

III. ДЕРЕВООБРАБОТКА И МЕБЕЛЬ

А.А.Барташевич, канд.техн.наук,
Л.А.Лобанов, С.С.Макаревич, канд.техн.наук

ПОЛЗУЧЕСТЬ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

При проектировании мебели из древесностружечных плит необходимо рассчитывать жесткость ее элементов с учетом срока службы. Для этого в свою очередь необходимо знать характеристики вязко-упругих свойств древесностружечных плит.

В работе приводятся результаты испытаний древесностружечных плит необлицованных (средней плотностью 700 кг/м^3), а также облицованных строганым шпоном дуба толщиной $0,8 \text{ мм}$ и синтетическим (при плотности непропитанной бумаги 130 г/м^3), в условиях длительного действия нагрузки. Испытаниям подвергались плиты базовой длиной $l = 600 \text{ мм}$ и шириной $b = 200 \text{ мм}$. Толщина необлицованных плит принималась 13, 16 и 19 мм. Толщина облицованных синтетическим шпоном плит была также 13, 16 и 19 мм, а облицованных шпоном дуба плит соответственно 14, 17 и 20 мм (исходные необлицованные плиты толщиной 13, 16 и 19 мм калибровалась до соответствующей толщины).

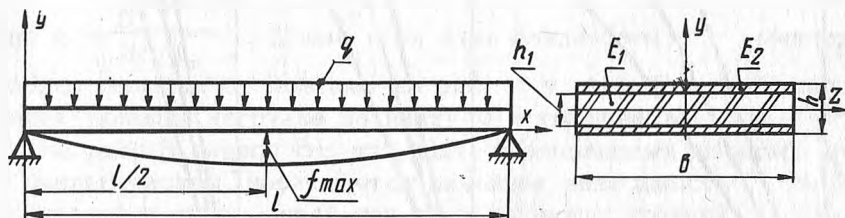


Рис. 1. Схема нагружения плиты.

По ширине плиты опирались на шарнирные опоры. Изгиб их осуществлялся равномерно-распределенной нагрузкой (рис.1). Деформации плит измерялись по середине длины индикатором с ценой деления $s = 0,01 \text{ мм}$. Были приняты следующие уровни нагрузок, характерные для условий эксплуатации мебели: для необлицованных плит - $q = 1,0, 1,5$ и $2,0 \text{ кПа}$; для плит, об-

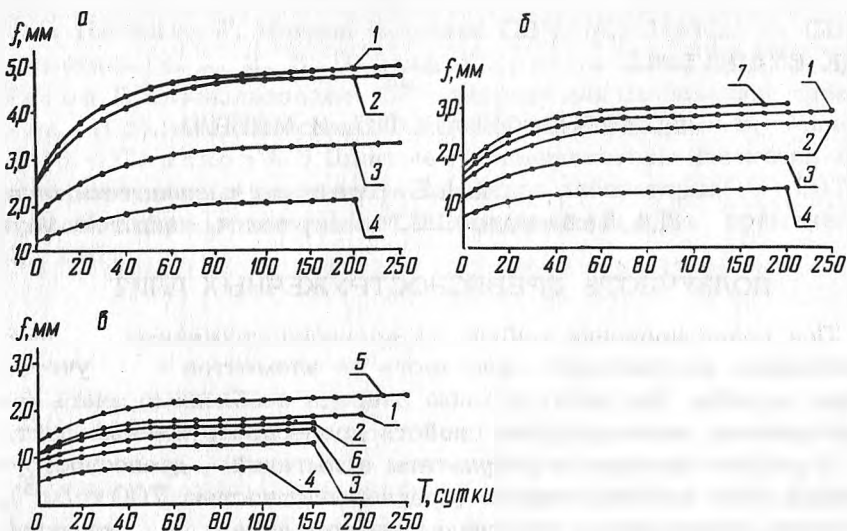


Рис. 2. Кривые ползучести плит: а – необлицованных; б – облицованных синтетическим шпоном; в – облицованных строганым шпоном дуба; 1 – толщина плиты 16 мм, нагрузка $q = 1,5 \text{ кПа}$; 2 – 19 мм, 2,0 кПа; 3 – 19 мм, 1,5 кПа; 4 – 19 мм, 1,0 кПа; 5 – 19 мм, 2,5 кПа; 6 – 13 мм, 1,0 кПа; 7 – 13 мм, 1,0 кПа.

