

стержня. - 25-я науч.- техн. конф. Белорусск. политехн. ин-та. Мат-лы секции строительной механики. Минск, 1969. 3. Набор программ для ЭЦВМ "Мир". Под ред. В.М. Глушкова и др. Т. II. кн.1У. Киев, 1973.

С.С. Макаревич, Г.М. Хвесько

АНИЗОТРОПИЯ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПРИ СЖАТИИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

В настоящее время ведутся широкие исследования по модификации древесины различных пород полимерами, не проникающими в стенки клеток древесины. Для разных отраслей народного хозяйства требуется модифицированная древесина с определенными физико-механическими свойствами, которые в значительной степени зависят от количества введенного в древесину полимера. Экспериментальное изучение анизотропии упругих свойств модифицированной древесины при различных коэффициентах пропитки k [4] является очень трудоемким.

В данной работе показана возможность теоретических исследований анизотропии упругих свойств модифицированной древесины с использованием метода структурного анализа. В практике наиболее часто встречаются случаи, когда направление сжимающего усилия расположено в продольно-радиальной и продольно-тангенциальной плоскостях структурной симметрии древесины. В соответствии с этим в настоящей работе рассматривается изменение модуля упругости, когда происходит сжатие модифицированной древесины при отклонении сжимающего усилия от продольного направления именно в этих плоскостях.

Для указанных случаев формулы, определяющие зависимость $E^* = f(\alpha)$, имеют следующий вид [1]:

$$\frac{1}{E_{ar}^*(\alpha)} = \frac{\cos^4 \alpha}{E_a^*} + \left(\frac{1}{G_{ar}^*} - \frac{2M_{ar}^*}{E_a^*} \right) \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha + \frac{\sin^4 \alpha}{E_r^*}; \quad (1)$$

$$\frac{1}{E_{at(\alpha)}^*} = \frac{\cos^4 \alpha}{E_a^*} + \left(\frac{1}{G_{at}^*} - \frac{2M_{at}^*}{E_a^*} \right) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + \frac{\sin^4 \alpha}{E_t^*} \quad (2)$$

Звездочка (*) при величинах, входящих в формулы, означает, что они являются характеристиками модифицированной древесины. Модули упругости модифицированной древесины, пропитанной полимером, не проникающим в стенки клеток, в главных направлениях определяются по характеристикам исходных компонентов [2, 5]:

$$E_a^* = E_{ac} + k(E_{ap} - E_{ac}) + m_{\Pi} E_H k; \quad (3)$$

$$E_r^* = E_r + \frac{2,63(1-\eta_2)(1-\sqrt{1-k})E_H E_r}{(1-\eta_1)(1,85+0,78\sqrt{1-k})E_r + 1,42\eta_1\eta_2 E_H}; \quad (4)$$

$$E_t^* = E_t + \frac{2,63(1-\eta_1)(1-\sqrt{1-k})E_H E_t}{(1-\eta_2)(1,85+0,78\sqrt{1-k})E_t + 1,42\eta_1\eta_2 E_H}; \quad (5)$$

где E_{ac} , E_{ap} - модули упругости натуральной древесины вдоль волокон при сжатии и растяжении; E_r , E_t , E_H - модули упругости натуральной древесины в радиальном и тангенциальном направлениях и наполнителя; k - коэффициент пропитки древесины [4]; η_1 , η_2 - коэффициенты, равные [5]:

$$\eta_1 = \frac{E_r + E_t - \sqrt{(E_r - E_t)^2 + 4E_r E_t m_{\Pi}}}{2E_r};$$

$$\eta_2 = \frac{E_r + E_t - \sqrt{(E_r - E_t)^2 + 4E_r E_t m_{\Pi}}}{2E_t}.$$

Здесь m_{Π} - коэффициент пористости натуральной древесины. В данном случае древесина березы ($\rho = 0,605 \text{ г/см}^3$ при $w = 0\%$, $E_{ac} = 18,76 \cdot 10^4 \text{ кгс/см}^2$, $E_{ar} = 22,47 \cdot 10^4 \text{ кгс/см}^2$, $E_r = 1,01 \cdot 10^4 \text{ кгс/см}^2$, $E_t = 0,58 \cdot 10^4 \text{ кгс/см}^2$ при $w = 6\%$, $m_{\Pi} = 0,607$) была пропитана смолой ПН-1 ($E_H = 2,61 \cdot 10^4 \text{ кгс/см}^2$, $k = 0,85$). Модули сдвига для модифицированной древесины можно получить по формулам [3]:

$$G_{ar}^* = G_{ar} + (1 - \eta_2) \frac{G_{at} G_H (1 - \sqrt{1 - k})}{G_{at} (1 - \eta_1) + G_H \eta_1^2}, \quad (6)$$

$$G_{at}^* = G_{at} + (1 - \eta_1) \frac{G_{ar} G_H (1 - \sqrt{1 - k})}{G_{ar} (1 - \eta_2) + G_H \eta_2^2}, \quad (7)$$

