УДК 674.093

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЁТА ПОСТАВОВ ДЛЯ РАСПИЛОВКИ БРЁВЕН С ПОРОКАМИ ФОРМЫ

Е.В. Каргина, И.С. Матвеева, В.В. Огурцов

Сибирский государственный технологический университет
660049 Красноярск, пр. Мира, 82; e-mail: rector@sibstu.kts.ru

Предлагается математическое описание процесса продольного раскроя брёвен с учётом кривизны, сбежистости, эллиптичности и случайного отклонения их продольной оси относительно центра постава пил. Бревно представляется в виде последовательно расположенных секций. Для имитации кривизны бревна секции смещаются относительно друг друга по закону изогнутой оси бревна. Для учёта сбежистости толщины секций увеличиваются при перемещении от вершинной к комлевой секции по закону параболы. Поперечные сечения секций описываются уравнением эллипса.

Ключевые слова: бревно, кривизна, сбежистость, эллиптичность, распиловка, пиломатериал, математическая модель

Mathematical description of the process of logs longitudinal dressing concerning curvature, falloff, ellipticity, and occasional deviation of their longitudinal axis relatively to the centre of saw mill is given in the article. The log is presented as the consequently situated sections. For the log curvature imitation sections are moved relatively to each other according to the law of log curved axis. For the consideration of thickness falloff sections are increased on moving from top to bottom section according to the law of parable. Cross sections are described with the ellipse equation.

Key words: log, curvature, falloff, ellipticity, sawing, lumber, mathematical model

ВВЕДЕНИЕ

Лесопильная промышленность России в течение века практически не может окончательно переступить черту 50 %-го объёмного выхода обрезных пиломатериалов. Ещё в 40-х годах прошлого столетия российский математик проф. Х.Л. Фельдман попытался доказать, что объёмный выход 50 % слишком низкий и он может достигать 65…70 %. При этом он разработал «Систему максимальных поставов на распиловку». Далее развитием теории и практики лесопиления занимались: Д.Ф. Шапиро, Г.Д. Власов, Г.Г. Титков, М.Н. Гутерман, Л.В. Канторович, В.А. Залгаллер, А.Н. Песоцкий, П.П. Аксёнов, Н.А. Батин, А.В. Грачёв, Р.Е. Калитеевский, В.Ф. Ветшева, В.Г. Турушев, Л.З. Лурье, В.Д. Иванов, И.В. Соболев, В.Р. Фергин, А.А. Пижурин, М.С. Розенблит, А.М. Копейкин, С.Н. Рыкунин и др. В результате отечественное лесопиление при минимальных финансовых вложениях со стороны государства успешно конкурировало с крупнейшими лесными державами мира. В России был впервые реализован системный подход при управлении производством пиломатериалов. В лесопильной промышленности проводилась специализация предприятий по породам, размерам и качеству распиливаемого сырья, а также по назначению и размерам получаемых пиломатериалов. Внутри предприятия предусматривалась специализация отдельных лесопильных цехов на переработку сырья с ограниченным диапазоном варьирования его размерно-качественных характеристик, а внутри цеха осуществлялась специализация отдельных потоков по типу применяемого оборудования и структуре получаемой продукции. Фундаментальное влияние на работу отрасли оказал пакетный метод обращения пиломатериалов. Стала широко внедряться технология лесопиления с окончательной торцовкой досок после камерной сушки. Лесопильные предприятия насыщались поточными автоматизированными линиями. При разработке нового оборудования широко использовалось агрегатирование технологических операций, а при проектировании новых предприятий – блокирование цехов и участков. Непрерывно повышался уровень механизации и автоматизации производства и общий технический уровень отрасли. Параллельно проводилась оганизационная перестройка лесопильных предприятий – применялось объёмно-календарное и оперативно-календарного планирование процессов раскроя брёвен, внедрялась автоматизированная система управления качеством пилопродукции.

Однако объёмный выход пиломатериалов при этом практически не повышался.

Поэтому авторами данной работы поставлена цель установить фундаментальные причины низкого практического объёмного выхода пиломатериалов и наметить теоретически обоснованные пути его повышения.

