

6
A-62
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКИЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Г. Г. ПЕТРУХИН

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРОБЛЕНИЯ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

№ 025 — «Динамика и прочность машин,
приборов и аппаратуры (динамика и прочность машин,
приборов, изделий и оборудования для лесной
и деревообрабатывающей промышленности)»

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва — 1971

674
А62

Диссертация выполнена на кафедре строительной механики Московского лесотехнического института.

Научный руководитель —
доктор техн. наук, проф. В. И. Королев

Официальные оппоненты:
доктор техн. наук, проф. Б. Н. Уголев,
доктор техн. наук, проф. Л. В. Ершов

Ведущее предприятие — Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций им. Кучеренко (ЦНИИСК).

Автореферат разослан «...» 1971 г.

Защита диссертации состоится на заседании Ученого совета Московского лесотехнического института «...» 1971 г.

Отзывы и замечания **В ДВУХ ЭКЗЕМПЛЯРАХ С ЗАВЕРЕННЫМИ ПОДПИСЯМИ** направлять по адресу: Мытищи-1, Московской области, Московский лесотехнический институт. Ученому секретарю.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МЛТИ.

Ученый секретарь Совета института
доцент К. К. Хохлов

ВВЕДЕНИЕ

Снижение влажности за предел гигроскопичности вызывает усушку древесины. Вследствие неодинаковости усушки в различных направлениях наряду с усушкой наблюдается также искажение формы деревянных элементов — коробление. Усушка и коробление являются органически присущими особенностями и характерными недостатками древесины как материала.

По распределению влажности по объему сортиментов различают следующие виды коробления: структурное и влажностное.

Структурное коробление является следствием анизотропии усушки древесины и наблюдается при равномерном распределении влажности по объему деревянных элементов.

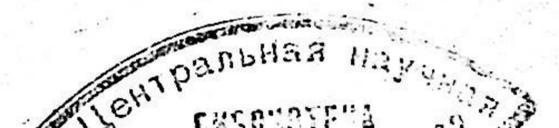
Влажностное коробление вызывается неравномерным распределением влажности по объему и при выравнивании влажности исчезает.

Сушка древесины может происходить с наложением связей, препятствующих короблению, и без них. В первом случае коробление называют стесненным, во втором — свободным. По геометрическому признаку различают следующие виды коробления пиломатериалов: поперечное, на пласт, на кромку, крыловатость (скручивание).

Кроме того, выделяют особые виды коробления — вследствие напряжений произрастания, при этом коробление проявляется сразу же после распиловки кряжей, и коробление по причине остаточных напряжений сушки, проявляющееся, в частности, при механической обработке пиломатериалов и заготовок.

Коробление пиломатериалов и заготовок может возникнуть также вследствие начального, перед сушкой, искривления их (например, при неправильной укладке в штабель). После сушки искривленная форма сохраняется.

Коробление является одним из главных видов технологического брака, возникающего при сушке пиломатериалов и заготовок в камерах.



Исследования, проведенные в ЛТА, показали, что количество покоробленных досок и заготовок после сушки со стрелой прогиба выше допустимой составляет до 50%, а безвозвратные потери древесины от коробления при сушке составляют от 3 до 6% (за счет превышения припусков на строгание, оторцовку, переработку на мелкие размеры). Коробление пиломатериалов и заготовок является основной причиной завышения нормативных припусков при строгании в среднем на 20-60%. Большие объемы древесины, подвергаемые камерной сушке, и соответственно значительные потери ее из-за коробления делают актуальными исследования, направленные на выяснение влияния различных факторов на коробление древесины и разработку на этой основе мероприятий, позволяющих уменьшить величину коробления.

Настоящая работа посвящена исследованию коробления пиломатериалов и изделий из древесины.

Диссертация состоит из шести глав, введения и заключения, изложена на 135 страницах машинописного текста, имеет 28 иллюстраций.

Ниже приводится краткое изложение диссертации по главам.

1. КОРОБЛЕНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аналитическому исследованию структурного коробления поперечных сечений деревянных элементов посвящен ряд работ (П.А.Афанасьев, К.И.Коленчук, В.А.Шевченко и М.Н.Феллер). Решения, полученные указанными авторами, содержат ряд допущений и, кроме того, дают различные численные результаты. В связи с этим в настоящей работе, учитывая важное значение изучения структурного коробления для ряда практических задач, этот вопрос подвергнут дополнительному исследованию. Предварительно была рассмотрена задача о напряженном состоянии в поперечных сечениях деревянных сортиментов при равномерном распределении влажности в них и было установлено, что напряженное состояние в сечениях сортиментов, в которых все годовые кольца перерезаны, отсутствует. Это позволяет рассматривать задачу структурного коробления как чисто геометрическую.

