

**ИЗВЕСТИЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОЙ
АКАДЕМИИ**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2011**

V. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

УДК 674.047

Владимир Николаевич Глухих,
доктор технических наук, профессор

Наталья Григорьевна Краснюк,
аспирантка

krasnoeznamya@list.ru

*Санкт-Петербургская государственная
лесотехническая академия*

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

**Усушка, доска, коробление, растрескивание, качество, прогнозирование.
Shrinkage, board, warping, rifting, quality, predicting.**

Введение. Критерием для выбора местоположения пиломатериалов на схеме распиловки пиловочника (рис. 1) является их сопротивляемость предотвращению поперечного коробления при последующей сушке. Этот критерий характеризует величину внутренних напряжений в пиломатериалах, возникающих при сушке. В пиломатериалах, имеющих более высокую сопротивляемость предотвращению коробления, заметно выше остаточные напряжения, высока опасность пластического растрескивания. У таких досок самое большое поперечное коробление, а также самая большая разность между короблением внутренней и наружной пластей, что фактически является дополнительным припуском при механической обработке.

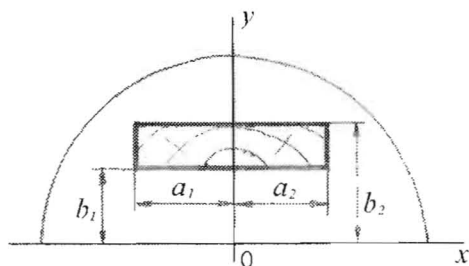


Рис 1. Расчетная схема сечения пилочника

Методика исследований. Главной причиной появления поперечного коробления является неодинаковая усушка пластей доски. Подтверждением этому является наличие множителя в формуле для определения силы коробления доски, представляющего собой разность коэффициентов усушки пластей [1]:

$$P_K = \frac{4R^2 \Delta W E_0}{3B} (1 + \beta \Delta W) (K_2 - K_1), \quad (1)$$

где R – половина толщины доски; B – ширина сечения доски; K_1, K_2 – средние значения коэффициентов усушки пластей; E_0 – модуль упругости среднего слоя; P_K – величина силы коробления в соответствии с формулой (1) зависит также и от модуля упругости.

Гипотетическая связь коэффициента усушки с модулем упругости, предложенная проф. Б.Н. Уголевым [2] и подтвержденная в теоретических исследованиях [3] в виде

$$K_r E_r = K_l E_l = K_x E_x, \quad (2)$$

позволила установить характер изменения коэффициента усушки

$$K_x = K_r \cos^2 \theta + K_l \sin^2 \theta - \frac{K_r - K_l}{2} \sin 2\theta \quad (3)$$

и модуля упругости по ширине пласти доски [4]

$$\frac{1}{E_x} = \frac{\cos^4 \theta}{E_r} + \frac{\sin^4 \theta}{E_l} + \frac{3 - \alpha^2}{E_l} \sin^2 \theta \cdot \cos^2 \theta. \quad (4)$$

Формула (3) отличается от известной наличием третьего слагаемого, ответственного за появление угловых деформаций усушки, проявляющихся, в особенности, в брусковых пиломатериалах. По этой причине методи-

ка прогнозирования качества сушки пиломатериалов должна основываться на использовании зависимости (3).

На рис. 2 изображены графики изменения разности коэффициентов усушки по ширине наружной и внутренней пластей (на примере сосновых досок толщиной 30 мм) в зависимости от положения доски на схеме раскроя бревна. На всех графиках разность коэффициентов усушки по ширине доски достигает наибольшего значения при некоторых значениях координаты наружной пласти, которая может быть достаточно просто найдена математически с использованием следующей функции:

$$\delta = \frac{K_r x^2 + (K_l - K_r) x b_2 + K_l b_2^2}{x^2 + b_2^2} - \frac{K_r x^2 + (K_l - K_r) x b_1 + K_l b_1^2}{x^2 + b_1^2}. \quad (5)$$

Результаты экспериментальных исследований [1] свидетельствуют о том, что характер изменения разности коэффициентов усушки пластей и силы коробления одинаков.

