

При увеличении $P > P_0$ процесс деформирования гидролизного лигнина происходит более интенсивно. Кривая деформирования имеет значительный уклон к оси времени. В этой области структурные связи интенсивно разрушаются по всему объему и происходит скольжение частиц друг по другу. При дальнейшем возрастании нагрузки происходит полное разрушение структурных связей, табл. 1.

УДК 674.093

А.А.Янушкевич, доцент;

М.К.Яковлев, н.сотр.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УЧЕТА И РАСКРОЯ
КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ**

The method of mathematical models of round timbers.

Основным направлением решения проблемы увеличения производства специфицированных пиломатериалов без увеличения объемов перерабатываемой древесины является совершенствование существующих и, главным образом, создание новых ресурсосберегающих технологий, позволяющих повысить выход пилопродукции и снизить количество отходов.

В условиях роста стоимости сырья и снижения среднего диаметра пиловочника, обусловленного невысокой долей спелых лесов в структуре лесного фонда Беларуси, а также ухудшения качества сырья, вызванного вовлечением в переработку лиственных пород, древесины от санрубок и рубок ухода и влиянием последствий катастрофы на Чернобыльской АС, только ресурсосберегающие технологии, в полной мере учитывающие размерно-качественные характеристики перерабатываемого сырья, позволят увеличить выпуск пилопродукции без увеличения объемов переработки.

В теории раскроя пиловочного сырья в качестве математических моделей сырья используют тела вращения - усеченные конусы и параболоиды вращения второй степени. Отклонения же в размерах и (или) различие в форме, в частности, наличие кривизны и (или) овальности поступающих в распиловку бревен, приводят к рассеиванию ширины и длины пиломатериалов, особенно при распиловке вразвал, и снижению выхода спецификационных пиломатериалов. Применяемые в настоящее время технологии предусматривают использование сортировки сырья, что решает указанную проблему лишь частично, имеет ряд недостатков. Кардинальным решением является переход к высоким ресурсосберегающим технологиям лесопиления, основанным на соединении преимуществ груп-

пового раскроя с индивидуальным раскромом каждой единицы сырья, в полной мере учитывающим его форму и размеры. Необходимым условием эффективности таких технологий является использование адекватных математических моделей сырья.

В работах проф. Р.Е.Калитеевского, В.С.Петровского, М.С. Розенблита, к.т.н. С.Г.Елсакова предложены математические модели хлыстов и бревен, которые развивают модели типа тел вращения в сторону их большей адекватности объектам раскроя. Однако эти модели по ряду причин не могут быть использованы для адекватного описания круглых сортиментов с целью его использования в процессах распиловки с учетом индивидуальных особенностей формы сырья. К таким причинам относятся прежде всего наличие в моделях элементов, регистрация которых на лесопильном заводе затруднена либо невозможна (диаметр на середине длины хлыста, уравнение осевой линии бревна и др.), вид модели - тело вращения, зависимость коэффициентов от породы (модель В.С.Петровского), жесткие аналитические ограничения и фрагментарность, выражающиеся в композиции эллипсов, парабол, деформированных синусоид (модель М.С.Розенблита) и др.

Вместе с тем, при учете и раскром сырья, доставленного на лесопильный завод, единственно достоверной информацией о нем являются фактические результаты его обмера. Для объектов сложной формы базовыми показателями, объективно отражающими форму, являются координаты точек поверхности.

Метод индивидуальных моделей состоит в последовательном измерении координат точек поперечных сечений вдоль длины сортимента с последующей интерполяцией полученного точечного базиса. В качестве математического аппарата для построения моделей сырья были выбраны кубические сплайны. Построение модели поверхности круглого лесоматериала включает моделирование поперечных сечений и образующих кубическим сплайном [1].

Если на отрезке $[a, b]$ в узлах $a = x_1 < x_2 < \dots < x_N = b$ заданы некоторые значения y_i , $i=1, 2, \dots, N$, полученные из точных измерений, то естественным методом аппроксимации таких данных является интерполяция. Обозначим через $C^2[a, b]$ множество дважды непрерывно дифференцируемых на $[a, b]$ функций. Интерполяционный кубический сплайн дефекта 1

$$S(x) = \sum_{j=0}^3 a_{ij}(x - x_j)^j, \quad x \in [x_i, x_{i+1}], \quad i = 1, 2, \dots, N-1$$

