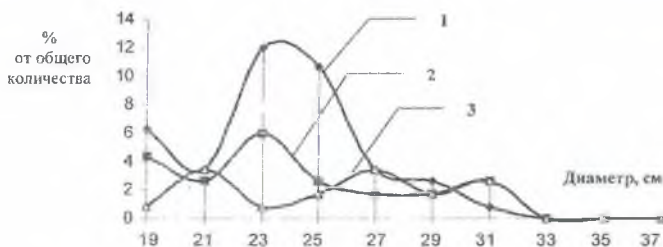
$$y = -0,0004x^6 + 0,0568x^5 - 3,7033x^4 + 127,95x^3 - 2468,9x^2 + 25223x - 106555 \quad (13)$$

$$R^2 = 0,9628,$$

где x – диаметр сортиментов (см); R^2 – коэффициент достоверности аппроксимации.

Для наибольшей достоверности полученных уравнений выбрана шестая степень полинома, которая позволила получить близкое к единице значение R^2 .

Проведенный эксперимент показал, что доля отклонений формы поверхности сортиментов зависит от их диаметра. Это наглядно иллюстрирует рисунок 5. Графические зависимости, построенные по уравнениям (11-13) показывают, что средний диаметр сортиментов с кривизной ствола составляет 23...24 см.



1 – кривизна; 2 – закомелстость; 3 – сбеж

Рисунок 5 – Распределение пороков формы ствола для кривей

Статистический анализ результатов экспериментальных исследований показателей качества фанерного сырья приведен в таблице 1.

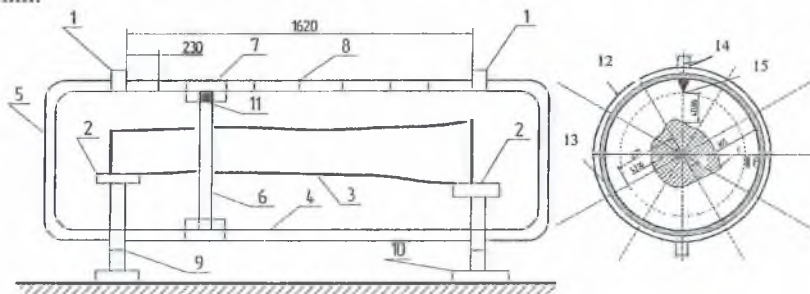
Таблица 1 – Статистические показатели распределения признаков

Параметры для расчета	M_1	M_2	\bar{X}_n	D_n	σ_n	$\chi^2_{набл.}$	χ^2_m	Нормальность
Кривизна ствола	2,12	7,87	21,20	13,4	3,66	8,7	12,1	Да
Закомелстость	0,31	2,94	23,60	11,39	3,37	5,20	7,8	Да
Сбежистость	0,19	1,80	22,61	7,09	2,66	9,50	7,8	Нет
Овальность	1,56	6,22	27,88	15,20	3,90	6,90	9,5	Да

Примечание: M_1 – момент первого порядка; M_2 – момент второго порядка; \bar{X}_n – средний показатель диаметра по выборке; D_n – дисперсия; σ_n – среднеквадратичное отклонение; χ^2_m – статистика «хи квадрат» (табличное значение); $\chi^2_{набл.}$ – статистика «хи квадрат» (расчетное значение).

Данные таблицы показывают, что основные виды пороков формы ствола сортиментов распределены нормально, что подтверждает достоверность полученных результатов. Установка, использованная для оцифровывания координат точек поверхности и формирования базовой параметрической модели фанерных сортиментов, была разработана нами и изготовлена на Гомельском ФСК (рисунок 6). Установка позволила измерять расстояния от вершины лазерного указателя 15 до профильной поверхности сортимента для определения координат узловых точек выбранных сечений. Координаты точек, образующих попе-

речные сечения сортиментов, определялись в процессе линейного перемещения измерительного блока 6 и углового перемещения внутреннего вкладыша 13. Толщина коры и положение сортиментов на внутренних опорах 2 учитывались с помощью разработанных программных макросов. Построение криволинейных профилей, на основе координат точек поверхности сортимента, позволило определить толщину коры на разных участках и учесть это значение при базировании.