На основании соотношений теории деформаций теории упругости получено приближенное решение задачи структурного коробления поперечных сечений. Выражения для определения перемещений имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} u &= -\bar{W} [K_z x - (K_z - K_\theta) y \operatorname{arctg} \frac{x}{y}], \\ v &= -\bar{W} [K_z y + (K_z - K_\theta) x \operatorname{arctg} \frac{x}{y}], \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

где u, v - компоненты перемещения точек поперечного сечения при усыхании в прямоугольной системе координат x, y ;

x, y - координаты точек до усыхания;

K_z, K_θ - коэффициенты радиальной и тангенциальной усушки;

$\bar{W} = W_{пр} - W$ - перепад влажности;

$W_{пр}$ - предел гигроскопичности соответствующей породы древесины;

W - текущее значение влажности.

Выражения (1.1) получены в прямоугольной системе координат x, y с началом в полюсе анизотропии кряжа при следующих условиях закрепления:

$$\text{при } x = y = 0; \quad u = v = \frac{\partial u}{\partial y} = 0. \quad (1.2)$$

Точное решение имеет следующий вид при условиях закрепления (1.2):

$$\left. \begin{aligned} u &= |\sqrt{x^2 + y^2}| \left[(1 - K_z \bar{W}) \sin \left(\frac{1 - K_\theta \bar{W}}{1 - K_z \bar{W}} \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \right) - \frac{x}{|\sqrt{x^2 + y^2}|} \right]; \\ v &= |\sqrt{x^2 + y^2}| \left[(1 - K_z \bar{W}) \cos \left(\frac{1 - K_\theta \bar{W}}{1 - K_z \bar{W}} \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \right) - \frac{y}{|\sqrt{x^2 + y^2}|} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

На основании точного решения проведен анализ приближенных решений, который позволил сделать выводы относительно возможностей их применения для расчетов коробления.

2. ВЛИЯНИЕ ШАГА РАССТАНОВКИ ПРОКЛАДОК В ШТАБЕЛЕ ПРИ КАМЕРНОЙ СУШКЕ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ НА ВЕЛИЧИНУ КОРОБЛЕНИЯ

На величину коробления пиломатериалов, как показывает практика сушильного дела, существенное влияние оказывает шаг расстановки прокладок в штабеле при камерной сушке пиломатериалов. Имеющиеся рекомендации по расстановке прокладок в штабеле имеют весьма общий характер и не дают представления о величине коробления при принятом шаге расстановки прокладок.

В настоящей работе введена характеристика эффективности шага расстановки прокладок

$$\omega = \frac{f_{ст}}{f_{св}}, \quad (2.1)$$

где $f_{св}$ - стрела коробления доски при свободном короблении;
 $f_{ст}$ - стрела коробления доски при данном шаге расстановки прокладок (стесненное коробление).

Расчетная схема панели (участка доски между двумя прокладками) была принята в виде ортотропной пластины, подверженной короблению, две стороны которой, находящиеся под прокладками, являются жестко заземленными, две другие - свободными (при определении $f_{ст}$). Задача была решена в первом и втором приближениях вариационным методом Л.В.Канторовича. Стрела коробления $f_{св}$ находилась для доски при отсутствии прокладок. Выражения для эффективности шага расстановки прокладок в первом и втором приближениях имеют следующий вид:

$$\omega_I = \frac{2C_1 D_{22}}{m_2} \left(\frac{a^2}{b}\right)^2, \quad (2.2)$$

$$\omega_{II} = \frac{2D_{22} [(1+\kappa_1)C_1'' + (1+\kappa_2)C_2'' + (1+\kappa)C_3'']}{m_2} \left(\frac{a^2}{b}\right)^2, \quad (2.3)$$

где $2a$ - длина панели;
 $2b$ - ширина доски;

$$D_{22} = \frac{E_2 h^3}{12(1-\nu_1\nu_2)}; \quad m_2 = D_{22}\lambda; \quad (2.4)$$

E_2 - модуль упругости доски в поперечном направлении при конечной влажности сушки;

ν_1, ν_2 - соответствующие коэффициенты Пуассона;

h - толщина доски;

λ - некоторый коэффициент коробления;

$C_1, C_1'', C_2'', C_3'', \kappa_1, \kappa_2, \kappa$ зависят от упругих

постоянных, геометрических размеров панели и коэффициента коробления λ .