где G_{ar} , G_{at} , G_{ar}^* , G_{at}^* - модули сдвига в продольно-радиальном и продольно-тангенциальном направлениях для натуральной и модифицированной древесины; G_H - модуль сдвига наполнителя.

Для натуральной древесины березы модули сдвига, полученные экспериментально, оказались $G_{ar} = 1,389 \cdot 10^4 \text{ кгс/см}^2$, $G_{at} = 0,752 \cdot 10^4 \text{ кгс/см}^2$. Модуль сдвига смолы ПН-1 в соответствии с E и коэффициентом Пуассона $\mu_H = 0,35$ оказался $G_H = 0,967 \cdot 10^4 \text{ кгс/см}^2$.

Коэффициент Пуассона для модифицированной древесины и наполнителя вычисляются по следующим зависимостям [3]:

$$\mu_{ar}^* = \frac{B E_a (1 - A_1) + A_1 E_H m_{\Pi} k (1 - B)}{B \mu_{ar} E_r + A_1 \mu_H E_H m_{\Pi} k}; \quad (8)$$

$$\mu_{at}^* = \frac{B E_a (1 - A_2) + A_2 E_H m_{\Pi} k (1 - B)}{B \mu_{at} E_t + A_2 \mu_H E_H m_{\Pi} k}, \quad (9)$$

где $A_1 = 1 - \mu_{ar}^2 \frac{E_r}{E_a}$; $A_2 = 1 - \mu_{at}^2 \frac{E_t}{E_a}$; $B = 1 - \mu_H^2$.

Для натуральной древесины березы коэффициенты Пуассона приняты [1]: $\mu_{ar} = 0,49$, $\mu_{at} = 0,43$.

Таблица 1.

α°	$E_{ar}^*(\alpha) \cdot 10^{-4}$, кгс/см ² теоретические	$E_{ar}^*(\alpha) \cdot 10^{-4}$, кгс/см ² опытные	Процент отклонения	$E_{at}^*(\alpha) \cdot 10^{-4}$, кгс/см ² теоретические	$E_{at}^*(\alpha) \cdot 10^{-4}$, кгс/см ² опытные	Про- цент откло- нения
0	23,26	22,00	5,73	23,26	22,00	5,73
10	17,20	16,70	3,00	15,70	14,78	6,23
20	11,80	10,70	10,28	9,85	9,00	9,45
30	7,06	6,56	7,63	5,62	5,41	3,89
45	4,29	4,26	0,70	3,53	3,37	4,75
90	2,54	2,88	-14,75	2,46	2,64	-6,82

Вычисленные по формулам (1) – (9) значения модулей упругости древесины березы, модифицированной смолой ПН-1, при сжатии под различными углами к волокнам в продольно-радиальной и продольно-тангенциальной плоскостях и опытные данные приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что теоретические значения модулей упругости при разных углах наклона сжимающего усилия к волокнам хорошо согласуются с полученными данными. Это подтверждает возможность определять упругие характеристики модифицированной древесины в любом направлении через упругие характеристики исходных компонентов (натуральной древесины и наполнителя) и коэффициент пропитки.

Л и т е р а т у р а

1. Ашкенази Е.К., Ганов Э.В. Анизотропия конструкционных материалов. Л., 1972.
2. Макаревич С.С., Любецкий Д.И. Определение модуля упругости модифицированной древесины при сжатии. – В сб.: Модификация древесины синтетическими полимерами. Минск, 1973.
3. Макаревич С.С. Исследование упругих характеристик модифицированной древесины с целью использования ее как конструкционного материала. – В сб.: Рациональное и комплексное использование древесины в деревообрабатывающей промышленности. Минск, 1974.
4. Хвьесько Г.М., Любецкий Д.И. О количественной оценке пропитки древесины. – В сб.: Механизация лесоразработок и транспорт леса. Минск, 1974.
5. Макаревич С.С., Хвьесько Г.М., Любецкий Д.И. Модуль упругости модифицированной древесины при сжатии поперек волокон. – В сб.: Механическая технология древесины, вып. 5, Минск, 1975.