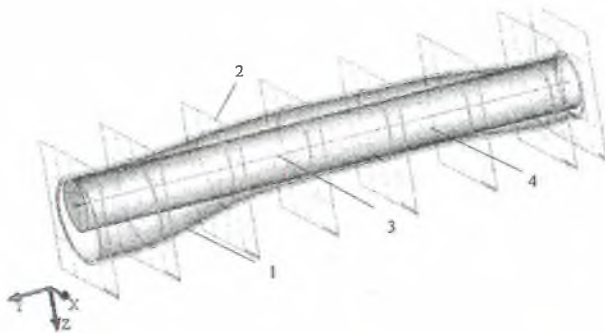


1 – узел крепления; 2 – опора; 3 – сортимент; 4 – направляющая; 5, 9 – кронштейн; 6 – измерительный блок; 7, 14 – блок роликов; 8 – шкала; 10 – опора; 11 – лазерный указатель; 12 – обруч; 13 – внутренний вкладыш; 15 – лазерный указатель; 16 – профиль сечения
Рисунок 6 – Схема установки для измерения координат точек поверхности сортимента

Результаты экспериментальных исследований геометрических характеристик фанерного сырья, полученные с помощью разработанной и созданной опытной установки, были использованы для разработки методов точного измерения кривизны и базирования сортиментов, а также ресурсосберегающей технологии лущения шпона.

Четвертая глава посвящена реализации методов базирования и точного измерения кривизны сортиментов и разработке на их основе технологического процесса лущения шпона, способствующего улучшению экономических и технологических показателей при лущении шпона.

Разработанный *способ базирования сортиментов* (заявка № а20040653 МПК⁷ В27L 5/00), основан на взаимодействии программных средств и дополнительных устройств (сканирующая система для измерения параметров сортиментов, координатное устройство для перемещения сортимента) с целью увеличения точности базирования. Результат поиска положения оси вписанного в сортимент цилиндра максимального объема, с учетом толщины коры, показан на рисунке 7. Найденное с помощью компьютерной системы, положение оси вращения сортимента, определяет максимальный круговой цилиндр, вписанный в параметрическую модель сортимента. Объем форматного шпона, полученного при лущении данного сортимента, соответствует объему вписанного цилиндра уменьшенным на величину объема оставшейся после лущения древесины («карандаша»).



1 – кора; 2 – плоскость; 3 – ось цилиндра максимального объема; 4 – вписанный цилиндр
 Рисунок 7 – Оптимальное положение цилиндра максимального объема и его оси, учитывающее толщину коры и кривизну

Опытно-промышленная проверка эффективности разработанного способа базирования сортиментов показала значительное увеличение объемного выхода форматного шпона (таблица 2) по сравнению с принятым в настоящее время на функционирующих станках.

Таблица 2 – Сравнительный анализ эффективности базирования сортиментов

Диаметр, см	Объем чурака, м ³	Объем форматного шпона (PK Raute), м ³ , %		Объем форматного шпона (опт. базиров), м ³ , %		Увеличение объемного выхода, %
		0,017	39,6	0,019	45,3	
18,8	0,042	0,017	39,6	0,019	45,3	5,7
19,6	0,051	0,014	26,9	0,027	52,5	25,5
17,7	0,040	0,015	36,4	0,023	56,6	20,2
20,3	0,054	0,03	55,7	0,034	61,8	6,1
16,5	0,037	0,011	29,8	0,014	38,5	8,7
18,2	0,057	0,013	22,4	0,019	34,2	11,8
18,4	0,055	0,02	37,2	0,024	43,5	6,2
18,9	0,070	0,022	31,3	0,027	39,4	8,0
19,2	0,051	0,029	55,8	0,031	61,3	5,5
20,8	0,073	0,031	42,8	0,037	50,4	7,6

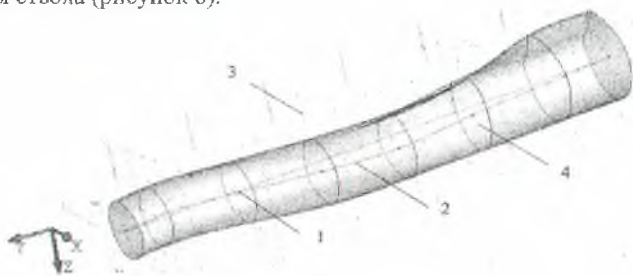
Данные эксперимента и их статистическая обработка показали, что средний коэффициент выхода шпона составляет 0,592. Этот же показатель для базирования принятым способом имеет значение 0,539, что подтверждает более высокую точность разработанного способа базирования. Сравнение названных способов базирования сортиментов позволило установить взаимосвязь между объемными выходами шпона в виде уравнения (14).