Получено также приближенное решение задачи об эффективности шага расстановки прокладок, в котором коробление пиломатериалов моделировалось равномерно распределенной нагрузкой. В этом случае края доски полагались шарнирно опертыми. Формулу (2.1) можно будет записать в следующем виде:

$$\bar{\omega} = \frac{W_{max}^{\pi}}{W_{max}^{\psi}}, \quad (2.5)$$

где W_{max}^{π} - максимальный прогиб панели под равномерно распределенной нагрузкой;
 W_{max}^{ψ} - максимальный прогиб доски при цилиндрическом изгибе под такой же нагрузкой.
 Спределив W_{max}^{π} и W_{max}^{ψ} и подставив в (2.5), получим:

$$\bar{w} = \frac{1536}{5\pi^5} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^5} \left[1 - \frac{1}{\operatorname{ch} \frac{m\pi}{2} pn \cos \frac{m\pi}{2} qn \left(1 - \frac{\operatorname{th} \frac{m\pi}{2} pn - \frac{q}{p} \operatorname{tg} \frac{m\pi}{2} qn}{\operatorname{cth} \frac{m\pi}{2} pn + \frac{q}{p} \operatorname{ctg} \frac{m\pi}{2} qn} \right)} \right] \quad (2.6)$$

где $n = \frac{a}{b}$; p и q являются функциями упругих постоянных E_1, E_2, G , ν_1, ν_2 при конечной влажности сучки W_K ;

E_1, E_2, G - модули упругости доски в продольном и поперечном направлениях и модуль сдвига;
 ν_1, ν_2 - соответствующие коэффициенты Пуассона.

Решение (2.6) для древесины сосны доведено до численных результатов (было принято $E_1 = 1 \cdot 10^5$ кг/см²; $E_2 = 0,042 \cdot 10^5$ кг/см²; $G = 0,075 \cdot 10^5$ кг/см²; $\nu_1 = 0,24$; $\nu_2 = 0,01$ при $W_K = 8\%$).

Результаты расчетов представлены на рис. 2.1. В работе приводятся рекомендации по расстановке прокладок в штабеле для сосновых пиломатериалов.

3. РАСЧЕТ УСИЛИЙ ПРИЛИМА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ПРИ СУШКЕ

Предлагается метод расчета, позволяющий по механическим характеристикам древесины, геометрическим размерам пиломатериалов, лагу расстановки прокладок и некоторым экспериментальным данным определить усилия прижима, необходимые для обеспечения плотного прилегания досок к прокладкам в течение всего процесса сушки.

Потребные усилия прижима для доски определяются как сумма усилий, приложенных к прокладкам и устраняющих зазоры

между прокладками и доской, имеющей при конечной влажности сучки W_K некоторую расчетную стрелу коробления f_p . Расчетная стрела коробления принимается равной

$$f_p = \alpha_K \cdot F_{\max} \quad (3.1)$$

где F_{\max} - максимальная стрела структурного коробления при данной ширине доски и влажности W_K , определяемая следующей формулой:

$$F_{\max} = \frac{\pi}{2} (W_{nr} - W_K) (K_0 - K_2) b \quad (3.2)$$

α_K - коэффициент, определяемый экспериментально и равный

$$\alpha_K = \frac{P_{CT}}{P_{CB}} \quad (3.3)$$

где P_{CT} - максимальное усилие коробления во время сушки образца до влажности W_K при стеснении коробления;
 P_{CB} - усилие, выпрямляющее образец, сушка которого производилась при свободном короблении до влажности W_K .

Практическое определение коэффициента α_K для древесины сосны содержится в экспериментальной части настоящей работы.

Решая задачу, как и в разделе 2, вариационным методом Л. В. Канторовича, получим следующие выражения для нагрузок на прокладку в первом и втором приближениях:

$$P_n^I = \frac{96 D_{II} a}{p^2 + q^2} \left[C_1 (p \bar{\Phi}_3 + q \bar{\Phi}_4) + C_2 (p \bar{\Phi}_4 - q \bar{\Phi}_3) \right] \quad (3.4)$$