удовлетворяет условиям

$$S(x) \in C^2[a, b], \tag{1}$$

$$S(x_i) = y_i, \quad i = 1, 2, \dots, N. \tag{2}$$

Условия (1) и (2) позволяют составить систему уравнений для определения "наклонов" m_i - значений первых производных сплайна в узлах, имеющую для поперечных сечений вид

$$h_i m_{i-1} + 2(h_i + h_{i-1}) m_i + h_{i-1} m_{i+1} = 3[(y_{i+1} - y_i) h_{i-1} / h_i + (y_i - y_{i-1}) h_i / h_{i-1}], \quad (3)$$

$$h_i = x_{i+1} - x_i, \quad i = 2, \dots, N-1,$$

и найти значения коэффициентов сплайна

$$a_{i3} = [-2(y_{i+1} - y_i) + h_i(m_i + m_{i+1})] / h_i^3,$$

$$a_{i2} = [3(y_{i+1} - y_i) - h_i(2m_i + m_{i+1})] / h_i^2,$$

$$a_{i1} = m_i,$$

$$a_{i0} = y_i, \quad i = 1, 2, \dots, N-1.$$

Интерполяция поперечного сечения состоит в том, чтобы через N последовательных точек $P_i(x, y)$ плоскости провести гладкую замкнутую кривую. Для этого параметризуем точки $P_i(x, y)$ и построим периодические сплайны $S_X(t)$ и $S_Y(t)$ со значениями $S_X(t_i) = x_i$ и $S_Y(t_i) = y_i$ на сетке узлов $0 = t_1 < t_2 < \dots < t_N = 1$.

Векторный параметрический сплайн

$$r = \{ S_X(t), S_Y(t) \}$$

является моделью поперечного сечения.

При моделировании образующей "наклоны" m_i определялись из системы уравнений

$$m_1 = \mu_1,$$

$$h_i m_{i-1} + 2(h_i + h_{i-1}) m_i + h_{i-1} m_{i+1} = 3[(y_{i+1} - y_i) h_{i-1} / h_i + (y_i - y_{i-1}) h_i / h_{i-1}], \quad (4)$$

$$m_N = \mu_N, \quad i = 1, 2, \dots, N-1.$$

Системы уравнений (3) и (4) решались методом прогонки.

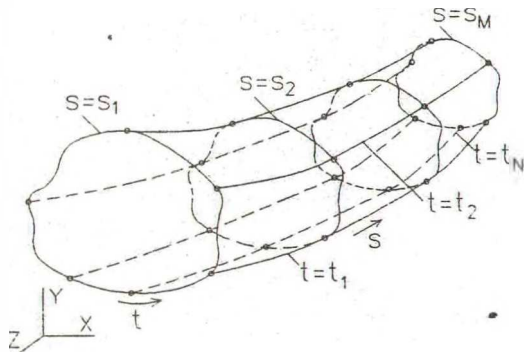


Рис.1. Геометрическая модель поверхности бревна

Геометрической моделью поверхности круглого лесоматериала служит двусторонняя поверхность, гомеоморфная конечному цилиндру с замкнутой направляющей (рис.1).

Модель поверхности круглого лесоматериала строится на основе некоторого числа указанных в определенном порядке ее точек - точечного базиса поверхности, который задается матрицами значений координат ее точек

$$\|x_{ij}\|, \|y_{ij}\|, \|z_{ij}\|, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad j = 1, 2, \dots, M. \quad (5)$$

Точечный базис образован путем сечения поверхности двумя семействами взаимно-ортогональных плоскостей: первым - плоскостями, параллельными координатной плоскости XOY , и вторым, плоскости которого направлены вдоль длины сортифта и могут быть выбраны в зависимости от способа обмера.

Общий вид параметрического уравнения поверхности круглого лесоматериала

$$\mathbf{r}(t, s) = \{ X(t, s), Y(t, s), Z(t, s) \}, \quad (6)$$

где $X(t, s)$, $Y(t, s)$, $Z(t, s)$ - некоторые однозначные достаточно гладкие функции двух переменных. Для построения индивидуальной модели будем искать функции $X(t, s)$, $Y(t, s)$, $Z(t, s)$ в виде бикубических сплайнов, интерполирующих точечный базис (5). Если на плоскости заданы прямоугольник $R : [a, b] \times [c, d]$ и двумерная сетка

$$a = x_1 < x_2 < \dots < x_N = b, \quad c = y_1 < y_2 < \dots < y_M = d,$$

разбивающая область R на прямоугольники $R_{ij} : [x_i, x_{i+1}] \times [y_j, y_{j+1}]$, то интерполяционный бикубический сплайн

$$B(x, y) = \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 a_{ij}^{kl} (x - x_i)^k (y - y_j)^l, \\ x, y \in R_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, N-1, \quad j = 1, 2, \dots, M-1$$

удовлетворяет условиям $B(x_i, y_j) = b_{ij}$ и имеет непрерывные частные и смешанные производные порядка не выше 4-х, включающие не более 2-х дифференцирований по каждой переменной.