$$K_m = \varphi \cdot K_\phi = 1,104 \cdot K_\phi, \quad (14)$$

где φ – среднее значение коэффициента, определяющего увеличение объемного выхода шпона по результатам сравнения двух выборок сортиментов с близ-

кими геометрическими показателями. По данным расчета увеличение объемного выхода шпона составляет – 5,34%. В связи с тем, что кривизна сортимента является преобладающим видом пороков формы ствола (глава 3), оказывающим значительное влияние на объемный выход делового шпона, был разработан *способ точного измерения кривизны круглых лесоматериалов* (заявка № а20040944 МПК В27L 5/00). Способ позволяет определить отклонения условных центров сечений от продольной оси сортиментов, вид кривизны, а также степень пригодности сырья для различных видов обработки.

Особенность способа заключается в нахождении максимального расстояния от условных центров сечений до продольной оси сортимента в трехмерной системе координат. Необходимая для определения кривизны дискретность измерений определяется количеством сечений (в данном случае – восемь) и точек условных центров сечений сортимента. Кривую, образованную отрезками, соединяющими центры сечений сортимента, можно характеризовать как функцию кривизны ствола (рисунок 8).



1 – центр сечения; 2 – продольная ось; 3 – секущая плоскость; 4 – профиль сечения
Рисунок 8 – Измерение кривизны сортимента

Точки условных центров сечений 1, показанные на рисунке, имеют трехмерные координаты, что позволяет определить направление и числовое значение направляющих векторов отрезков необходимых для характеристики сложной кривизны. Профиль каждого сечения сортимента (например – 4), сформирован с помощью узловых точек, координаты которых измерены при помощи описанной выше опытной установки. Для экспериментального подтверждения влияния кривизны сортиментов на объемный выход шпона и проверки разработанных способов точного базирования и измерения кривизны на фанерном предприятии (Гомельский ФСК) был проведен сравнительный анализ процесса базирования сортиментов, имеющих преобладающую кривизну ствола, двумя способами (принятым наиболее точным четырехточечным и разработанным). Полученные результаты экспериментов были использованы для сравнения объемного выхода шпона и кривизны сортиментов (таблица 3). Данные расчетов показывают, что чем больше кривизна ствола сортимента, тем выше значение разности объемных выходов шпона. Это подтверждает высокую эффективность разработанного способа для сортиментов, имеющих кривизну ствола, и позволяет привести практическую рекомендацию:

Таблица 3 – Сравнительный анализ влияния кривизны сортиментов на объемный выход лущеного шпона для разных способов базирования

Диаметр сортиментов, см	Объем сортиментов, м ³	Кривизна, %	Объем форматного шпона (разработанный способ), м ³	Объем форматного шпона (четырёхточечный способ), м ³	Объемный выход (разработанный способ), К, %	Объемный выход (четырёхточечный способ) К1, %	Увеличение выхода К2, %
18,9	0,0696	1,56	0,0274	0,0195	39,37	28,02	11,35
17,3	0,0375	3,39	0,0099	0,0056	26,47	14,93	11,54
18,4	0,0545	2,52	0,0237	0,0195	43,56	35,71	7,85
16,5	0,0369	2,25	0,0142	0,0121	38,53	32,7	5,83
23,2	0,0717	3,93	0,0307	0,0156	42,85	21,76	21,09
18,2	0,0567	2,92	0,0194	0,0158	34,1	27,87	6,23
20,9	0,0734	3,47	0,037	0,0295	50,42	40,19	10,23
19,3	0,0511	0,95	0,0313	0,0289	61,27	56,56	4,71

при лущении шпона, для увеличения объемного выхода и рационального использования фанерного сырья, необходимо осуществлять отбор сортиментов с предварительным измерением их кривизны после раскряжевки или непосредственно перед лущением.