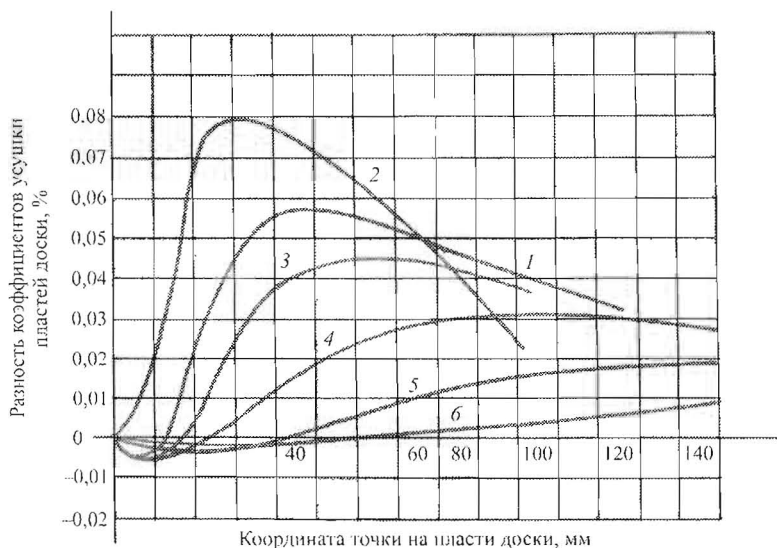


Рис. 2. Изменение разности коэффициентов усушки пластей досок при различных значениях координат пластей b_2/b_1 :

1 – 50/20; 2 – 40/10; 3 – 60/30; 4 – 80/50; 5 – 120/90; 6 – 180/150

Таким образом, можно будет найти размерные параметры пиломатериалов (ширина и толщина сечения, координаты пластей) с наибольшей сопротивляемостью предотвращению коробления при сушке и не включать такие пиломатериалы в схему раскроя бревен.

Границами зоны размерных параметров досок можно избрать точки 0 и 2 с ординатами, равными ординате точки перегиба 0 на графике разности коэффициентов $\delta(x)$ (рис. 3). Таким образом, прямой линией, параллельной оси X с ординатой точки перегиба, отсекается часть графика $\delta(x)$, характеризующая такие пиломатериалы с наибольшей силой коробления, которые нежелательно включать в схему распиловки бревна с целью сокращения потерь сухих пиломатериалов из-за коробления и растрескивания.

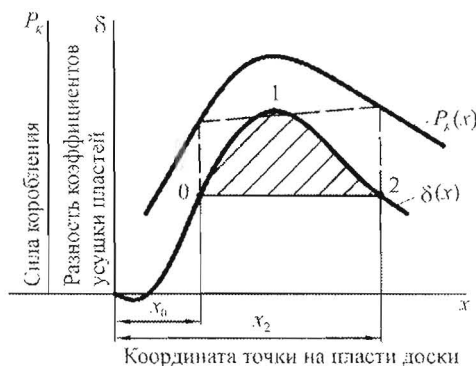


Рис. 3. Схема для определения размерных параметров пиломатериалов с наибольшей сопротивляемостью предотвращению коробления

Для определения абсциссы точки перегиба 0 (рис. 3) находим вторую производную функции $\delta(x)$ и приравниваем ее к нулю. В результате решения с использованием уравнения (5) и преобразований получим:

$$\begin{aligned} \frac{d^2\delta(x)}{dx^2} = K_1 & \left[\frac{2b_2^2(x^2 + b_2^2)^2 - 8x^2b_2^2(x^2 + b_2^2)}{(x^2 + b_2^2)^4}(\alpha^2 - 1) + \right. \\ & + \frac{2xb_2(x^2 + b_2^2)^2 + 4xb_2(b_2^2 - x^2)(x^2 + b_2^2)}{(x^2 + b_2^2)^4}(\alpha^2 - 1) - \\ & - \frac{2b_1^2(x^2 + b_1^2)^2 - 8x^2b_1^2(x^2 + b_1^2)}{(x^2 + b_1^2)^4}(\alpha^2 - 1) - \\ & \left. - \frac{2xb_1(x^2 + b_1^2)^2 + 4xb_1(x^2 + b_1^2)(b_1^2 - x^2)}{(x^2 + b_1^2)^4}(\alpha^2 - 1) \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