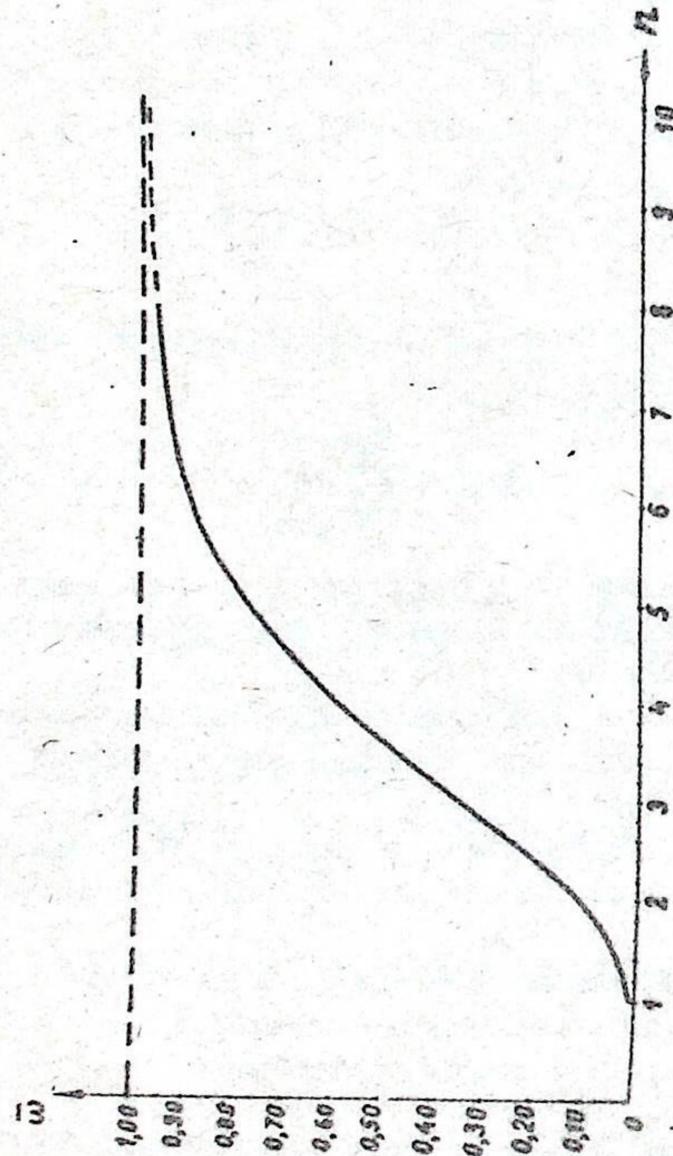


Рис. 2.1. График зависимости эффективной шага расстановки прокладок $\bar{\omega}$ от отношения l длины панели к ширине доски (сосна).

$$P_n^{\text{II}} = 768 D_{11} a \left[\frac{1}{\alpha} C_1'' \bar{\psi}_3 + \frac{1}{\beta} C_2'' \bar{\psi}_4 + \right. \\ \left. + \frac{2}{\gamma^2 + \delta^2} C_3'' (\gamma \bar{\phi}_3 + \delta \bar{\phi}_4) + \right. \\ \left. + \frac{2}{\gamma^2 + \delta^2} C_4'' (\gamma \bar{\phi}_4 - \delta \bar{\phi}_3) \right], \quad (3.5)$$

где

$$D_{11} = \frac{E_1 h^3}{12(1-\nu_1\nu_2)}, \quad (3.6)$$

$$P, q, \alpha, \beta, \gamma, \delta, C_1, C_1'', C_2'', \\ C_3'', C_4'', \bar{\phi}_3, \bar{\phi}_4, \bar{\psi}_3, \bar{\psi}_4, \bar{\phi}_3, \bar{\phi}_4$$

являются функциями упругих постоянных, геометрических размеров панели и расчетной стрелы коробления f_p , определяемой выражением (3.1).

Нагрузка на штабель определится следующим образом:

$$P_{\text{ш}} = s \cdot n \cdot P_n, \quad (3.7)$$

где P_n - нагрузка, приходящаяся на одну прокладку;
 n - количество прокладок;
 s - количество рядов пиломатериалов в штабеле в плане.

Более простое решение этой же задачи было получено из рассмотрения доски как ортотропной пластины, изгибаемой сосредоточенными моментами M_0 в местах постановки прокладок (рис. 3.1). Величина M_0 подбиралась таким образом, чтобы прогиб посередине ширины доски в местах постановки прокладок был равен расчетному, определяемому выражением

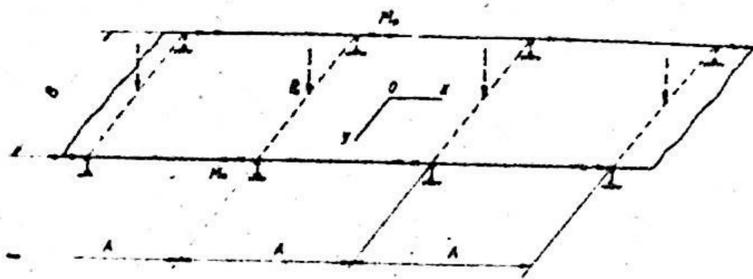


Рис. 3.1. Расчетная схема

(3.1). Сосредоточенные моменты M_o и нагрузка на прокладку P_n связаны следующей зависимостью:

$$M_o = \frac{P_n B}{6}, \quad (3.8)$$

которая была получена из равенства прогибов посередине пролета балки на двух опорах, загруженной в одном случае сосредоточенными моментами M_o по концам, в другом усилием P_n посередине пролета длиной B . Величина нагрузки на прокладку P_n оказалась равной:

$$P_n = \frac{48 f_p D_{22}}{K_n B^2}, \quad (3.9)$$

где K_n - коэффициент, зависящий от упругих постоянных доски и отношения n шага расстановки прокладок к ширине доски;
 B - ширина доски.

