

УДК 674. 038. 6:539. 41

**В. И. Мелехов, В. Е. Бызов**

## ПРИВЕДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ И УПРУГОСТИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ К НОРМАЛИЗОВАННОЙ ВЛАЖНОСТИ

*Предлагается методика определения пересчетных коэффициентов влияния влажности древесины на показатели механических свойств пиломатериалов. Получена формула приведения результатов производственного контроля прочности и упругости пиломатериалов к нормализованной влажности 12%.*

**Введение.** Показатели механических свойств пиломатериалов для изготовления несущих строительных конструкций нормируют при влажности 12%. Однако допускается применять пиломатериалы с влажностью древесины до 20% и более. Возникает необходимость контролировать в производственном процессе показатели прочности и упругости пиломатериалов при текущей влажности и приводить к стандартной – 12%.

Стандарт США [1] предусматривает проведение испытаний пиломатериалов с текущей влажностью  $W_T$  и приведение результатов к стандартной влажности  $W_{ст.}$  по формуле

$$P_{ст.} = P_T \cdot \left[ \frac{\alpha - \beta \cdot W_{ст.}}{\alpha - \beta \cdot W_T} \right] \quad (1)$$

где параметры  $\alpha$  и  $\beta$  равны соответственно 1,44 и 0,02 для модуля упругости; 1,75 и 0,0333 для предела прочности при продольном изгибе и растяжении; 2,75 и 0,0833 для предела прочности при продольном сжатии; 1,33 и 0,0167 для предела прочности при поперечном сжатии (смятии).

Предложение об одинаковой зависимости модуля упругости и прочностных показателей от влажности заслуживает внимания, однако, формула [1] получена из предположения о линейной зависимости показателей свойств пиломатериалов от влажности, что может быть принято для ограниченного диапазона изменения влажности. Желательно иметь расчетную формулу, справедливую для диапазона влажности, по крайней мере, от 10% до точки насыщения клеточной оболочки.

Пересчетные коэффициенты, полученные по результатам испытаний малых чистых образцов древесины, непригодны для пиломатериалов, а методика приведения показателей прочности и упругости пиломатериалов к стандартной влажности в отечественной практике отсутствует. Но это не означает, что применительно к пиломатериалам необходимо повторить многочисленные эксперименты, выполненные на малых чистых образцах древесины. Естественно предположить, что для пиломатериалов сохраняется вид зависимости показателей свойств древесины от влажности, но меняются параметры эмпирических уравнений. При такой предпосылке количество необходимых опытов для пиломатериалов равно числу параметров уравнения.

При испытании малых чистых образцов замечено, что с изменением внешних факторов, например, при высыхании образцов приращение показателей механических свойств прочной древесины больше, чем у слабой. Поэтому пересчетные коэффициенты для приведения к нормализованной влажности 12% результатов испытаний по ГОСТ 16486.3–84, 16483.5–73, 16483.9–73 и 16483.10–73 некондиционированных об-

разцов установлены в зависимости от плотности древесины. Для пиломатериалов с повышенной изменчивостью показателей свойств из-за наличия пороков отмеченная закономерность должна проявляться сильнее, что подтверждается экспериментально: для пиломатериалов разных сортов по ГОСТ 8486–86 при одинаковых режимах сушки получены различные пересчетные коэффициенты при изгибе [2]. У пиломатериалов влияние плотности на показатели механических свойств проявляется меньше, чем влияние пороков. Поэтому пересчетные коэффициенты следует устанавливать в зависимости от параметров пороков, в частности, сучков на участке разрушения.

**Целью** исследования является поиск формулы приведения результатов производственного контроля прочности и упругости пиломатериалов к нормализованной влажности 12%.

Исходя из вышеизложенного, предлагается методика определения для показателей механических свойств пиломатериалов пересчетных коэффициентов на влияние технологических факторов, в частности, температуры и влажности.

1. По результатам испытаний малых чистых образцов уточняют вид эмпирической зависимости с учетом изменившихся теоретических предпосылок и возможностей, открывающихся при использовании программ для ЭВМ. Если эмпирическое уравнение содержит много параметров, производятся проверки для определения возможности упрощения.