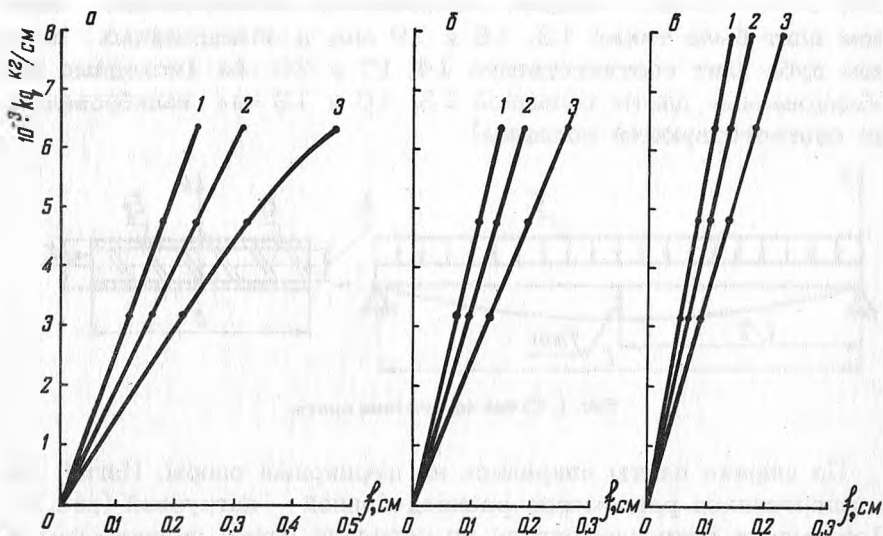


Рис. 3. Изохронные кривые ползучести плит толщиной 19 мм: а – необлицованная плита; б – облицованная синтетическим шпоном; в – облицованная строганым шпоном дуба; соответственно 1 – $\tau = 0$; 2 – 10; 3 – 100 суток.

лицованных шпоном дуба, $q = 1,0, 1,5, 2,0$ и $2,5$ кПа; для плит, облицованных синтетическим шпоном $q = 1,0, 1,5, 2,0$ кПа.

Длительность опыта зависела от уровня нагружения, а также от вида плиты и колебалась от 100 до 300 суток. Разгрузка производилась, когда практически прекращался прирост деформаций, т.е. когда на кривой ползучести было хорошо заметен процесс затухания деформирования плиты. Экспериментальные точки кривых ползучести для разных уровней нагружения и толщин плит показаны на рис. 2. Для установления линейности или нелинейности закона деформирования древесностружечных плит во времени по кривым ползучести (рис.2) построены изохронные кривые ползучести [1] (рис. 3).

Рассматриваем плиту как балку на двух опорах. Если из плиты выделить полосу с шириной, равной единице, то погонная нагрузка будет равна по величине нагрузке, равномерно распределенной по площади. В этом случае прогиб по середине плиты будет равен

$$f = \frac{5l^4 q}{384I_z E}, \quad (1)$$

где $I_z = \frac{h^3}{12}$ - момент инерции поперечного сечения шириной $b = 1$; E - модуль упругости.

Изохронные кривые будем строить в координатах $f - kq$, где $k = \frac{5l^4}{384I_z}$. Длина всех плит одинаковая, меняется только толщина h . Поэтому на рис. 2 у каждой кривой ползучести указаны нагрузка на плиту q и толщина h .

