

УДК 630*812

В.Н. ВОЛЫНСКИЙ

Архангельский государственный технический университет

Волынский Владимир Николаевич родился в 1938 г., окончил в 1960 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры деревообработки Архангельского государственного технического университета. Имеет свыше 70 публикаций в области древесиноведения (прочность и упругость древесины, взаимосвязь показателей) и склеивания древесины.



ВЛИЯНИЕ НАКЛОНА ВОЛОКОН НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДРЕВЕСИНЫ

Оценено влияние наклона волокон на показатели механической прочности древесины и предложена упрощенная зависимость, основанная на средних значениях прочности и модуля упругости поперек волокон в долях от показателей вдоль волокон.

The effect of fibers pitch on stress-strain properties of wood has been estimated. A reduced function based on mean values of strength and modulus of elasticity across the grain in units against the indices that of along the grain has been put forward.

Наклон волокон древесины – существенный фактор, обуславливающий ее анизотропию. Например, показатели прочности и жесткости древесины вдоль волокон примерно в 20–30 раз выше, чем поперек.

Теоретически этот вопрос достаточно хорошо рассмотрен в работе Е.К. Ашкенази [1], где древесину считают ортотропным материалом, имеющим три оси симметрии – с продольным, радиальным и тангенциальным направлениями вдоль волокон. Для практических целей можно не делать различия между радиальными и тангенциальными направлениями, т. е. считать древесину трансотропным материалом с двумя осями симметрии. Это позволяет значительно упростить аналитические выражения в теории упругости анизотропного тела.

Согласно [2], расчетная зависимость имеет вид

$$\frac{E_{\alpha}}{E_0} = \frac{1}{\cos^4 \alpha + b \sin^2 2\alpha + c \sin^4 \alpha}, \quad (1)$$

где E_{α} , E_0 – соответственно модули упругости древесины в направлении под углом α к направлению волокон и вдоль волокон;

$$b = \frac{E_0}{E_{45}} - \frac{1+c}{4};$$

E_{45} – модуль упругости при $\alpha = 45^\circ$;

$$c = E_0 / E_{90};$$

E_{90} – модуль упругости поперек волокон при $\alpha = 90^\circ$.

Совершенно аналогично выглядит зависимость и для пределов прочности σ . Следовательно, для расчета E или σ под углом α к направлению волокон необходимо знать эти параметры при $\alpha = 0; 45; 90^\circ$.

Некоторые справочные данные для древесины березы представлены в табл. 1 [1].

Таблица 1

Показатели	Значение показателей для испытаний	
	на сжатие	на растяжение
σ_0	76,7 / 100,0	163,6 / 100,0
σ_{45}	37,3 / 49,0	15,0 / 8,9
σ_{90}	7,2 / 9,4	7,3 / 4,4

Примечание. В числителе приведены данные в мегапаскалях, в знаменателе – в процентах.

Как видно из табл. 1, прочность при сжатии поперек волокон составляет всего 9,4 % от прочности при сжатии вдоль волокон. Поэтому даже небольшой косослой в образцах способен заметно снизить значение этого показателя. При растяжении влияние анизотропии на прочность древесины выражено еще сильнее: поперек волокон прочность составляет 4,4 % от значения $[\sigma]$ вдоль волокон. Поскольку прочность при изгибе определяется главным образом прочностью при растяжении, то можно полагать, что при изгибе и растяжении влияние косослоя идентично.

В работе [4, с. 612] дана формула, учитывающая модули упругости только вдоль и поперек волокон:

$$\frac{1}{E_\alpha} = \frac{1}{E_0} \cos^n \alpha + \frac{1}{E_{90}} \sin^n \alpha. \quad (2)$$

При испытании на изгиб $n = 3$.