Подставляя в (3.9) выражения (3.1) и (2.4), получим:

$$P_n = \frac{\alpha_k \pi (W_{пр} - W_k) (K_e - K_z) E_2 h^3}{K_n B (1 - \nu_1 \nu_2)}. \quad (3.10)$$

Принимая для сосновых пиломатериалов $W_{пр} = 29\%$, $W_k = 8\%$, $K_z = 17 \cdot 10^{-4}$, $K_e = 28 \cdot 10^{-4}$; $E_2 = 0,042 \cdot 10^7$ кг/см², $\nu_1 = 0,24$, $\nu_2 = 0,01$ при $W_k = 8\%$, формулу (3.10) можно записать в следующем виде:

$$P_n = 3,05 \cdot 10^2 \frac{\alpha_k h^3}{K_n B}. \quad (3.11)$$

Количество панелей в 1 м² площади штабеля в плане (без учета шпаций) равно

$$\bar{n} = \frac{10^4}{A \cdot B} = \frac{10^4}{n B^2}, \quad (3.12)$$

где A - шаг расстановки прокладок; нагрузка на 1 м² площади штабеля в плане

$$P_M = \bar{n} P_n. \quad (3.13)$$

Подставляя (3.11) и (3.12) в (3.13), находим:

$$P_M = 3,05 \cdot 10^6 \frac{\alpha_k}{\psi_n} \left(\frac{B}{h}\right)^{-3}, \quad (3.14)$$

где

$$\psi_n = n K_n. \quad (3.15)$$

В работе приводятся численные значения ψ_n для сосновых пиломатериалов в зависимости от n . Умножив выражение (3.14) на площадь штабеля в плане $F_{ш}$, получим нагрузку на штабель:

$$P_{ш} = P_M \cdot F_{ш}. \quad (3.16)$$

Результаты вычислений по формуле (3.14) при определенных в главе У1 для сосновых пиломатериалов значениях коэффициента α_k в зависимости от температуры сушки t_c при $B/h = 10$ и $n = 4$ ($\psi_n = 1,88$) приведены в

таблице 3.1.

Таблица 3.1

t_c	°C	60	80	100
P_m	кг/м ²	280	310	310

4. КОРОБЛЕНИЕ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

После сушки в пиломатериалах появляются некоторые остаточные напряжения. Экспериментальный метод количественного определения остаточных напряжений разработан Б.Н. Уголевым. Им показано также, что даже длительное выдерживание на складах хвойных пиломатериалов, высушенных до влажности 10-11%, не снижает величины остаточных напряжений. Аналогичный вывод в отношении твердых лиственных пород был сделан Н.Н. Чулицким. Остаточные напряжения являются причиной коробления пиломатериалов при механической обработке.

В настоящей работе установлены количественные зависимости между величиной остаточных напряжений и короблением пиломатериалов при удалении в результате механической обработки слоя (слоев) заданной толщины. Эпюра остаточных напряжений (рис. 4.1, б), определяемая экспериментально, аппроксимировалась квадратичной параболой следующего вида:

$$\sigma_z = A \left(z^2 - \frac{h^2}{12} \right). \quad (4.1)$$

Коэффициент A в (4.1) определяется заданием напряжения σ_n или σ_c (рис. 4.1, б), которые, как следует из (4.1), связаны следующим образом:

$$\sigma_n = -2\sigma_c. \quad (4.1)'$$

При односторонней механической обработке (удалении слоя толщиной δ - рис. 4.1, а) получено следующее выраже-

ние для определения стрелы коробления:

$$f_k = \frac{\sigma_c b^2 h^2}{2\bar{D}_{22}} \left\{ \kappa [(\lambda-1) + e^{-2\lambda} (\lambda+1)] - 16\lambda^3 \right\}, \quad (4.2)$$

где $2b$ - ширина доски,
 h - ее толщина,

$$\left. \begin{aligned} \bar{D}_{22} &= \frac{E_2 (h-\delta)^3}{12(1-\nu_1\nu_2)}; \quad \kappa = (1 - e^{-1} - e^{-\frac{1}{2}})^{-1}; \\ \lambda &= \frac{h-\delta}{2h}; \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

E_2, ν_1, ν_2 - модуль упругости доски в поперечном направлении и соответствующие коэффициенты Пуассона при конечной влажности сушки.

В работе дано приложение полученного результата для некоторых технологических расчетов.