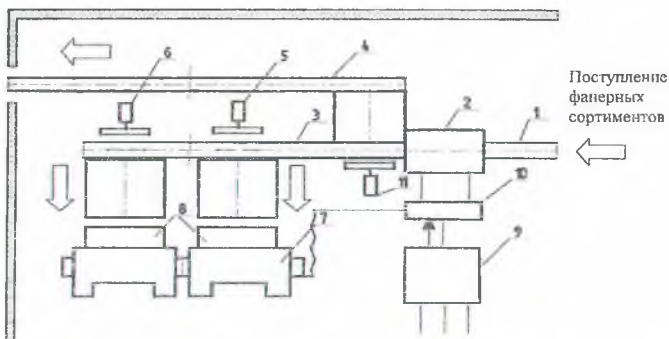
Сравнение средних значений прочности получаемого шпона на станке ЛУ-17 с использованием принятого четырехточечного и разработанного способов базирования показало, что качество шпона во втором случае не только не ниже достигаемого в реальных условиях, но в ряде случаев превышает его (таблица 4).

Таблица 4 – Сравнительный анализ предельных значений прочности при растяжении шпона для различных способов базирования

Предел прочности (МПа) при растяжении для угла наклона волокон φ , ° Традиционный способ базирования			Предел прочности (МПа) при растяжении для угла наклона волокон φ , ° Разработанный способ базирования		
0	45	90	0	45	90
70	3,2	6,4	78	2,8	5,1
65	6,4	12,3	74	6,4	4,8
56	8,2	2,3	75	13,2	3,45
73	5,9	6,4	77,4	12,9	5
65	7,3	6,8	80	11,8	6,3
67	11,3	1,7	77	7,9	3,9
78	9	4,4	76	9	5,6
81	14	6,4	82,3	12,3	6,3
73	6,2	1,5	74	6,2	4
85,5	12,6	8	86	15,2	5
80	13,2	12	87	14,9	6
82	10,5	1,8	89	10,4	7
73,0	9,4	5,8	79,6	10,2	5,2

Проведенные исследования и статистический анализ экспериментальных данных послужили основой для разработки ресурсосберегающей технологии лущения шпона и технического задания для создания опытно-промышленного базирующего устройства координатного типа с электронным управлением.

Схема компоновки оборудования и структура системы управления показана на рисунке 10.



1, 3, 4 – продольный конвейер; 2 – координатно-сканирующее устройство;
5, 6, 11 – стелкающее устройство; 7 – лущильный станок;

8 – базирующие устройства (X-Y); 9 – компьютерная система; 10 – интерфейсный блок
Рисунок 10 – Схема компоновки оборудования на участке лущения

Сортименты поступают в цех по конвейеру 1. Измерение и фиксация координат поверхности производится в координатно-измерительном устройстве 2. После измерения координат поверхности сортимента на экране монитора оператора отслеживается последовательность операций и объемные характеристики предполагаемых зон лущения (рисунок 11). В качестве примера на рисунке показано распределение объемных зон сортимента, включая промежуточные. Построение зон, вычисление их объема и коэффициентов объемного выхода форматного, делового и кускового шпона, производится на основе параметров базовой модели, что дает возможность выполнять учет продукции и, при необходимости, осуществлять управление технологическим процессом.



1 – сортимент; 2 – зона мелких кусковых отходов; 3, 5 – промежуточная зона;
4 – зона деловых кусков; 6 – зона форматного шпона; 7 – зона карандаша

Рисунок 11 – Компьютерные модели различных зон сортимента при лущении

В соответствии с компоновочной схемой, после предварительного обмера и оцифровывания, некондиционные сортаменты подаются по конвейеру в отдельный цех для переработки. При наличии специального оборудования и технологии сортаменты, поступающие для переработки, могут служить источником дополнительной продукции фанерного предприятия.

Сортаменты, параметры которых соответствуют нормативным значениям, по конвейеру 3 поступают в базирующее устройство 8, снабженное координатной системой, где производится их ориентация в соответствии с управляющей программой. Захват и закрепление сортаментов в рабочих шпинделях производится с помощью манипуляторов, входящих в состав лущильных станков 7. Контроль и корректировка работы автоматизированных устройств осуществляется с помощью командных приборов на пульте управления, связанных с компьютерной системой 9. Для реализации разработанной технологии может использоваться стандартное оборудование, применяемое в лущильных цехах. Дополнительно устанавливаются: базирующее устройство (8), компьютерная система (9) и координатное сканирующее устройство (2). В качестве координатно-сканирующего устройства, с небольшими доработками может использоваться измерительный комплекс, разработанный в БГТУ.