2. Определив вид эмпирической зависимости, производят выборки пиломатериалов адекватно реальной совокупности и проводят испытания. Количество максимально отличающихся значений исследуемых внешних факторов берут равным числу параметров эмпирического уравнения. По результатам паспортизации пороков древесины и испытаний пиломатериалов для каждой выборки находят уравнения регрессии показателей механических свойств с параметрами сучков участка разрушения (для упругих постоянных – рабочей части образца).

3. Определяют параметры эмпирического уравнения для пиломатериалов, подставляя вместо значений показателей механических свойств пиломатериалов, уравнения их регрессий с параметрами сучков.

В стандартах на методы испытаний древесины для перевода к нормализованной влажности показателей прочности и упругости приняты различные зависимости. Результаты исследований влияния температуры и влажности на упругость, вязкость и пластичность древесины [3] позволяют предположить, что зависимости показателей прочности и упругости от температуры и влажности одинаковы и подобны зависимости потери энергии при нагрузках. У древесины, как упруго-вязко-пластичного тела, потери энергии складываются из гистерезисных, возрастающих при увлажнении по степенной функции вида  $y = a_1 \cdot x^{b_1}$  и релаксационных, уменьшающихся по показательной вида  $y = a_2 \cdot e^{b_2 \cdot x}$ .

Действительно, для древесины сосны, лиственницы, дуба, ясеня, бука, березы зависимость пересчетного коэффициента модуля упругости вдоль волокон от температуры в диапазоне от -20 до +90°C и влажности в среднем от 2 до 45 % описывается уравнением

$$K_{12,20}^{w,t} = \frac{E_w^t}{E_{12}^{20}} = \alpha_1^t \cdot e^{\beta_1^t \cdot W^2} + \alpha_2^t \cdot e^{\beta_2 \cdot \ln W} = e^{(A_1^\alpha + B_1^\alpha \cdot t)} \cdot e^{(A_1^\beta + B_1^\beta \cdot t) \cdot W^2} + (A_2^\alpha + B_2^\alpha \cdot t) \cdot e^{\beta_2 \cdot \ln W} \quad (2)$$

Для контроля прочности и упругости пиломатериалов для изготовления строительных конструкций исследуемый диапазон температуры и влажности древесины большой, но для постоянной температуры, в частности  $+20^{\circ}\text{C}$ , эмпирическое уравнение зависимости коэффициента  $K_{12,20}^{w,t}$  от влажности содержит три параметра. Второй член уравнения (2) описывает уменьшение модуля упругости при увлажнении древесины больше точки насыщения клеточной оболочки  $W_n$ . Из-за малости этим изменением показателей свойств пренебрегают. Для определения параметров  $\alpha$  и  $\beta$  достаточно определить показатели свойств древесины при двух значениях влажности: равной или большей  $W_n$  и максимально отличающейся от  $W_n$ , но не менее 5%. Уравнение для определения пересчетного коэффициента для диапазона влажности от 5 до 30% при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$  принимает вид

$$K_{12}^w = e^{\left( \ln \frac{E_{W_1}}{E_{W_n}} \right) \frac{(W_n - W)^2 - (W - 12)^2}{(W_n - W_1)^2}}, \quad (3)$$

где  $W$  – влажность древесины в момент испытания (контроля),  $W_1$  и  $W_n$  – влажность древесины в опытах по распределению параметров зависимости  $K_{12}^w = f(W)$ .

В отличие от малых чистых образцов древесины у пиломатериалов, из-за неизбежной неравномерности распределения влажности по сечению, заметное изменение показателей свойств прекращается при достижении влажности 40% [4]. С учетом этой особенности пиломатериалов уравнение (3) принимает вид:

$$K_{12}^w = e^{\left( \ln \frac{E_{W_1}}{E_{w \geq 40}} \right) \frac{(40 - W)^2 - (W - 12)^2}{(40 - W_1)^2}}. \quad (4)$$