Для реализации сформулированной цели необходим алгоритм имитационных исследований процессов раскроя брёвен с воспроизведением реальной изменчивости их формы и точности базирования, который должен основываться на теории поставов для распиловки брёвен с наиболее распространёнными пороками формы.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения имитационных исследований процессов раскроя брёвен с учётом случайной изменчивости их размеров и формы необходимо иметь математическую модель, связывающую размеры боковой доски с характеристиками бревна (толщиной, длиной, сбегом, эллиптичностью, кривизной) и точностью его центрирования в

зависимости от местоположения доски в бревне. Для получения такой модели предлагается следующий методический приём. Бревно мысленно рассекается поперечными резами на секции одинаковой и достаточно малой длины. При расположении бревна кривизной вбок эти секции смещаются одна относительно другой. Тогда распиловку такого бревна можно представить в виде поочерёдного последовательного раскроя секций с переменным расходом ширины постава. Раскрой первой секции, имеющей диаметр вершинного торца, производится при расчётном расходе ширины постава. При раскрое второй секции корректируется её диаметр на величину сбега, а также расход ширины постава - на величину кривизны, приходящуюся на вторую секцию.

Таким образом, у каждой последующей секции диаметр будет больше, чем у предыдущей, а расход ширины постава для одной и той же доски сначала будет возрастать до величины, учитывающей максимальный прогиб, а затем – снижаться до расчётного значения у комлевой секции. Коррекция диаметра секции осуществляется по закону параболы, а коррекция расхода ширины постава на кривизну – по закону изогнутой оси бревна. При таком подходе случайное отклонение продольной оси бревна от центра постава пил учитывается также путём коррекции расхода ширины постава на величину этого отклонения. Для учёта эллиптичности бревна традиционно используемая формула круга заменяется формулой эллипса. В результате использования описанного методического приёма получается ступенчатое очертание необрезной доски. Уменьшая длину секций, ступенчатое очертание сглаживается и превращается в откорректированную параболу.

Таким образом, для получения математической модели боковой доски с учётом случайной изменчивости размеров и формы бревна, а также отклонения продольной его оси от центра постава пил достаточно иметь соответствующие известные из теории раскроя зависимости и дополнить их корректирующими выражениями. В классической теории раскроя форма бревна принимается за параболоид вращения вида $y^2 = 2px$, где y – радиус сечения бревна на расстоянии **x** от вершины (рис. 1).

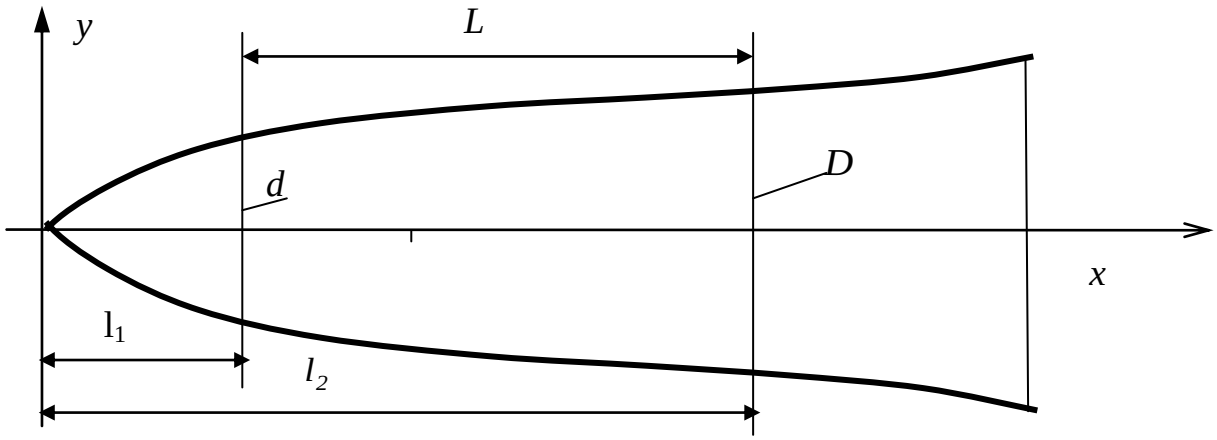

Рисунок 1 – Расчётная схема для объёма бревна

Выразим параметр параболы 2p через характеристики бревна: d, D, L.

Из рисунка 1 видно, что при $x = l_1$, $y = d/2$, $d^2/4 = 2pl_1$. При $x = l_2$, $y = D/2$, $D^2/4 = 2pl_2$. Тогда $L = l_2 - l_1 = (D^2 - d^2)/8p$ и

$$2p = \frac{D^2 - d^2}{4L} \qquad (1)$$

Уравнение образующей бревна принимает вид

$$y^2 = \frac{D^2 - d^2}{4L} x \qquad (2)$$

Помножив левую и правую часть выражения (2) на параметр π, получаем

$$\pi y^2 = \frac{D^2 - d^2}{4L} \pi x, \qquad (3)$$

где πy^2 – площадь поперечного сечения бревна на расстоянии x от вершины. Выражение для объёма бревна принимает вид