Основные преимущества разработанной технологии на основе метода точной ориентации (базирования) сортаментов, по сравнению с технологией, применяемой на многих предприятиях РБ:

- экономия фанерного сырья;
- увеличение объема выхода шпона, за счет точного базирования сортаментов;
- возможность информационного учета сортаментов и объема каждой зоны лущения с последующей записью в централизованную базу данных;
- непрерывный контроль выпускаемой продукции и всех видов потерь древесины;
- повышение качества шпона за счет использования ценной наружной (заболонной) части сортамента и уменьшения выхода малопримотного шпона.

Все вышеперечисленные преимущества обеспечивают экономию фанерного сырья при лущении шпона в объеме около 3200 м³ и создают условия для увеличения эффективности производства.

Разработанная ресурсосберегающая технология была принята к внедрению на проектном уровне (ФСК г. Гомель) (Акт внедрения результатов НИР от 28.12.2005 г. Приложение А), техническое задание на разработку базирующего устройства (ТЗ № 15 от 20.12.2005 г. Приложение А). Прогнозируемый экономический эффект от внедрения технологии при объеме производства 20 тыс.м³ (для двух лущильных станков) в год составляет 459 240 тыс.бел. руб. (в ценах 2005 г.), при сроке окупаемости 1,19 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. По результатам проведенных исследований установлены усредненные размерные и качественные характеристики фанерного сырья для технико-экономических расчетов: фанерные кряжи (выборка 108 шт.): средний диаметр – 25,5 см, длина – 4,8 м.; сортименты (выборка 235 шт.): средний диаметр – 22,09 см, длина – 1,6 м. Количество кряжей (сортиментов) с пороками: кривизна – 36% (29,5%), закомелистость – 19,4% (10%), сбежистость – 9% (10,4%) [3].

2. Сформирована базовая многопараметрическая модель, отображающая размерные и геометрические характеристики сортиментов и объемные характеристики зон лущения, которая является основой для разработки методов базирования и измерения кривизны сортиментов. Разработана и создана экспериментальная установка для измерения координат точек поверхности фанерных сортиментов и формирования внешних параметров (112 переменных) для базовой модели [2, 4].

3. Теоретически обоснован и разработан способ базирования фанерных сортиментов в шпинделях лущильного станка, устанавливающий зависимость координат оси вписанного цилиндра максимального объема от координат точек его боковой поверхности для управления устройством позиционирования. Функциональная основа метода – разработанный алгоритм точного базирования, реализованный с помощью трехмерной системы моделирования и адаптированный для станков с программным управлением [1, 3, 4, 8].

4. Разработан и апробирован метод бесконтактного измерения кривизны лесоматериалов, отличающийся точным определением расстояний от условных центров сечений до прямой линии, позволяющий на основе параметров модели установить числовые значения кривизны и ее вид [3, 6]. В результате исследования параметрических моделей, сформированных для определения показателей качества фанерных сортиментов, установлено, что изменение кривизны в пределах 1...5%, приводит к значительному изменению коэффициента выхода форматного шпона (52...14%) [1, 2, 7].

5. Разработана ресурсосберегающая технология лущения на основе точного базирования сортиментов, отличающаяся определением оптимального положения сортимента при совмещении его оси с осью вращения шпинделей станка, учитывающая геометрические особенности сырья, обеспечивающая интеграцию процесса лущения шпона с другими процессами производства фанеры, среднее увеличение объемного выхода шпона на 5,34% и экономию фанерного сырья [6, 7, 8].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Результаты исследований использованы для разработки технологии лущения шпона на основе метода оптимального базирования фанерных сортиментов, обеспечивающей экономию древесного сырья. Ресурсосберегающий технологический процесс прошел практическую апробацию в производственных условиях (ФСК г. Гомель). Результатом научных исследований в этом направлении

являются заявки на получение патентов РБ (№ а20040653 МПК⁷ В27L 5/00 «Способ базирования фанерного чурака» – от 09.07.2004 г.; № а20040944 МПК⁷ В27L 5/00 «Способ измерения кривизны круглых лесоматериалов» – от 12.10.2004 г.), акт внедрения (акт внедрения результатов НИР от 28.12.05г.) и техническое задание на разработку базирующего устройства (ТЗ № 15 от 20.12.05 г.). Прогнозируемый экономический эффект от внедрения новой технологии при объеме производства 20 тыс. м³ в год составит 459240 тыс.бел. руб (в ценах 2005г.), при сроке окупаемости 1,19 года. Экономия древесного сырья за счет внедрения ресурсосберегающей технологии составит около 3200 м³ в год (при годовом объеме производства сырого шпона – 40 тыс. м³). Результаты исследований могут применяться на фанерных предприятиях для разработки ресурсосберегающих технологий лущения шпона и систем для сортировки и отбора некачественных сортиментов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи

1. Калугин, Ю. К. Влияние центрирования и пороков формы чураков на выход лущеного шпона / Ю. К. Калугин // Сб. науч. тр. / БГТУ. – Минск, 2002. – Вып. X. Сер. II. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – С. 167-169.
2. Калугин, Ю. К. Компьютерное моделирование процессов лущения шпона / Ю. К. Калугин, А. А. Янушкевич // Сб. науч. тр. / БГТУ. – Минск, 2003. – Вып. XI. Сер. II. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – С. 170-173.
3. Калугин, Ю. К. Анализ размерно-качественной характеристики фанерного сырья/ Ю. К. Калугин // Сб. науч. тр. / БГТУ. – Минск, 2003. – Вып. XI. Сер. II. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – С. 178-181.
4. Калугин, Ю. К. Реализация алгоритма центрирования чурака при лущении шпона / Ю. К. Калугин // Сб. науч. тр. / БГТУ. – Минск, 2004. – Вып. XII. Сер. II. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – С 197- 200.
5. Калугин, Ю. К. Качество материалов для фанерного производства / Ю. К. Калугин, А. А. Янушкевич // Лесное и охотничье хозяйство. – 2004.– №4. – С. 26-27.
6. Калугин, Ю.К. Сравнительный анализ способов базирования фанерных чураков / Ю.К. Калугин, А. В. Петров // Деревообрабатывающая промышленность, Москва, 2004. – № 5. – С. 16-17.
7. Калугин, Ю. К. Особенности способов базирования фанерных чураков / Ю. К. Калугин // Лесная промышленность Беларуси. – Минск, 2005. – № 3. – С. 19-21.

Тезисы докладов

8. Калугин, Ю.К. Применение параметрической оптимизации в технических системах / Ю.К. Калугин // Европейская наука XXI века: стратегия и перспективы развития: сборник тезисов Международной научно-практической конференции. – Днепропетровск, 2006. – Том 21. – С. 107-110.

РЭЗІЮМЭ

Калугін Юрый Канстанцінавіч
Распрацоўка рэсурсазберагальнай тэхналогіі лушчэння
на аснове дакладнага базавання фанерных сартыментаў

Ключавыя словы: фанерны сартымент, базаванне, крывізна, вузел, шматпараметрычная мадэль, лушчэнне, цэнтральна-загрузная прылада

Мэта працы – навуковае абгрунтаванне і распрацоўка тэхналагічных рашэнняў для павышэння аб'ёмнага выхату шпона з фанерных сартыментаў на аснове іх дакладнага базавання з улікам геаметрычных параметраў і заганаў формы ствала.

У працэсе працы былі скарыстаныя: стандартныя метады вымярэння геаметрычных характарыстык сыравіны, метады дакладнага вымярэння каардынат паверхні сартымента з дапамогай лазернага вымяральніка, камп'ютэрнае мадэляванне на аснове CAD сістэмы, стандартныя метады статыстычнага аналізу даных з выкарыстаннем прыкладных праграм Matrixer, NDC, Excel.

Упершыню распрацаваныя метады фармавання параметрычнай мадэлі фанернага сартыменту, які дазваляе на аснове лікавых параметраў структурных элементаў мадэлі вызначыць віды заганаў формы ствала і іх уплыў на дакладнасць базавання і аб'ёмны выхад шпона; эксперыментальная ўсталёўка для вымярэння каардынат паверхні сартыментаў; метады дакладнага базавання фанерных сартыментаў на аснове шматпараметрычнай мадэлі, адаптаванай для станкоў з праграмным кіраваннем; метады бескантактавага вымярэння крывізны круглых лесамагэрыялаў, які ўлічвае таўшчыню кары і становішча ўмоўных цэнтраў сячэнняў адносна прамой лініі; рэсурсазберагальная тэхналогія лушчэння на аснове дакладнага базавання фанерных сартыментаў, якая ўлічвае геаметрычныя паказчыкі сыравіны і таўшчыню кары, выкарыстоўвае прынцып кіравання сфармаваны на аснове CAD сістэмы з магчымасцю ўжывання абсталявання з праграмным кіраваннем.