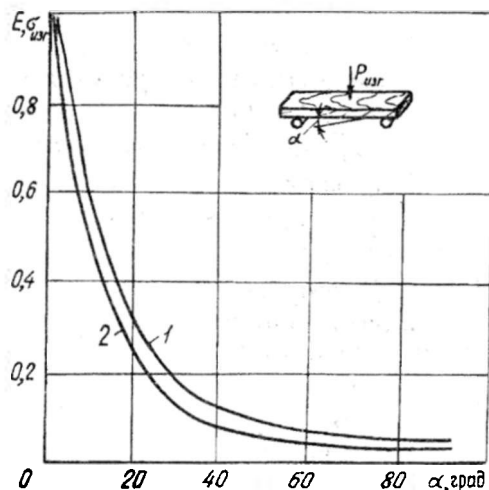
Существуют аналогичные зависимости для пределов прочности при растяжении и сжатии древесины под различными углами между направлением силы и направлением волокон (формула Р. Баумана [4]):

$$\sigma_\alpha = \frac{\sigma_0 \sigma_{90}}{\sigma_0 \sin^n \alpha + \sigma_{90} \cos^n \alpha}, \quad (3)$$

где $n = 1,5 \dots 2,0$ – при растяжении, $n = 2,5$ – при сжатии.

Совместный график, показывающий влияние угла α в диапазоне от 0 до 90° на E и предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$, приведен на рис. 1.

Рис. 1. Зависимость модуля упругости E (1) и предела прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ (2) от угла наклона волокон α ($P_{изг}$ – изгибающая сила)



Согласно ГОСТ 8486 – 66, в досках третьего сорта допускается наклон волокон до 12 %, т. е. до 6,84 °. Для практических целей вышеприведенные формулы неудобны, так как содержат величины, требующие дополнительного определения (σ_{90} , σ_0), и охватывают большой диапазон изменения α . Реально этот параметр не выходит за 6 ... 8 °, поэтому искомые зависимости можно упростить.

Для того, чтобы в зависимостях (2), (3) иметь только один неизвестный параметр α , примем σ_0 и E_0 за единицу, а σ_{90} и E_{90} выразим в долях единицы как средние значения отношений σ_{90} / σ_0 и E_{90} / E_0 .

Тогда зависимость механических показателей древесины y_α от угла наклона волокон можно представить в общем виде в долях от показателя прямослойной древесины ($y_0 = 1$):

$$y_\alpha = \frac{y_{90}}{\sin^n \alpha + y_{90} \cos^n \alpha} \quad (4)$$

где y_{90} – показатель в направлении поперек волокон ($\alpha = 90^\circ$).

Анализ баз данных [3] выявил, что отношения σ_{90} / σ_0 и E_{90} / E_0 не коррелируют с плотностью древесины. Отношение E_{90} / E_0 в среднем составило 0,062 при вариационном коэффициенте $v = 21\%$.

Для оценки функции $\sigma_{изг}(\alpha)$ выбрано отношение предела прочности при растяжении поперек волокон к пределу прочности при изгибе $\sigma_{изг}$.

Эта величина для хвойных и лиственных пород соответственно составила 0,042 при $v = 27,5\%$ и 0,076 при $v = 23,2\%$.

Показатель n при изгибе, согласно [3], для предела прочности равен 2,0, для модуля упругости – 3,0. Однако это касается случая измерения наклона волокон по пласти образца. Для практики более важен другой случай, когда имеет место наклон волокон по кромке образца, т. е. в направлении действия нагрузки. Его влияния будет еще более сильным, так как отклонение волокон от продольного направ-

ления усиливает опасность раскалывания древесины в местах перерезания волокон.

В специальной литературе отсутствуют данные о прямой экспериментальной проверке влияния угла наклона волокон на пределы прочности древесины. В связи с этим нами предпринята попытка оценить влияние этого фактора на предел прочности и модуль упругости в опытах на изгиб.