При двухсторонней асимметричной механической обработке для определения стрелы коробления получена следующая формула:

$$f_k = \frac{\sigma_c b^2 h^2}{2\bar{D}_{22}} \left\{ \kappa [(\gamma-1) + e^{-2\gamma} (\gamma+1)] - 16\gamma^3 \right\}, \quad (4.4)$$

где

$$\bar{D}_{22} = \frac{E_2 [h - (\delta_1 + \delta_2)]^3}{12(1-\nu_1\nu_2)}, \quad \gamma = \frac{h - (\delta_2 - \delta_1)}{2h}, \quad (4.5)$$

δ_1, δ_2 - толщины слоев, снимаемых в процессе механической обработки ($\delta_2 > \delta_1$).

Если $\delta_1 = \delta_2 = \delta$, то при распределении остаточных напряжений, определяемом формулой (4.1), коробление доски не происходит, а величина остаточных напряжений уменьшается. В

Этом случае получены следующие зависимости между величинами остаточных напряжений до и после механической обработки:

$$\sigma'_c = \alpha \sigma_c [0,5\beta^{-1}(e^\beta - e^{-\beta}) - 1], \quad (4.6)$$

$$\sigma'_n = \sigma_c \{ \alpha [0,5\beta^{-1}(e^\beta - e^{-\beta}) - e^\beta] + 24\beta \}, \quad (4.7)$$

где σ'_c, σ'_n - величина остаточных напряжений соответственно в центре и на поверхности доски после механической обработки;

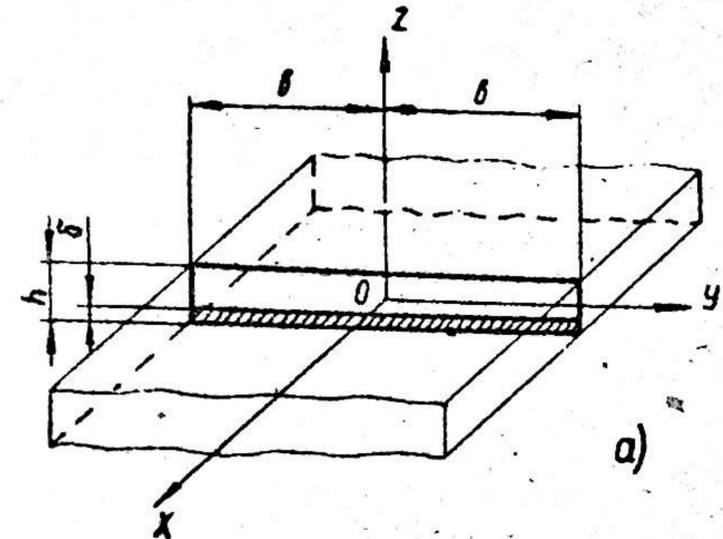
$$\alpha = (e^{\frac{1}{2}} - e^{-\frac{1}{2}} - 1)^{-1}; \quad \beta = \frac{h-2\delta}{2h}. \quad (4.8)$$

Численные результаты, приведенные в работе, свидетельствуют о том, что симметричная двухсторонняя обработка позволяет существенно уменьшить величину остаточных напряжений только при больших толщинах удаляемых в процессе механической обработки слоев.

5. КОРОБЛЕНИЕ ДВЕРЕК КОРПУСНОЙ МЕБЕЛИ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ВЛАЖНОСТИ ПО ИХ ТОЛЩИНЕ

Дверки корпусной мебели представляют собой древесностружечные плиты, фанерованные с обеих сторон шпоном. При решении задачи о короблении дверки рассматривается как трехслойные симметричные пластинки (рис. 5.1).

При этом принято, что шпон представляет собой однородный ортотропный материал, а древесностружечная плита - изотропный в ее плоскости материал. В предложенном решении учитывается изменение постоянных упругости шпона и древесностружечной плиты в зависимости от влажности.



Эпюра σ_z

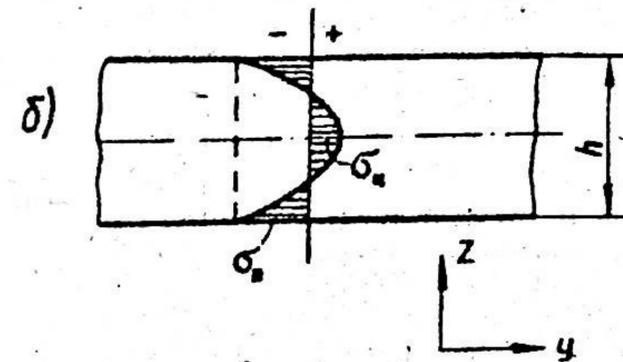


Рис. 4.1. Расчетная схема доски (а) и эпюра остаточных напряжений (б).