$$V = \int_{l_2}^{l_1} \frac{D^2 - d^2}{4L} \pi x \, dx \qquad (4)$$

Взяв интеграл, получим формулу объёма бревна

$$V = \frac{\pi L}{8}(D^2 + d^2) \qquad (5)$$

Из формулы объёма (5) вытекает формула среднего сбега S :

$$V = \frac{\pi L}{8}(d^2 + (d + SL)^2),$$

$$\frac{8V}{\pi L} - d^2 = (d + SL)^2,$$

$$S = \frac{\sqrt{\frac{8V}{\pi L} - d^2} - d}{L} \qquad (6)$$

Полученная формула уже использовалась И.В. Соболевым (с введением в неё уточняющего коэффициента для брёвен диаметром 14 и 16 см).

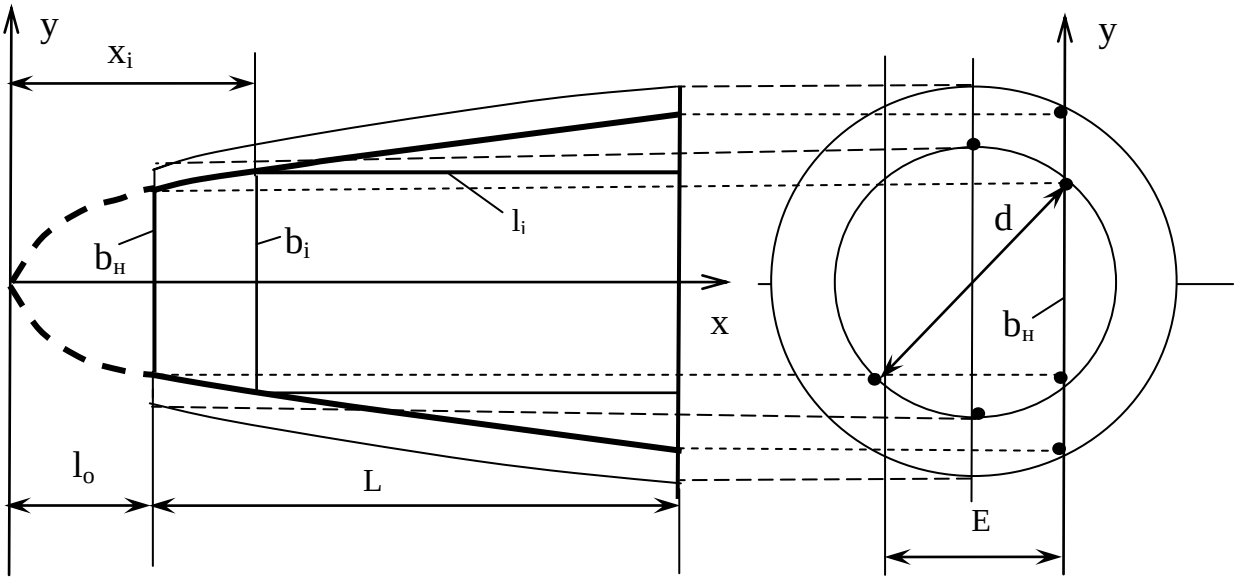

Рисунок 2 – Расчётная схема для боковой доски

Из рисунка 2 видно, что при $x = x_i$ $b^2_i/4 = 2px_i$, а при $x = l_0$, $b_н^2/4 = 2pl_0$, где $b_н$ и b_i – ширина необрезной и обрезной доски. Тогда величина укорочения доски равна

$$\Delta l = \frac{b_i^2 - b_н^2}{8P} \text{ или с учётом (1)}$$

$$\Delta l = \frac{(b_i^2 - d^2 + E^2)L}{(d + SL)^2 - d^2}, \qquad (7)$$

$$l_i = L - \frac{(b_i^2 - d^2 + E^2)L}{(d + SL)^2 - d^2},$$

$$l_i = L - \frac{b_i^2 + E^2 - d^2}{S(2d + SL)} \qquad (8)$$

Это выражение можно использовать для определения длины обрезной боковой доски (l_i) при заданной её ширине (b_i) в блоке оптимизации размеров доски при условии, что поперечное сечение бревна является кругом. Если учитывается эллиптичность, то определение «длины по заданной ширине пласти», вписанной в параболу, неприемлемо, поскольку при эллиптичном сечении бревна очертание необрезной доски описывается параболой с другими характеристиками. Поэтому преобразуем выражение (8) к виду

$$b_i = \sqrt{S(2d + SL)(L - l_i) - E^2 + d^2} \qquad (9)$$

Следует отметить, что вместо выражения (9) часто используют (особенно в графических методах расчета поставов) выражения

