

УДК 674.093:658.512.22

## Совершенствование лесопиления на основе индивидуальных моделей раскроя

А. А. ЯНУШКЕВИЧ, канд. техн. наук, М. К. ЯКОВЛЕВ — Белорусский технологический институт имени С. М. Кирова

В Белоруссии ежегодно заготавливается более 10 млн. м<sup>3</sup> древесины, однако республика может быть отнесена к лесодефицитным районам, поскольку часть ее потребности в древесном сырье покрывается за счет ввоза лесоматериалов из других экономических регионов. Основная масса заготавливаемой древесины идет на производство пиломатериалов. Кроме того, она в больших масштабах расходуется в капитальном строительстве, фанерной, спичечной и плитной промышленности.

Одним из основных резервов более полного удовлетворения потребности республики в древесных материалах является углубленная переработка всей заготавливаемой древесины по малоотходным технологиям. Основные пути решения этой задачи:

рациональный раскрой сырья на базе современного оборудования (что позволяет повысить выход основной продукции и, следовательно, уменьшить количество отходов);

полное (и экономически целесообразное) использование всех видов отходов, неизбежно получающихся при раскрое бревен;

максимальное вовлечение в промышленное использование маломерной и низкокачественной древесины хвойных и лиственных пород.

К сожалению, при рассмотрении данной проблемы зачастую делают упор на использование отходов, а не на рациональный раскрой сырья. В этой связи следует признать, что методы технологических расчетов и измерений, применяемые при проектировании раскроя бревен, являются в основном оценочными. Вместе с тем анализ сырья, используемого в лесопилении республики, говорит о тенденции неуклонного снижения среднего диаметра бревен и возрастания доли бревен с дефектами формы и строения. Дефекты эти связаны, в частности, со все более широким вовлечением в переработку древесины лиственных пород.

Такая недетерминированность размеров и качества пиловочника требует при проектировании его раскроя индивидуального подхода. Наиболее перспективным способом его реализации нам представляется переход от визуальной оценки раскроя бревен по команде оператора к раскрою на оборудовании, исполнительные механизмы которого действуют с учетом оперативной информации о размерах и качестве каждого бревна, полученной путем измерения и диагностики его автоматическими устройствами, по оптимальным схемам раскроя, выданным ЭВМ.

При доставке древесины в хлыстах

на лесопильное предприятие уже на стадии поперечного деления хлыстов на бревна может быть обеспечено максимальное использование пиловочной зоны хлыста. И, наконец, подробные сведения о фактических размерах и качестве каждого бревна позволят иметь полную и объективную информацию, необходимую для учета пиловочного сырья на складах лесопильных предприятий, что также немаловажно для повышения эффективности его дальнейшего использования.

В большинстве случаев при решении задач раскроя бревен в качестве их моделей используют тела вращения, получая в поперечном сечении данного объекта круг. Преимуществом такой модели является простое аналитическое задание, что упрощает технологические расчеты. Однако в этой простоте заключены и основные недостатки, так как любые отклонения в форме и размерах поступающих в распиловку бревен приводят к снижению выхода спецификационных пиломатериалов по сравнению с расчетным.

Другим элементом поверхности бревна или хлыста является образующая. В классических моделях круглых лесоматериалов образующая представляла собой прямую линию либо отрезок параболы второй степени с малой кривизной. По причинам, указанным выше, такой подход, как и в случае с поперечным сечением, неудовлетворителен, ибо при наличии кривизны (и/или) овальности поверхность формируется бесконечным числом образующих различного вида.

Одной из первых попыток решения указанной проблемы и создания моделей пиловочного сырья для последующего раскроя явились работы В. С. Петровского [1, 2]. Автор предложил в качестве моделей образующих полиномы четвертой степени от переменной  $l/H$  — относительного расстояния сечений от комля, где  $l$  — расстояние от сечения до комля, а  $H$  — длина ствола. Коэффициенты этих полиномов, содержащиеся в качестве линейного множителя диаметр на середине длины, зависят только от породы дерева и обладают достаточной устойчивостью в том смысле, что в ряде случаев они не зависят от условий роста произрастания дерева и влияния окружающей среды (эти факторы учтены в размерах стволов). В то же время модели сырья, по В. С. Петровскому, являясь типичными моделями вращения, не учитывают пороков его геометрии, а зависимость коэффициентов образующей только от породного состава древостоев, на наш взгляд, под-

лежит дополнительной проверке в различных лесопромышленных районах.

В определенной мере отмеченных недостатков лишена эллиптическая модель Пижурина — Розенблита [3], представляющая собой хлыст или бревно в виде ряда одинаково ориентированных эллипсов, «нанизанных» на осевую линию — некоторую определяемую кривую. При этом осевая линия задается деформированными синусоидами, а большие и малые полуоси эллипсов — полиномами не выше четвертой степени.