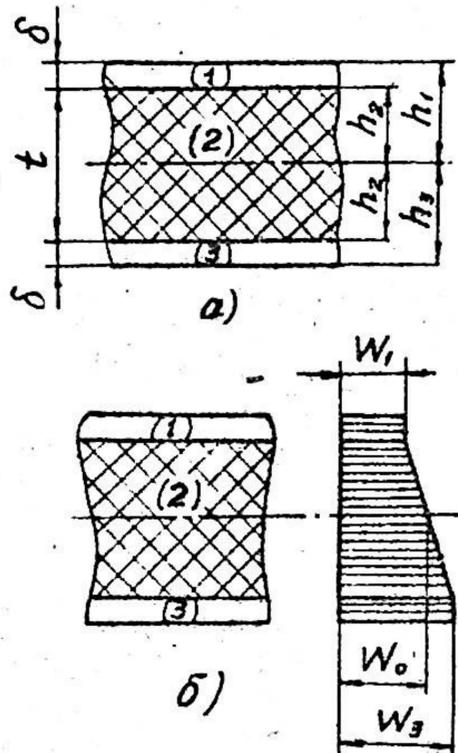


Рис. 5.1. Размеры дверки (а) и эпюра распределения влажности (б) по ее толщине.

6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИЙ КОРЮБЛЕНИЯ

При расчете усилий прижима пиломатериалов при сушке был введен коэффициент уменьшения усилий корюбления α_k , определяемый выражением (3.3). Введение коэффициента α_k позволяет при определении усилий прижима учесть ползучесть древесины при переменных температурно-влажностных условиях сушки и свести таким образом сложную задачу теории ползучести к упругой задаче. В выражение (3.3) входят максимальное усилие корюбления образца $P_{ст}$ и усилие $P_{св}$, распрямляющее образец, находившийся при сушке в свободном, без наложения связей, состоянии. Нахождение усилия $P_{ст}$

и $P_{св}$, а по ним, в соответствии с (3.3), коэффициента α_k и представляло задачу исследования. Для проведения экспериментальных исследований усилий корюбления была разработана установка, схема которой представлена на рис.6.1.

Нагревание воздуха осуществляется калорифером 2 сушильного шкафа I. Регулирование температуры нагрева производится ресстатом сушильного шкафа. Для обеспечения равномерной температуры по объему рабочей камеры 4 используется вентилятор 3. Состояние среды рабочей камеры контролируется "сухим" (8) и "мокрым" (7) термометрами. Для установки испытуемого образца II в рабочей камере размещены опоры 10, расстояние между которыми равно 140 мм.

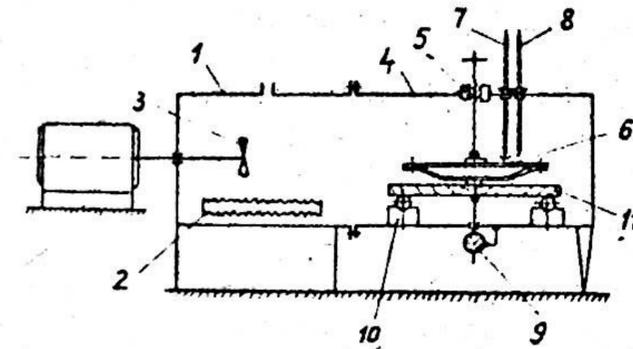


Рис.6.1. Схема экспериментальной установки:

- I - сушильный шкаф ШС-150; 2 - калорифер;
- 3 - вентилятор; 4 - рабочая камера;
- 5 - винтовая пара; 6 - упругий элемент силоизмерителя; 7 - "мокрый" термометр;
- 8 - "сухой" термометр; 9 - индикатор;
- 10 - опоры; II - образец.

Измерение прогибов образцов производится индикатором часового типа 9 с ценой деления 0,01 мм. Усилия, препятствующие корюблению образца, создаются с помощью винтовой пары 5 и передаются на образец через упругий элемент силоизмерителя 6. Для измерения усилий корюбления использовалась тензометрическая схема с проволочными датчиками сопротивления.

Исследовались усилия корюбления образцов из древесины сосны как одной из наиболее распространенных пород. Из края выпиливались симметрично расположенные относительно диаметральной плоскости края доски шириной 170 мм и толщи-

ной 20 мм, которые затем обрабатывались на рейсмусном станке для получения гладкой поверхности пластей до толщины 14 мм. Доски далее высушивались при температуре 20°C до влажности 8-10% в свободном, без наложения связей, состоянии и в результате сушки коробились. Из досок выпиливались поперечные образцы размером 14 x 28 x 170 мм, кромки которых после распиловки тщательно зачищались. Для испытаний отбирались "чистые", без пороков, образцы. Далее образцы устанавливались на опоры рабочей камеры и определялось усилие $P_{св}$, распрямляющее образец (в предположении линейной зависимости между усилием и прогибом).