$$b_i = \sqrt{d_x^2 - E^2},$$

$$d_x = d + S(L - l_i) \qquad (10)$$

В результате в выражении для b_i появляется лишний член

$$S^2 l_i (L - l_i) \qquad (11)$$

который «превращает усеченную параболу в трапецию» и занижает ширину боковых досок. Занижает тем сильнее, чем короче боковая доска. Таким образом, при использовании графиков-квадрантов происходит систематическое занижение размеров боковых досок. Расчеты показывают, что использование выражений (10) вместо выражения (9) в алгоритме проектирования оптимальных поставов методом полного перебора при наличии оптимизатора размеров боковых досок приводит к укорочению некоторых крайних боковых досок длиной 1…2 м на 0,25 … 0,5 м.

Учитывая, что поперечное сечение бревна всегда имеет некоторую овальность (эллиптичность), толщина бревна описывается двумя осями: $d + \Delta d$ и $d - \Delta d$, где Δd – случайно изменяющаяся эллиптичность. Тогда выражение для вершинного торца принимает вид:

$$\frac{\left(\frac{E_i}{2}\right)^2}{\left(\frac{d + \Delta d}{2}\right)^2} + \frac{\left(\frac{b_i}{2}\right)^2}{\left(\frac{d - \Delta d}{2}\right)^2} = 1 \qquad (12)$$

и выражение 9 преобразуется к виду:

$$b_i = \sqrt{(S(2(d - (-1)^n \Delta d) + SL)(L - l_i) + (d - (-1)^n \Delta d)^2)} * \sqrt{\left(1 - \frac{4E_i^2}{S(2(d + (-1)^n \Delta d) + SL)(L - l_i) + (d + (-1)^n \Delta d)^2}\right)} \qquad (13)$$

В выражении 13 член $(-1)^n$, где n – номер прохода, обеспечивает «поворот» бруса вокруг продольной оси на 90^0. Опишем изогнутую ось бревна выражением:

$$f = 0{,}05\, f_{cp}\, l_i \left(1 - \exp\left(-\frac{L - l_i}{L}\right)\right), \quad (14)$$

где f_{cp} – случайно изменяющийся прогиб посередине бревна, % .

Тогда выражение для b_i принимает следующий вид

$$b_i = \sqrt{(S(2(d-(-1)^n \Delta d) + SL)(L - l_i) + (d-(-1)^n \Delta d)^2)} * \sqrt{\left(1 - \frac{4(E_i + S_m + 0.05 f_{cp}\, l_i\, (1 - \exp(-\frac{L - l_i}{L})))^2}{S(2(d+(-1)^n \Delta d) + SL)(L - l_i) + (d + (-1)^n \Delta d)^2}\right.}, \quad (15)$$

где S_m – случайное смещение бревна (бруса) относительно центра постава пил.

Используя выражение 15, можно определять ширину доски, изменяя с заданным шагом ее длину, находить площадь пласти и выбирать оптимальное сочетание ширины и длины доски. Эллиптичность, кривизна и смещение воспроизводится с помощью переменных Δd, f_{cp}, S_m путем использования специально настроенных генераторов случайных чисел.

Процедура выбора оптимальных размеров доски с учетом кривизны бревна (со стороны вогнутости) видна из рисунка 3.

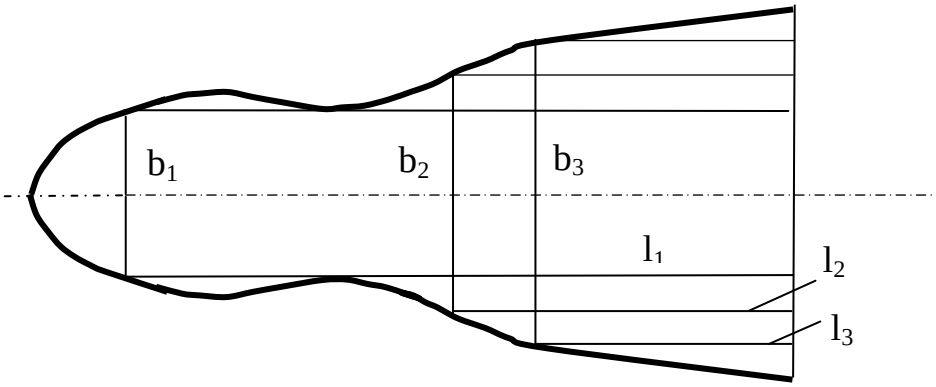

Рисунок 3 – Расчетная схема раскроя боковой доски с учетом кривизны бревна

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в данной работе предлагается использовать для расчета поставов и имитации процессов раскроя бревен с пороками формы выражения, в которых кривизна бревна и точность его центрирования учитываются путём корректировки величины расхода Е ширины постава.