Далее принимаем рабочую гипотезу, по которой результаты контроля показателей прочности и упругости приводят к нормализованной влажности 12% по формуле

$$R_{12} = \frac{R_w}{K_{12}^w}, \quad (5)$$

где  $R_{12}$  – значение показателя механических свойств пиломатериалов при влажности 12%, МПа;  $R_w$  – значение показателя механических свойств пиломатериалов при влажности в момент испытаний, МПа;  $K_{12}^w$  – пересчетный коэффициент, зависимость которого от влажности описывается уравнением

$$K_{12}^w = \alpha \cdot e^{\beta (40 - W)^2} = e^{\left( \ln \frac{R_{W_1} - f_1}{R_{w \geq 40} - f_2} \right) \frac{(40 - W)^2 - (W - 12)^2}{(40 - W_1)^2}}. \quad (6)$$

Влажностью пиломатериалов в момент контроля считаем ее средневзвешенное значение на участке разрушения.

Для проверки рабочей гипотезы использовали результаты испытаний пиломатериалов из древесины сосны, проведенные Е.И Савковым [5]. Испытания проводили с целью определения прочности при изгибе. Перед испытаниями проводилась паспортизация пиломатериалов с целью фиксации размеров пороков, присутствующих в пиломатериалах, после чего определяли площади проекций сучков на участке разрушения. Этот параметр необходимо знать при проведении неразрушающего контроля прочности пиломатериалов.

Получили два уравнения регрессии вида:

$$R_{wH} = \beta_{wH} \cdot \sqrt{S} + \alpha_{wH}, \quad (7)$$

$$R_{w1} = \beta_{w1} \cdot \sqrt{S} + \alpha_{w1}, \quad (8)$$

где  $\beta_{wH}$  и  $\alpha_{wH}$  – коэффициенты уравнения регрессии для зависимости, установленной при влажности более 40%;  $\beta_{w1}$  и  $\alpha_{w1}$  – коэффициенты уравнения регрессии для зависимости, установленной для влажности менее точки насыщения волокон;  $S$  – площадь проекций сучков на участке разрушения, %.

Значения показателей прочности приведены к нормализованной влажности 12% с использованием уравнения (6), в которое подставили уравнения (7) и (8). Коэффициенты регрессионных зависимостей и влажность пиломатериалов сечением 100x150 и 50x150 мм сведены в табл. 1.

Таблица 1

Сечение	Параметры				Влажность	
	$\beta_{wH}$	$\alpha_{wH}$	$\beta_{w1}$	$\alpha_{w1}$	$W_H$	$W_1$
100x150	-3,711	45,55	-5,642	58,72	40	12
50x150	-2,623	41,52	-4,949	55,76	40	8

Достоверность различия полученных значений прочности оценили по критериям распределений Стьюдента и Фишера-Снедекора. Отличие средних арифметических значений пределов прочности (табл. 2) недостоверно.

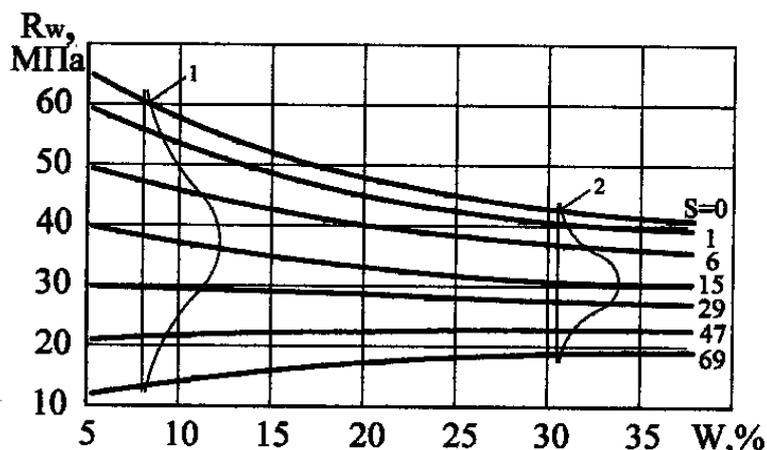
Таблица 2

**Проверка нуль-гипотез о равенстве выборочных дисперсий и средних значений выборок пределов прочности при изгибе, пересчитанных к нормализованной влажности 12%**