Из рис. 3 видно, что для плит, облицованных шпоном дуба и синтетическим, наблюдается линейная зависимость между нагрузкой и деформацией при всех принятых уровнях нагрузки. Незначительное отклонение имеет кривая для необлицованной плиты при больших нагрузках и $t = 100$ суток. Однако аппроксимация ее линейной зависимостью даст небольшое отклонение. Таким образом, поведение во времени всех плит (облицованных и необлицованных) можно рассматривать как поведение линейного вязко-упругого материала, описываемого уравнением Больцмана-Вольтера [1]:

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E} \sigma(t) + \int_0^t k(t-\tau) \sigma(\tau) d\tau, \quad (2)$$

где $\varepsilon(t)$ - относительная деформация; $\sigma(t)$ - напряжение; $k(t-\tau)$ - ядро интегрального уравнения (ядро ползучести).

В качестве ядра ползучести можно применять экспоненциальную функцию

$$k(t-\tau) = A e^{-\beta(t-\tau)}, \quad (3)$$

где A и β - параметры, определяемые по кривым ползучести.

С учетом (3) уравнение (2) примет вид

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E} + \frac{1}{E} \int_0^t A e^{-\beta(t-\tau)} \sigma(\tau) d\tau. \quad (4)$$

Если положить

$$A = \frac{E-H}{En}; \quad \beta = \frac{H}{En}, \quad (5)$$

то от уравнения (4) можно перейти к дифференциальному уравнению модели стандартного вязко-упругого тела

$$\sigma + n \dot{\sigma} = H\varepsilon + En\dot{\varepsilon}, \quad (6)$$

где E, H - мгновенный и длительный модуль упругости; n - время релаксации.

В формуле (6) точкой обозначено дифференцирование по времени.

Решение уравнений (4) и (6) при $\sigma = \text{const}$ дает

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{H} + \sigma \left(\frac{1}{E} - \frac{1}{H} \right) \exp\left(-\frac{Ht}{En}\right). \quad (7)$$

Аналогично (7) прогиб плиты аппроксимирует экспонента

$$f(t) = \frac{5l^4 q}{384I_z} \left[\frac{1}{H} + \left(\frac{1}{E} - \frac{1}{H} \right) \exp\left(-\frac{Ht}{En}\right) \right]. \quad (8)$$

Реологические характеристики E, H и n в уравнении (8) определялись по кривым ползучести (рис. 2) согласно методике, изложенной в работе [2].

Мгновенный модуль упругости определялся из формулы (1) по мгновенному прогибу плит $f(0)$ при $t=0$:

$$E = \frac{5l^4 q}{384 I_z f(0)}. \quad (9)$$

Для облицованных плит это будет некоторый усредненный модуль упругости или приведенный модуль упругости, который можно выразить через модуль упругости древесностружечной плиты E_1 и модуль упругости облицовки E_2 следующим образом:

$$E = \frac{E_1 I_{z(1)} + E_2 I_{z(2)}}{I_z}, \quad (10)$$

где $I_{z(1)} = \frac{h_1^3}{12} = \frac{\alpha^3 h^3}{12}$; $I_{z(2)} = \frac{h^3}{12} - \frac{h_1^3}{12} = \frac{h^3}{12}(1 - \alpha^3)$;

$$I_z = \frac{h^3}{12}; \quad h_1 = \alpha h.$$

Как и ранее, рассматривается единица ширины плиты.

Подставляя моменты инерции в уравнение (9), получим

$$E = E_1 \alpha^3 + E_2 (1 - \alpha^3). \quad (11)$$

Длительный модуль упругости определялся по формуле

$$H = \frac{5l^4 q}{384 I_z f(\infty)}, \quad (12)$$

где $f(\infty)$ - прогиб плиты при достаточно длительном времени, когда скорость деформирования упала до нуля.