После определения нагрузки $P_{св}$ образцы увлажнялись до влажности 50-60% и устанавливались на опоры рабочей камеры. Одинаковость установки образца на опоры рабочей камеры до и после увлажнения обеспечивалась рисками, нанесенными на образец и силоизмеритель. Далее фиксировался нулевой отсчет по индикатору и образец подвергался сушке до влажности 6-8% в условиях стеснения коробления, которое создавалось винтовым прижимом через упругий элемент силоизмерителя. В процессе сушки допускалось отклонение от начального показания индикатора $\pm 0,02$ мм, после чего с помощью винтового прижима образец нагружался или разгружался до возвращения к исходному показанию индикатора.

При сушке в стесненном состоянии определялось максимальное усилие коробления образца $P_{ст}$ и затем в соответствии с (3.3) находилась величина коэффициента уменьшения усилий коробления α_k . Результаты экспериментов при различных температурах сушки t_c представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1

t_c	$^{\circ}C$	60	80	100
	α_k	0,174	0,189	0,190

При каждой температуре сушки было исследовано по 12 образцов. Показатель точности во всех случаях не превышает 5%, как это рекомендуется для исследований, связанных с изучением физико-механических свойств древесины. Плотность древесины,

сосны, использованной для изготовления образцов, составила $\rho_{15} = 440$ кг/м³ (при влажности $W = 15\%$).

Приведенные в таблице 6.1 значения коэффициента α_k определены при отношении

$$\frac{B}{h} = 10,$$

где B - ширина доски, равная расстоянию между опорами экспериментальной установки (140 мм);
 h - толщина доски, равная толщине образца (14 мм).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В настоящей работе рассмотрены некоторые вопросы, связанные с короблением пиломатериалов и изделий из древесины.

Основные результаты проведенных исследований и следующие из них выводы можно сформулировать следующим образом:

1. Получены точное и приближенное решения задачи структурного коробления поперечных сечений деревянных элементов.
2. Погрешность приближенного решения по отношению к точному при сушке сортиментов до влажности 8% не превосходит 4%.
3. Напряжения в поперечных сечениях сортиментов при равномерном распределении влажности отсутствуют только в том случае, когда все годовые кольца в сечении перерезаны.
4. Проведенный анализ подтвердил правильность формулы П.А.Афанасьева (1879 г.) для определения стрелы коробления пиломатериалов; решения задачи коробления К.И.Коленчука (1950 г.) и В.А.Шевченко и М.Н.Феллера (1963 г.) оказались неточными.
5. Введена характеристика эффективности шага расстановки прокладок в штабеле при камерной сушке пиломатериалов ω , представляющая собой отношение стрелы коробления пиломатериалов при стесненном короблении к стреле коробления при свободном, без наложения связей, короблении.

6. Разработан метод расчета, позволяющий по допускаемой стреле коробления пиломатериалов определить необходимый шаг расстановки прокладок.

7. При шаге расстановки прокладок, равном ширине пиломатериала, практически полностью исключается коробление ($w = 0,009$). Если шаг расстановки прокладок превышает в 8 раз ширину пиломатериала, то наличие прокладок не влияет на величину поперечного коробления (при $n = 8$ $w = 0,982$) (для сосновых пиломатериалов).

8. Разработан метод расчета усилий прижима пиломатериалов при сушке, учитывающий передачу усилий прижима через прокладки.

9. Получены уравнения для определения стрелы поперечного коробления пиломатериалов при односторонней и двухсторонней асимметричной механической обработке (коробление вследствие остаточных напряжения сушки), позволяющие производить необходимые технологические расчеты.

10. Значительное уменьшение величины остаточных напряжений при двухсторонней симметричной механической обработке достигается только при больших толщинах удаляемых слоев. Поэтому механическая обработка не является эффективным способом уменьшения остаточных напряжений.

11. Получено уравнение коробления дверок корпусной мебели, которое позволяет произвести анализ влияния размеров дверки по толщине и в плане на величину коробления.

12. Для сосновых пиломатериалов усилия прижима при сушке должны составлять примерно 300 кг на 1 м^2 площади штабеля в плане.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Г.Г.Петрухин. Коробление поперечных сечений деревянных элементов. Сборник работ МЛТИ № 35 "Исследование прочности и жесткости мягкой и корпусной мебели, коробления и качества пиломатериалов, устойчивости рамных и дисковых пил", Москва, 1970.

2. Г.Г.Петрухин. К вопросу расстановки прокладок в штабеле при камерной сушке пиломатериалов. Там же.

3. Г.Г.Петрухин. К расчету усилий прижима пиломатериалов при сушке. Там же.

4. Г.Г.Петрухин. Коробление пиломатериалов при механической обработке. Там же.