При проведении экспериментов использовали образцы из древесины сосны размером $400 \times 50 \times 16$ мм, влажностью 6 ... 8 % и трехточечную схему изгиба с пролетом 340 мм. Перед испытаниями у каждого образца определяли плотность древесины, а также наклон волокон по пласти и кромке. Всего испытано более 100 образцов, из которых 34 образца с заметными отклонениями волокон от продольного направления по кромке отобраны для последующего анализа.

Полученные значения показателей E и $\sigma_{изг}$ позволили плотность образцов привести к среднему значению, что исключило влияние этого фактора. Процедура приведения предусматривала определение уравнения связи $\sigma_{изг}$ и E с плотностью древесины и расчет поправочных коэффициентов на плотность.

Результаты испытаний показаны на рис. 2.

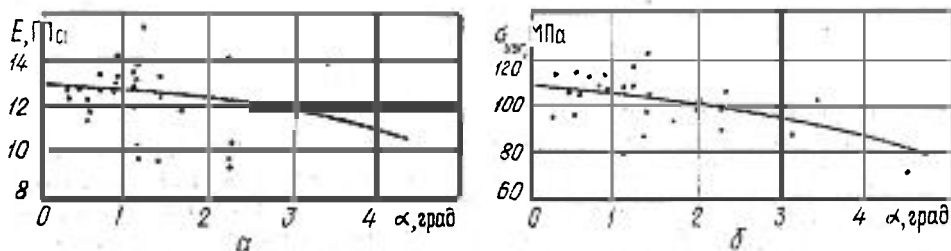


Рис. 2. Экспериментальные данные (точки) и расчетная зависимость модуля упругости (а) и предела прочности при изгибе (б) при малых углах наклона α

Максимальный угол наклона волокон к продольной оси образца составил около 4° . Исходя из экспериментальных данных установлено, что фактическое снижение прочности, как и ожидалось, больше рассчитанного по формуле (3). Подбор показателя степени n показал, что его величина должна быть равна примерно 1,75.

На основании известных литературных данных и собственных экспериментов в табл. 2 приведены примерные значения коэффициентов формулы (4), позволяющей учесть влияние угла наклона волокон на показатели чистой древесины.

Указанные в табл. 2 величины являются эмпирическими и вероятностными с коэффициентами вариации 20 ... 25 %. Расчетные коэффициенты имеют погрешность, которая увеличивается с ростом α . При малых углах (до 5°) погрешность результатов, полученных по формуле (3), составляет примерно $\pm 10\%$ при вероятности 0,9.

Таблица 2

Показатели древесины	n	У ₉₀	
		Хвойная	Лиственная
Предел прочности при растяжении	2,00	0,04	0,075
Предел прочности при изгибе:			
косослой по ширине	2,00	0,04	0,075
косослой по толщине	1,75	0,04	0,075
Предел прочности при сжатии	2,50	0,10	-
Модуль упругости при изгибе:			
косослой по ширине	3,00	0,06	-
косослой по толщине	1,75	0,06	-

Из проведенных опытов и расчетов следует, что для более точной оценки прочности при изгибе следует обращать внимание на наклон волокон как по пласти, так и по кромке образца. Для прочностной сортировки пиломатериалов путем замера модуля упругости при изгибе имеет значение тот факт, что влияние наклона волокон на модуль упругости и предел прочности при изгибе отличаются несущественно (см. рис. 1). Поэтому при оценке предела прочности по модулю упругости можно не вводить специальных поправочных коэффициентов на наличие косослоя в сортаментах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Ашкенази Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов. - М.: Лесн. пром-сть, 1978. - 224 с. [2]. Ашкенази Е.К., Ганов Э.В. Анизотропия конструкционных материалов. Справочник. - 2-е изд. - Л.: Машиностроение, 1980. - 248 с. [3]. Справочное руководство по древесине: Пер. с англ. - М.: Лесн. пром-сть, 1979. - 544 с. [4]. Kollmann F. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Bd. 1. - Berlin, 1951. - 1050 s.

Поступила 26 июня 1995 г.