Недавно С. Г. Елсаковым [4] предложено описывать кубическими сплайнами осевую линию в эллиптической модели, равно как и образующие, которые опираются на большие и малые оси эллиптических сечений. Замена полиномов на сплайны даст, как пишет автор, определенные преимущества.

Разумеется, моделирование указанных линий сплайнами позволяет частично избежать проблем, возникающих при интерполяции полиномами высоких степеней. Однако, как уже отмечалось, используемая базовая математическая модель построена на основе канонических эллипсов, одинаково ориентированных, что является довольно жестким ограничением и не обязательно будет соблюдено на практике. С другой стороны, осевая линия в значительной степени является гипотетической кривой, фиксация которой может быть проведена лишь ориентировочно, а регистрация данных о ней затруднена.

Анализ показывает также, что очевая и образующие кривые, представляющие собой, вообще говоря, пространственные линии, моделируются, как правило, в виде плоских кривых. Поэтому, на наш взгляд, использование сплайновых кривых вместо парабол высоких степеней, улучшая характеристики аналитических моделей, в целом не в состоянии существенно повысить их адекватность, так как рассмотренные модели объединяет то, что все они представляют собой попытки достичь результата в рамках аналитических представлений за счет их усложнения, детализации и т. д., при этом окружность заменяется эллипсом, прямая ось — параболой или сплайном, но так или иначе всегда присутствуют аналитическое задание модели либо ее элементов.

Между тем вполне логичен вывод о том, что поверхности хлыстов и бревен, их образующие и поперечные сечения в принципе не могут быть аде-

кватно описаны аналитическими выражениями прежде всего из-за биологической природы древесных стволов и вероятного характера влияния экологических условий на формирование древесных стволов. Тем более такой подход предпочтителен при разработке моделей сырья, направляемого в распиловку, ибо, если рассматривать доставленные на лесопильное предприятие хлысты или бревна, то информация о месте произрастания дерева не может быть восстановлена.

В этом случае приходится строить модели сырья исходя из достоверной информации о размерах бревен. При этом в качестве базовых следует выбирать показатели, которые бы наиболее объективно отражали их форму и размеры. Такими могут быть координаты характерных точек бревна или хлыста. Наиболее достоверным и удобным для этих целей представляется дискретно-точечное задание каркасных элементов поверхности лесоматериала — поперечного сечения и образующей. Тогда моделируемая поверхность может быть получена в результате решения соответствующих задач интерполяции.

В качестве математического аппарата для построения моделей сырья нами были использованы кубические сплайны [5, 6], которые являются, пожалуй, наилучшим интерполянтном и широко применяются при описании сложных геометрических объектов, что объясняется их хорошими аппроксимационными свойствами и сравнительно простой реализацией алгоритмов их построения на ЭВМ [7].

Для моделирования элементов поверхностей лесоматериалов мы применили интерполяционные кубические сплайны дефекта 1, которые ввиду высокой степени гладкости в узлах сопряжения представляют собой удобные конструкции для аппроксимации кривых. Так как кривая поперечного сечения замкнута, то она аппроксимировалась периодическим сплайном. Для построения периодического сплайна, проходящего через  $N$  точек плоскости в заданном направлении, вводилась параметризация этих точек по суммарной длине хорд. Коэффициенты сплайнов  $X(x, t)$  и  $Y(y, t)$  находятся из системы уравнений, связывающих воедино условия интерполяции и гладкости в узлах до второго порядка включительно и решаемых методом прогонки. Тогда математическую модель поперечного сечения можно представить векторной функцией  $S = \{X(x, t), Y(y, t)\}$ .

На ЭВМ ЕС-1033 осуществлялось моделирование поперечных сечений хлыстов, бревен, краевой. Исследовались аналитические замкнутые кривые (окружность, эллипс, ул. Паскаля), заданные параметрическими уравнениями, и реальные сечения в дискретно-точечном виде, при этом рассматривались равномерные (по параметру) четные сетки. Точность (максимальная погрешность) приближения кривых оценивалась разностью площадей, ограниченных аппроксимируемой кривой и сплайном, в процентах к площади, ограниченной исходной кривой.

Для аналитических кривых погрешность приближения оказалась достаточно низкой и составила для 6-точечной сетки не более 1,5 %.

Точность моделирования E2 вычислялась как разность площадей, ограниченных исходной кривой и моделью, т. е. положительная погрешность на одном интервале сетки могла компенсироваться отрицательной на другом интервале. В этих условиях для 6-точечной сетки погрешность не превышала 1 %, при  $N=10$  уменьшалась до 0,1—0,2 %, а при дальнейшем возрастании  $N$  становилась практически равной нулю.