Для облицованных плит приведенный модуль упругости H можно написать аналогично E :

$$H = H_1 \alpha^3 + H_2 (1 - \alpha^3), \quad (13)$$

где H_1 и H_2 - длительные модули упругости древесностружечной плиты и облицовки.

Время релаксации определялось из условия, что плита в течение времени $\tau = \frac{E n}{H}$, согласно (8), будет иметь прогиб

$$f(\tau) = f(0) + 0,632 f(n), \quad (14)$$

где $f(n) = f(\infty) - f(0)$ - деформация ползучести.

По кривым ползучести (рис. 2) определялось время τ , за которое плита прогнулась на величину $f(\tau)$ согласно (14).

Тогда

$$n = \frac{H \tau}{E}. \quad (15)$$

Найденные таким образом вязко-упругие характеристики плит приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что модули упругости при различных уровнях нагружения для каждого вида плиты при одинаковой ее толщине имеют близкие значения. С уменьшением толщины плиты модули упругости возрастают. Поэтому при расчетах можно пользоваться средними значениями E и H для каждой толщины плиты. Время релаксации от уровня нагружения зависит мало.

Т а б л и ц а 1. Вязко-упругие характеристики древесностружечных плит

Материал	Толщина плиты, см	Уровень нагрузки, кПа	$E \cdot 10^{-3}$, МПа	$n \cdot 10^{-3}$, МПа	n , сутки
Плита необлицованная	1,6	1,5	3,55	1,62	10,8
	1,9	1,0	2,90	1,50	12,7
	1,9	1,5	2,89	1,42	12,1
	1,9	2,0	2,81	1,34	11,2
Плита, облицованная синтетическим шпоном	1,3	1,0	5,98	3,15	11,3
	1,6	1,5	5,26	2,70	12,0
	1,9	1,0	4,35	2,56	12,5
	1,9	1,5	4,34	2,47	10,7
	1,9	2,0	4,30	2,32	10,3
Плита, облицованная шпоном дуба	1,4	1,0	8,85	5,06	12,5
	1,7	1,5	7,62	4,21	10,5
	2,0	1,0	5,89	3,79	12,2
	2,0	1,5	5,88	3,66	12,3
	2,0	2,0	5,78	3,55	13,0
	2,0	2,5	5,88	3,38	14,7

Т а б л и ц а 2. Реологические характеристики древесностружечных плит

Материал	$E \cdot 10^{-3}$, мПа	$N \cdot 10^{-3}$, мПа	$\frac{E}{N}$	п, сутки
Необлицованная древесностружечная плита				
толщина 16 мм	3,55	1,62	2,18	10,8
" 19 мм	2,87	1,43	2,03	12,0
Плита, облицованная синтетическим шпоном				
толщина после облицовывания				
" 13 мм	5,98	3,15	1,9	11,3
" 16 мм	5,26	2,70	2,95	12,0
" 19 мм	4,33	2,44	1,77	11,2
Плита, облицованная шпоном дуба				
толщиной после облицовывания				
" 14 мм	8,85	5,06	1,75	12,5
" 17 мм	7,62	4,21	1,81	10,5
" 20 мм	5,86	3,59	1,65	12,8

Учитывая, что время (t) эксплуатации изделий из древесностружечных плит значительно больше времени релаксации n , для расчетов можно пользоваться усредненными значениями времени релаксации.

В табл. 2 приведены средние значения реологических характеристик древесностружечных плит

Если известны модули упругости древесностружечной плиты и облицовочного материала, а также их толщины $\alpha = \frac{h_1}{h}$, то приведенные модули упругости при изгибе облицованных плит с достаточной точностью можно определить по формулам (11) и (13). Для толщин, близких к исследованным в данной работе, можно воспользоваться значениями E , N и n , приведенным в табл. 2.

Л и т е р а т у р а

1. Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел., М., 1977. 2. Гарнопольский Ю.М., Скудра А.М. Конструктивная прочность и деформативность стеклопластиков. Рига, 1966.