Алгебраическое уравнение для нахождения абсциссы точки перегиба имеет вид:

$$\begin{aligned} & \left[-4x_0^2b_2^2 + 2x_0b_2(b_2^2 - x_0^2) \right] (x_0^2 + b_1^2)^3 + \left[4x_0^2b_1^2 + 2x_0b_1(b_1^2 - x_0^2) \right] (x_0^2 + b_2^2)^3 + \\ & + (b_2^2 + x_0b_2)(x_0^2 + b_2^2)(x_0^2 + b_1^2)^3 - (b_1^2 + x_0b_1)(x_0^2 + b_1^2)(x_0^2 + b_2^2)^3 = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Найденное значение x_0 из уравнения (7) подставляем в формулу (5) и вычисляем $\delta(x_0)$:

$$\delta(x_0) = \frac{K_l x_0^2 + (K_l - K_r) x_0 b_2 + K_r b_2^2}{x_0^2 + b_2^2} - \frac{K_r x_0^2 + (K_l - K_r) x_0 b_1 + K_l b_1^2}{x_0^2 + b_1^2}. \quad (8)$$

Абсциссу точки 2 (рис. 3) находим, решая уравнение (8) с учетом найденного $\delta(x_0)$.

Из уравнения (7) следует, что абсцисса точки перегиба x_0 не зависит от породы древесины и от влажности досок. На этом основании можно предвидеть, что и у второй точки абсцисса будет одинаковой в случае любой породы и влажности.

Таким образом, решения (7) и (8) являются универсальными, т. е. применимыми для любой породы древесины и не зависят от влажности пиломатериалов.

Все доски шириной $B/2$ меньше x_0 и большие x_2 имеют низкую сопротивляемость предотвращению коробления.

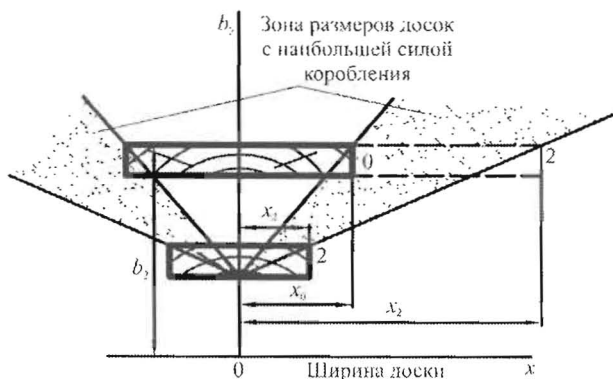


Рис. 4. Диаграмма для определения размеров досок с наибольшей сопротивляемостью предотвращению коробления

Доски шириной $x_0 \leq B/2 \leq x_2$ включать в схему распиловки нежелательно, так как они при сушке могут понизить свое качество из-за коробления, пластевых трещин и остаточных напряжений.

Форма досок с размером по ширине $B \leq x_0$ имеет вид (рис. 5, а). Предотвращение коробления таких досок при сушке обязательно вызовет дополнительное растягивающее напряжение на наружной пласте. Однако это напряжение будет меньше в таких досках по сравнению с досками, имеющими наибольшую сопротивляемость предотвращению коробления.

Форма сечения досок с размером по ширине $B > x_2$ будет отличаться от предыдущей (рис. 5, б), хотя сила коробления досок при $B = x_0$ и $B = x_2$ одинакова.

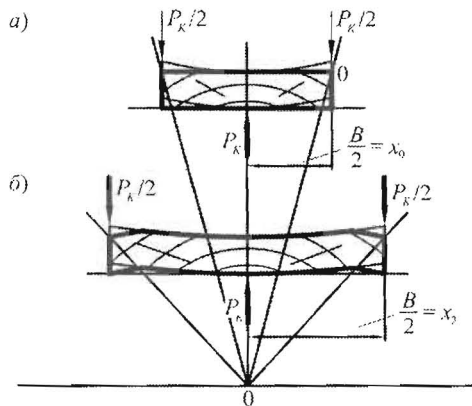


Рис. 5. Форма сечения досок при предотвращении коробления силой, приложенной на кромках: а – при полном, б – при частичном предотвращении коробления

Если доска высушивается в штабеле, нагрузка на нее от веса вышележащего материала передается через прокладку и, в зависимости от величины этой нагрузки, коробление либо реализуется частично, либо не допускается. Тогда форма сечения досок будет иметь следующий вид (рис. 6).

При полном предотвращении коробления наружная пласт остается плоской, а внутренняя приобретает выпуклую форму из-за разнотолщинности в середине пласти и на кромках.