Сечение	$W_{исх.},$ %	h, шт.	Статистические показатели при влажности				$\hat{F}$	$\hat{t}$	$t_{табл.}$
			$W_{исх.},$ %		$W = 12\%$				
			$\bar{X}$	$\sigma$	$\bar{X}$	$\sigma$			
50x150	> 30	203	31,37	6,88	35,29	8,96	1,66	1,34	1,97
	8	117	39,21	13,36	36,95	11,54			
100x150	> 30	233	32,19	6,81	38,05	9,49	1,24	0,72	1,98
	12	113	39,86	10,57	38,86	10,57			

*Примечание:*  $W_{исх.}$  – влажность пиломатериалов в момент испытаний, %;  $n$  – количество образцов, шт.;  $\bar{X}$  – среднее арифметическое значение выборок, МПа;  $\sigma$  – среднее квадратичное отклонение выборок;  $F_{0,95} = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \leq 1,25$  – статистика для проверки гипотезы о равенстве дисперсий выборок;  $t_{0,95} \leq t_{табл.}$  – статистика для проверки гипотезы о равенстве средних значений выборок.

При снижении влажности древесины изменчивость значений пределов прочности пиломатериалов возрастает. Это происходит потому, что прочность пиломатериалов с небольшими сучками после сушки увеличивается, а имеющих развитые сучки – снижается. Одной из причин снижения прочности являются микротрещины, образующиеся в присучковых зонах в процессе сушки пиломатериалов.



Зависимость предела прочности сосновых пиломатериалов сечением  $50 \times 150$  мм от влажности древесины при изгибе нагрузке кромки: 1 – распределение пределов прочности при средней влажности 8%; 2 – распределение пределов прочности при влажности  $>30\%$

**Вывод.** Перевод показателей прочности пиломатериалов с влажностью древесины в момент испытаний к нормализованной влажности 12% с использованием полученной формулы обеспечит достоверные результаты. Получены зависимости пределов прочности пиломатериалов сечением  $50 \times 150$  мм от влажности древесины при изгибе (см. рис).

#### Список литературы

1. ASTM D 245-74. Standard methods for establishing structural grades and related allowable properties for visually graded lumber: American Society for Testing and Material. – Philadelphia, Pa, 1977.
2. Песоцкий, А. Н. Влияние режимов камерной сушки на прочность пиломатериалов при изгибе / А. Н. Песоцкий, В. И. Корнеев // Механическая обработка древесины. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1979. – № 11. – С. 13–15.
3. Боровиков, А. М. Упругость, вязкость и пластичность древесины / А. М. Боровиков // Деревообрабатывающая промышленность. – 1970. – № 9. – С. 9–12.
4. ГОСТ 6782.1-75. Пилопродукция из древесины хвойных пород. Величина усушки. – Введ. 1975-08-20. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 10 с.
5. Савков, Е. И. Прочность пиломатериалов / Е. И. Савков. – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 88 с.

Статья поступила в редакцию 21.03.08

V. I. Melekhov, V. Ye. Byzov

#### BRINGING THE RESULTS OF MANUFACTURING SUPERVISION FOR STRENGTH AND ELASTICITY OF LUMBER TO NORMALISED HUMIDITY

*The technique of defining recomputation coefficients for the influence of timber humidity on the mechanical properties of lumber is suggested. The formula for bringing the results of manufacturing supervision for strength and elasticity of lumber to normalized humidity of 12% is developed.*

МЕЛЕХОВ Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, академик РАЕН и АПК, зав. кафедрой лесоведения и тепловой обработки древесины Архангельского государственного технического университета. Область научных интересов – древесина, древесные материалы, сушка, защитная обработка, технология деревообработки, лесопиление, оборудование, сертификация, радиационная безопасность материалов. Автор более 200 научных публикаций, трех монографий.

БЫЗОВ Виктор Евгеньевич – технолог лесопильного производства ООО «Лесозавод №23» (г. Архангельск). Область научных интересов – качество древесного сырья, технологии переработки древесины.