После параметризации поверхности получим двумерную сетку

$$0 = t_1 < t_2 < \dots < t_N = 1, \quad 0 = s_1 < s_2 < \dots < s_M = 1, \quad (7)$$

где t и s - параметры соответственно поперечных сечений и образующих. Уравнения (6), где

$$X(t, s) = \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 a_{ij}^{kl} (t - t_i)^k (s - s_j)^l, \\ Y(t, s) = \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 b_{ij}^{kl} (t - t_i)^k (s - s_j)^l, \\ Z(t, s) = \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 c_{ij}^{kl} (t - t_i)^k (s - s_j)^l$$

бикубические сплайны со значениями, заданными матрицами (5) в узлах сетки (7), представляют собой индивидуальную модель круглого лесоматериала. Построение бикубического сплайна состоит в решении серии одномерных задач типов (3) и (4).

Исследована точность индивидуальных моделей и их элементов. Результаты моделирования кругового поперечного сечения в зависимости от числа равноотстоящих узлов даны в [2]. Интерполяция образующей хлыста и полиномиальных моделей образующей древесных стволов показала высокую точность сплайновых моделей образующей [1].

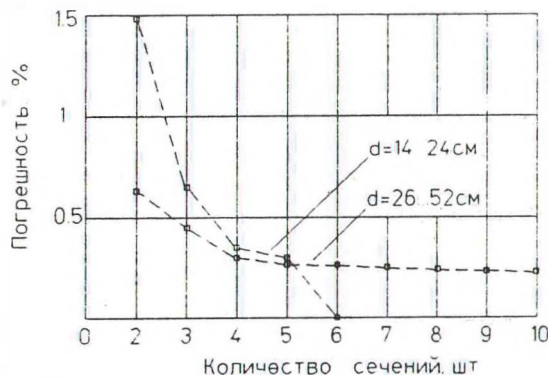


Рис. 2. Зависимость погрешности определения объемов от количества сечений

1.5%, а для числа сечений 3-10 ее значение заключено в пределах 0.24-0.65%.

Применение индивидуальных моделей для учета сырья нашло отражение в получении формул, выражающих значение диаметра сечения и объема через коэффициенты сплайнов

$$d(s) = 2 \cdot \sqrt{\frac{P(s)}{\pi}}$$

$$P(s) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 \sum_{m=0}^3 \sum_{n=0}^3 \frac{m-k}{k+m} a_{ij}^{kl} b_{ij}^{mn} (s-s_j)^{l+n} (t_{i+1}-t_i)^{k+m}$$

$$V = \frac{L}{2} \sum_{j=1}^{M-1} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 \sum_{m=0}^3 \sum_{n=0}^3 \frac{m-k}{(k+m)(l+n+1)} a_{ij}^{kl} b_{ij}^{mn} (s_{j+1}-s_j)^{l+n+1} (t_{i+1}-t_i)^{k+m}$$

где $d(s)$ - диаметр сечения площадью $P(s)$; a_{ij}^{kl} , b_{ij}^{kl} - коэффициенты сплайнов соответственно $X(t,s)$ и $Y(t,s)$; $s, t \in [0,1]$ - параметры; V - объем; L - длина бревна.

Для исследования точности определения объемов на основе индивидуальных моделей проведено моделирование определения объемов пиловочных бревен по данным таблиц ГОСТ 2708-75 для диаметров 14-52 см и длин 3-6.5 м (рис.2). При этом использована восьмиточечная модель сечения. Результаты моделирования показали, что максимальная погрешность при использовании вершинного и комлевого сечений не превышала

Разработан алгоритм формирования сечений обрезных пиломатериалов на сплайновой модели сечения. Алгоритм учитывает форму сечения бревна и позволяет для заданного постава рассчитать стандартные размеры (ширины) досок. ПЭВМ выполняет расчет для различных вариантов ориентации сечения бревна по отношению к поставу пил и выбирает оптимальный вариант по критерию наибольшей суммарной площади сечений пиломатериалов. При этом, как и при расчете поставов, учитываются ширина пропила, величина усушки и т.п. В экспериментах с овальными сечениями за счет их ориентации превышение величины суммарной площади сечений пиломатериалов составило в среднем 2-3% по сравнению с теми вариантами, когда ориентация не производилась. На рис. 3 представлен результат выполнения алгоритма для заданного постава.