После установления оптимального расположения досок на схеме раскроя бревна по вышеописанной методике необходимо проверить ее

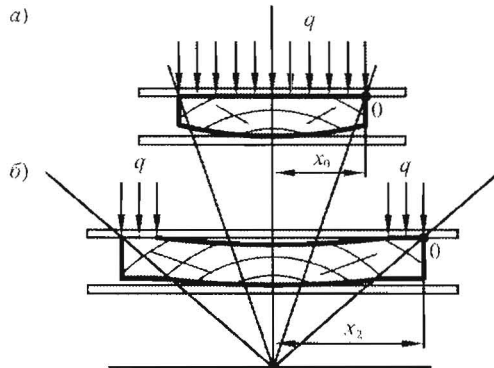


Рис. 6. Форма сечения досок при сушке в штабеле:
а – при полном, б – при частичном предотвращении
коробления

по максимальной величине поперечного коробления, по разнотолщинности и по потерям из-за коробления наружной и внутренней пластей при механической обработке.

В первом случае необходимо воспользоваться формулой (3):

$$f_{k2} = (1 - \Delta WK_r) \sqrt{a_2^2 + b_2^2} \left\{ \cos \frac{1 - \Delta WK_r}{1 - \Delta WK_r} \arctg \frac{a_2}{b_2} - \cos \left(\arctg \frac{a_2}{b_2} \right) \right\}, \quad (9)$$

где f_{k1} , f_{k2} – величина коробления внутренней и наружной пластей; ΔW – снижение влажности древесины ниже предела гигроскопичности, %; K_r , K_t – коэффициенты усушки в радиальном и тангенциальном направлениях.

Полученное значение f_{k2} необходимо сравнить с допускаемым короблением по стандарту в соответствии с сортом пиломатериалов. В случае превышения коробления над стандартным пределом необходимо вернуться вновь к поиску более оптимального размещения доски на схеме раскроя пиловочника.

Таким образом, при составлении схемы распиловки вразвал или с брусковкой на один брус с использованием выбранного выше критерия в некоторой средней части нужно будет выпиливать доски по другой схеме в отличие от выбранной первоначально. Например, при распиловке вразвал (рис. 7) доски в опасной зоне $2x_2$ при последующей сушке понизят свое качество из-за пластевого растрескивания и коробления. Все доски, расположенные в зоне, размеры которой можно определить по предлагаемой нами методике, нужно будет распилить, например, пополам (рис. 7, б).

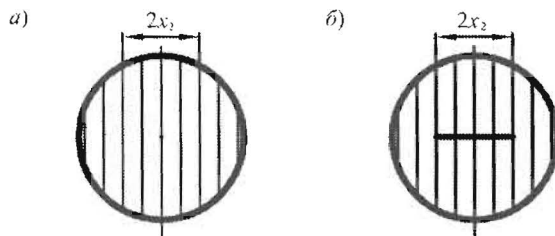


Рис. 7. Распиловка бревен: а – вразвал; б – вразвал с последующим раскроем центральных досок пополам

При распиловке с брусковкой на один брус толщину бруса нужно согласовать с размером опасной зоны. Толщина бруса не должна быть меньше размера $2x_2$ опасной зоны. При распиловке бруса часть досок из центральной зоны также будет подвержена растрескиванию и короблению. Эта зона должна быть распилена на бруски либо на доски, как показано на рис. 8, б.

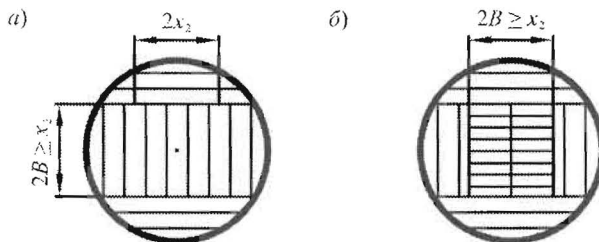


Рис. 8. Схема распиловки бревен: а – с брусковкой; б – с брусковкой и раскроем опасной зоны

Для сравнения различных вариантов размещения досок на схеме распиловки выполняется вторая проверка, учитывающая потери древесины из-за разнотолщинности досок.

Разнотолщинность досок есть разность между поперечным короблением внутренней и наружной пластей. Потери в стружку из-за разнотолщинности:

$$P_p = \frac{f_{K1} - f_{K2}}{S} 100 \%. \quad (10)$$

Расход сухой древесины в стружку из-за коробления при механической обработке в относительных величинах составят

$$P_k = \frac{f_{K2} + f_{K1}}{S} 100 \%. \quad (11)$$

Выбирается, в итоге, вариант оптимальной схемы распиловки согласно выбранному критерию и экономически выгодный.