Тогда методика расчёта ширины и длины обрезной доски при оптимизации её размеров с учётом пороков формы бревна и точности его центрирования предполагает следующие шаги:

1 Определяется объём бревна V для заданных номинальных размеров – диаметра d в вершинном торце и длины L с использованием формулы $V = (0{,}87\, L + 0{,}01\, L^2)\,(d + 0{,}0001\, L^2)^2 + 0{,}00002\, L^3$, которая получена путём математической обработки таблиц объёмов ГОСТ 2708-75 и которая обеспечивает, как показали исследования авторов, ошибку определения объёма в 4…7 раз меньшую, чем другие формулы.

2 С использованием полученной величины объёма определяется средний сбег бревна по формуле (6), который «увязывает» табличный объём бревна с принятой формой – параболоидом вращения.

3 Определяется по формуле (15) так называемая горловина необрезной боковой доски (рис. 3), обусловленная кривизной бревна f_{cp} в сочетании с эллиптичностью Δd и смещённостью S_m.

4 Определяются с помощью формулы (15) стандартные размеры (длина-ширина) конкурирующих обрезных досок, вписанных в откорректированную параболу (рис. 3).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Батин, Н. А. Теоретические и экспериментальные исследования пиловочного сырья: дис. ... д-ра техн. наук. – / Н. А. Батин. Минск, 1964. – 363 с.

Ветшева, В. Ф. Раскрой крупномерных бревен на пиломатериалы / В.Ф. Ветшева. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 166 с.

Власов, Г. Д. Технология деревообрабатывающих производств / Г. Д. Власов, В. А. Куликов, С. В. Родионов. – М.: Гослесбумиздат, 1960. – 566 с.

Грачев, А. В. Механизация и автоматизация трудоемких операций в лесопильном производстве / А. В. Грачев. – М.: Лесная промышленность. 1961. – 432 с.

Гутерман, М. Н. Основные вопросы теории первичного раскроя древесины на лесозаводах. / М. Н. Гутерман. – М.: Гослесбумиздат, 1950. – 24 с.

Залгаллер, В. А. Новое в составлении поставов на распиловку бревен / В. А. Залгаллер. – Л. 1956. – 64 с.

Калитеевский, Р. Е. Теория и организация лесопиления / Р. Е. Калитеевский – М.: «Экология», 1995. – 352 с.

Калитеевский, Р. Е. Лесопиление в XXI веке. Технология, оборудование, менеджмент / Р. Е. Калитеевский. – СПб.: ПРОФИ-ИНФОРМ. 2005. – 480 с.

Канторович, Л. В. Рациональный раскрой промышленных материалов / Л. В. Контарович. – Новосибирск, 1971. – 300 с.

Копейкин, А.М. Перспективы развития технологии лесопиления. / А.М. Копейкин. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 164 с

Кошуняев, Б. И. Оптимизация переработки сырья в лесопилении / Б. И. Кошуняев. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 110 с.

Лурье, Л. З. Лесопильная промышленность Европы / Л. З. Лурье. – М.: – Лесная промышленность, 1970. – 207 с.

Песоцкий, А. Н. Лесопильное производство / А. Н. Песоцкий – М: Лесная промышленность, 1970. – 432 с.

Пижурин, А. А. Основы моделирования и оптимизации процессов деревообработки / А. А. Пижурин, М. С. Розенблит. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 296 с.

Соболев, И. В. Управление производством пиломатериалов / И. В. Соболев. – М.: Лесная промышленность. 1981. – 184 с.

Технология пиломатериалов: учебник для вузов / П. П. Аксенов [и др]. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 480 с.

Титков, Г. Г. Теоретические основы наивыгоднейшего объемного использования пиловочных бревен: автореф. дис ... канд. техн. наук / Г. Г. Титков. Ленингр. лесотехн. акад. – Л., 1953. – 20 с.

Турушев, В. Г. Технологические основы автоматизированного производства пиломатериалов / А. Г. Турушев. – М.: Лесная промышленность, 1975. – 208 с.

Фельдман, Х. Л. Система максимальных поставов на распиловку / Х. Л. Фельдман. – Л.: Лесотехн. изд – во. 1932. – 276 с.

Шапиро, Д. Ф. Лесопильно-строгальное производство. / Д. Ф. Шапиро. – М.: 1935. – 508 с.

Поступила в редакцию 25 декабря 2010 г.
Принята к печати 27 апреля 2011 г.