Прапанаваная рэсурсазберагальная тэхналогія была апрабаваная і прынятая да ўкаранення на праектным узроўні (ФЭК г. Гомель). Вынікі даследаванняў могуць ужывацца на фанерных прадпрыемствах для распрацоўкі рэсурсазберагальных тэхналогій лушчэння шпона і сістэм для сартавання і адбору няякасных сартыментаў.

РЕЗЮМЕ

Калугин Юрий Константинович

Разработка ресурсосберегающей технологии лущения
на основе точного базирования фанерных сортиментов

Ключевые слова: фанерный сортимент, базирование, кривизна, узел, многопараметрическая модель, лущение, центrovочно-загрузочное устройство

Цель работы – научное обоснование и разработка технологических решений для повышения объемного выхода шпона из фанерных сортиментов на основе их точного базирования с учетом геометрических параметров и пороков формы ствола.

В процессе работы были использованы: стандартные методы измерения геометрических характеристик сырья, метод точного измерения координат поверхности сортимента с помощью лазерного измерителя, компьютерное моделирование на основе CAD системы, стандартные методы статистического анализа данных с использованием прикладных программ Matrixer, NDC, Excel.

Впервые разработаны: метод формирования параметрической модели фанерного сортимента, позволяющий на основе числовых параметров структурных элементов модели определить виды пороков формы ствола и их влияние на точность базирования и объемный выход шпона; экспериментальная установка для измерения координат поверхности сортиментов; метод точного базирования фанерных сортиментов на основе многопараметрической модели, адаптированный для станков с программным управлением; метод бесконтактного измерения кривизны круглых лесоматериалов, учитывающий толщину коры и положение условных центров сечений относительно прямой линии; ресурсосберегающая технология лущения на основе точного базирования фанерных сортиментов, учитывающая геометрические характеристики сырья, использующая принцип управления, сформированный на основе CAD системы с возможностью применения оборудования с программным управлением..

Предложенная ресурсосберегающая технология была апробирована и принята к внедрению на проектном уровне (ФСК г. Гомель). Результаты исследований могут применяться на фанерных предприятиях для разработки ресурсосберегающих технологий лущения шпона и систем для сортировки и отбора некачественных сортиментов.

SUMMARY

Kalugin Yuri Konstantinovich

The Development of the resource sawing technologies of the shelling exact basing plywood logs

The Keywords: plywood logs basing, curvature, node, multivariable model, shelling, centering-load device

The Purpose of the work – a development to technologies of the shelling the lead with using the exact basing plywood logs providing spare raw materials resource.

In process of the functioning were used: standard methods of the geometric features cheese, method of the exact measurement of the coordinates to surfaces *сортимента* by means of laser meter, computer modeling on base CAD systems, standard methods of the statistical analysis given with use the applied programs Matrixer, NDC, Excel

Is it For the first time designed: method of the shaping to parametric model plywood logs, allowing on base numeric parameter structured element to models to define the types a vice forms of the stem and their influence upon accuracy of the basing and three-dimensional leaving the lead; experimental installation for measurement of the coordinates to surfaces logs; the method of the exact basing plywood logs on base of the multivariable model, taking into account vices of the form of the stem, thickness and relief of the cortex and adapted for tool with CNC; method of the noncontact measurement of the curvature round lumber, taking into account thickness of the cortex and position conditional centre sections for direct line; resource sawing technology of the shelling on base of the exact basing plywood logs, taking into account qualitative factors cheese and thickness of the cortex, using principle of control, formed on base CAD systems with possibility to prima-threads of the equipment with CNC.

Offered resource sawing technology was approved and accepted to introduction on design level (FSK, Gomel). The Results of the studies can be used on plywood enterprise for development resource sawing technology of the shelling the lead and systems for sorting and selection faulty logs.

Калугин Юрий Константинович

**РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ
ЛУЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТОЧНОГО БАЗИРОВАНИЯ ФАНЕРНЫХ
СОРТИМЕНТОВ**

Подписано в печать 15.12.2006. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,3, Уч.-изд. л. 1,2.

Тираж 60 экз. Заказ 269

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический
университет». 220050, Минск, Свердлова, 13а.

ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования
«Белорусский государственный технологический университет».

220050, Минск, Свердлова, 13.

ЛП1 № 02330/0056739 от 22.11.2004.