Результаты исследований. Уравнения (5), (8), (9), (10), (11) служат основой для составления компьютерных программ, которые должны в автоматическом либо диалоговом режимах обеспечить прогнозирование качества сушки пиломатериалов. Блок-схема приведена на рис. 9.

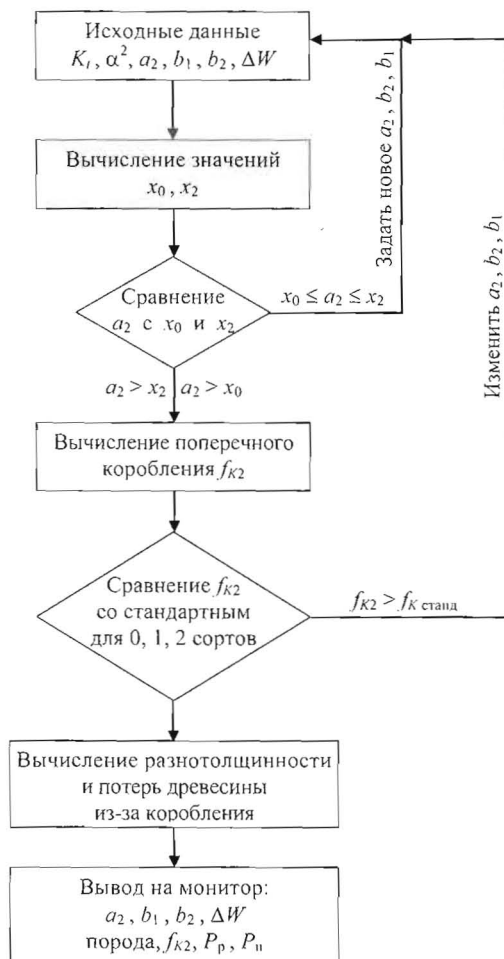


Рис. 9. Блок-схема программы для прогнозирования качества сушки пиломатериалов

Выводы

1. Основой, связывающей между собой поперечное коробление, разнотолщинность досок и сопротивление короблению, является анизотропия усушки и модуля упругости древесины.

2. Анизотропия модуля упругости проявляет себя также и на характере распределения остаточных напряжений в пиломатериалах в результате сушки.

3. Составленный в общем виде алгоритм компьютерной программы позволит прогнозировать качество сухих пиломатериалов по поперечному короблению, разнотолщинности досок, пластевому растрескиванию и остаточным напряжениям в результате сушки.

Библиографический список

1. Соколов, П.В. Влияние некоторых факторов на силу коробления древесины [Текст] / П.В. Соколов, В.Н. Глухих. – М.: Деревообр. пром-сть. – 1971. – № 3. – С. 8–9.
2. Уголев, Б.Н. Деформативность древесины и напряжения при сушке [Текст] / Б.Н. Уголев. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 174 с.
3. Глухих, В.Н. Анизотропия древесины как фактор для повышения качества сушки пиломатериалов [Текст] / В.Н. Глухих. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2007. – 163 с.
4. Глухих, В.Н. Анизотропия коэффициента усушки и постоянных упругости древесины поперек волокон [Текст] / В.Н. Глухих // Известия Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии. – Вып. 176. – СПб.: СПбГЛТА, 2005. – С. 126–135.

Разработаны математические модели, учитывающие анизотропию свойств древесины при прогнозировании качества сушки пиломатериалов на стадии составления схем раскря пиловочника. За основу приняты связанные между собой поперечное коробление, разнотолщинность досок, сопротивление короблению при сушке, анизотропия усушки и модуля упругости древесины. Это позволило разработать алгоритм компьютерной программы для прогнозирования качества сушки пиломатериалов, полученных по одной из схем раскря пиловочника.

* * *

The models taking into consideration wood properties anisotropy in lumber drying quality forecasting at drawing up plank timber cutting charts have been developed. For basis are accepted, connected among themselves, a cross-section buckling, warping boards, resistance to a buckling at drying, anisotropy of shrinkage and the module of elasticity of wood. It has allowed to develop algorithm of the software program for forecasting of quality of drying of the saw-timbers received on one of cutting schemes.