Точность моделирования E1 представляла собой, по определению, суммарную погрешность по площади. Она вычислялась как сумма абсолютных величин погрешностей по каждому интервалу сетки, т. е. компенсация погрешностей не допускалась. В этом случае для точности менее 1 % требовалась сетка длиной 12 узлов.

Анализ результатов моделирования позволяет сделать предварительные выводы о том, что для систем автоматизированного учета сырья, когда можно обойтись погрешностью E2, сетки длиной  $N=6$  и более узлов, являются вполне удовлетворительными. Для систем же автоматизации раскроя сырья, когда важны не только его объемные характеристики, но и сами геометрические размеры (координаты), представляется необходимым использовать более длинные сетки, начиная с  $N=10—12$ .

Аналогичным образом при помощи кубических сплайнов дефекта 1 моделировалась и образующая [8]. Так, точность моделирования плоской образующей хлыста длиной 19,8 м на 13-точечной сетке составила менее 1 %. Моделирование образующих как пространственных кривых может быть выполнено аналогично, при этом применяют параметрическое задание.

Таким образом, моделирование каркасных элементов поверхности круглых лесоматериалов — поперечного сечения и образующей кубическими сплайнами позволяет получить их адекватные модели, отличающиеся высокой точностью. Это означает, что такая модель хорошо воспроизводит размерные характеристики бревна, хлыста, кража и пороки формы ствола — овальность, кривизну, сбежистость и др. Такую модель, детально описывающую не только размеры сырья, но и все индивидуальные особенности его формы, назовем индивидуальной моделью. Следует подчеркнуть, что индивидуальная модель построена только на основе данных некоторого регулярного точечного каркаса и не использует информации об условиях произрастания, породе дерева и т. п., т. е. является не лесоводственной моделью, а моделью раскроя (или, учитывая отмеченное выше, индивидуальной моделью раскроя).

Использование концепции индивидуальных моделей раскроя позволяет описать сырьевую базу лесопиления с высокой степенью детализации, что создает предпосылки для решения проблем оптимизации раскроя лесоматериалов.

В качестве примера рассмотрим разработанный алгоритм формирования сечений обрезных пиломатериалов заданных размеров для поперечного сечения бревна, моделируемого сплайном. На ЭВМ был выполнен расчет развального постава по нескольким вариантам в зависимости от ориентации поперечного сечения бревна по отношению к поставу пил. При этом были учтены все требования, предъявляемые к таким расчетам — ширина пропила, величина усушки и т. п. С помощью поворота сплайнового контура выбиралась его оптимальная ориентация, позволяющая получить максимальное использование поперечного сечения бревна при вписании в него сечений обрезных пиломатериалов. Расчеты показали, что увеличение суммарной площади сечений выпиленных пиломатериалов за счет оптимальной ориентации сечения бревна составила около 7 % по сравнению с наихудшим вариантом.

В заключение отметим, что применению предлагаемых индивидуальных математических моделей раскроя в системах автоматизированного учета, оптимального раскроя и ресурсосберегающих технологий будет способствовать повышению эффективности переработки древесного сырья и решению важной народнохозяйственной задачи сохранения лесных богатств.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петровский В. С. Автоматическая оптимизация раскроя древесных стволов. — М.: Лесная пром-сть, 1970. — 184 с.
2. Петровский В. С. Автоматическая раскрываемость лесоматериалов. — М.: Лесная пром-сть, 1989. — 288 с.
3. Пижурин А. А., Розенблит М. С. Основы моделирования и оптимизации процессов деревообработки. — М.: Лесная пром-сть, 1988. — 294 с.
4. Елсаков С. Г. Математическое моделирование раскроя пиловочного сырья неправильной формы с использованием сплайн-функции // Известия вузов. Лесной журнал. — 1990. — № 3. — С. 70—73.
5. Янушкевич А. А., Кулак М. И., Яковлев М. К. Сплайновые модели в САПР раскроя древесного сырья // Математическое обеспечение рационального раскроя в САПР: Тезисы докладов Всес. научной конференции. — Ч. 2. — Уфа, 1987. — С. 182—183.
6. Яковлев М. К., Янушкевич А. А., Кулак М. И. Применение сплайнов в математических моделях хлыстов и бревен // Технология и оборудование заготовки и переработки древесины. — Вып. 3. — Минск: Вышэйшая школа, 1988. — С. 97—103.
7. Завьялов Ю. С., Леус В. А., Скороспелов В. А. Сплайны в инженерной геометрии. — М.: Машиностроение, 1985. — 352 с.
8. Янушкевич А. А., Кулак М. И., Яковлев М. К. Автоматизированное проектирование раскроя пиловочного сырья на основе сплайновых моделей // Технология и оборудование заготовки и переработки древесины. — Вып. 4. — Минск: Вышэйшая школа, 1989. — С. 145—150.