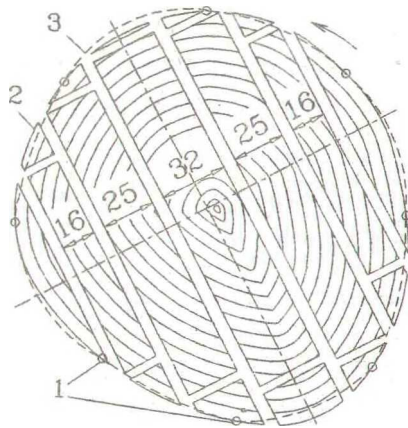


Рис.3. Формирование сечений пиломатериалов:
1 - узлы сплайна, 2 - сплайн; 3 - сечение бревна.

ми 600-1200 мм, без трещин и гнилей, раскрой которых производился по способу трояния и ванчскому четырехстороннему способу, показала возможность увеличения выхода заготовок по сравнению с существующим способом на 3-5%.

Для обеспечения аппаратной поддержки метода индивидуальных моделей разработана оптико-электронная установка для автоматизированного обмера и учета на базе лазеров малой мощности [3]. Экспериментальные исследования точности определения диаметров и объемов бревен с помощью измерительной установки для партии бревен диаметром 14-24 см и длиной 2-3 м показали, что максимальная абсолютная погрешность определения диаметров составила не более 0.15 см. Значение максимальной относительной погрешности определения объемов бревен составило 2.1%.

При раскросе сырья для производства строганого шпона на основе метода индивидуальных моделей использована модель кряжа в виде прямого цилиндра направляющей, моделируемой кубическим сплайном. Для способа трояния и ванчского четырехстороннего способа раскроя разработан алгоритм, заключающийся в моделировании раскрытия пласти заданной ширины для произвольной точки сплайнового контура и формировании поперечных сечений заготовок необходимого вида и размеров.

Опытно-промышленная проверка раскроя с учетом формы поперечного сечения кряжей красного дерева диаметра

Измерительная установка может быть использована на складах для учета и управления сортировкой круглых лесоматериалов, в составе линий сортировки, в лесопильных потоках, осуществляющих раскрой сырья по оптимальным схемам.

В заключение отметим, что метод индивидуальных моделей круглых лесоматериалов, его математическая, программная и аппаратная поддержка в виде математических моделей, алгоритмов, программного обеспечения и экспериментального образца измерительной установки, результаты и выводы представленных исследований могут быть использованы при проектировании лесопильных производственно-технологических систем, создании ресурсосберегающих технологических процессов лесопиления на основе современного технологического и измерительного оборудования и методов информационных и компьютерных технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев М.К. Совершенствование учета и раскроя круглых лесоматериалов на основе метода индивидуальных моделей: Дис. канд. техн. наук: 05.21.05. - Минск, 1995.
2. Янушкевич А.А., Якаўлеў М.К. Вымярэнне круглых лесаматэрыялаў: індывідуальны падыход // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия II. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. - 1994. - Вып.2. - С.91-97.
3. Янушкевич А.А., Яковлев М.К., Василенок Г.Д., Осоко С.А. Автоматизированный измерительный комплекс для круглых лесоматериалов // Труды Белорусского технологического института. Серия II. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. - 1993. - Вып.1. - С.100-104.

УДК 674.093

С.А.Осоко, аспирант

СОСТАВЛЕНИЯ ПОСТАВОВ НА РАСПИЛОВКУ БРЕВЕН С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКАЦИИ ЗАГОТОВОК

The model creat of postaw.

Генерация схем раскроя (поставов) при решении задачи оперативного календарного планирования выработки заготовок из круглых лесоматериалов является наиболее сложной и ответственной задачей. От качества составления поставов зависит полезный выход пиломатериалов.

Существующие в настоящее время алгоритмы составления поставов основываются на методе полного перебора заданных типоразмеров досок, формали-