

Плита первого типа (контрольная)	18,6
Плита второго типа с массовой долей связующего в верхнем и нижнем наружных слоях соответственно 14,0 и 8,7 % (неправильное положение)	11,8
То же с массовой долей связующего в верхнем и нижнем наружных слоях соответственно 8,7 и 14,0 % (правильное положение)	18,5

Покоробленность полученных плит лежала в пределах нормы и составляла 0,8 мм через 12 сут после прессования.

Таким образом, прочность на статический изгиб контрольной плиты и плиты, в которой количество связующего в одном из наружных слоев снижено более, чем в 1,5 раза, практически одинакова при правильном положении плиты, т. е. при расположении менее осмоленных слоев сверху. Экономия связующего в данном случае составляла около 10 %. При замене однослойных плит двухслойными экономия связующего может превышать 20 %.

Некоторое усложнение технологии производства асимметричных плит (создание трех стружечных потоков различной осмоленности вместо двух потоков для трехслойных плит или применение двух формирующих машин вместо одной для однослойных плит, создание асимметричного температурного или влажностного режимов в процессе прессования, а также необходимость маркировки одной из пластей плиты для ее правильного положения в дальнейшем) компенсируется экономией связующего или высококачественного стружечного сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Иванов Ю. М. Ползучесть древесностружечной плиты // Строительство и архитектура.— 1960.— № 3.— С. 76—80. [2]. Кауфман Б. Н. и др. Производство и применение древесностружечных плит.— М.: Гослесбумиздат, 1958.— С. 150. [3]. Плотников С. М. Активные способы уменьшения покоробленности древесностружечных плит // Лесн. журн.— 1992.— № 3.— С. 76—80.— (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Плотников С. М. Исследование покоробленности древесностружечных плит с асимметричной структурой // Лесн. журн.— 1989.— № 1.— С. 49—53.— (Изв. высш. учеб. заведений). [5]. Hänsel A., Kühne G. Untersuchungen zur Mechanik der Spanplatten // Holzforschung und Holzverwertung.— 1988.— N 2.— S. 1—5. [6]. Niemz P., Schweitzer F. Einfluss ausgewählter Strukturparameter auf die Zug- und Druckfestigkeit von Spanplatten // Holz als Roh- und Werkstoff.— 1990.— S. 361—364.

Поступила 3 февраля 1993 г.

УДК 624.011.04.004.67

ПРОЧНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ПАМЯТНИКАХ АРХИТЕКТУРЫ

Ю. А. ВАРФОЛОМЕЕВ, Л. Г. ШАПОВАЛОВА

ЦНИИМОД

Строительство и эксплуатация строений из цельной или клееной древесины связаны с обеспечением их долговечности, которая определяется биостойкостью, вероятностью возгорания, изменением механических, прочностных и деформативных характеристик древесины и др.

Практика ремонтно-реставрационных работ показывает, что основной причиной разрушения длительно эксплуатируемых деревянных строений является их биоповреждение. В то же время известны многочисленные случаи хорошей сохранности деревянных зданий и соору-

жений. Например, Никольская церковь в с. Лявля Приморского района Архангельской области (1584 г.), Никольская церковь в с. Малошуйка Онежского района (1638 г.), Сретенская церковь в с. Красная Ляга Каргопольского района (1655 г.) имеют вполне удовлетворительное техническое состояние. Поэтому сведения о физико-механических свойствах древесины, эксплуатируемой в этих объектах, представляют большой научный и практический интерес.

В статье приведены результаты выполненных нами исследований прочности сосны-памятников деревянного зодчества Архангельской области, эксплуатировавшейся 85...350 лет в обычных, для северных районов области температурно-влажностных условиях, на открытом воздухе или в проветриваемых подпольях и шатрах неотапливаемых зданий. Подготовку образцов и их испытание на прочность при статическом изгибе в тангенциальном направлении и сжатии вдоль волокон осуществляли, по стандартным методикам в соответствии с ГОСТ 16483.10—79 и ГОСТ 16483.3—84. На сжатие испытано 10 партий по 6...17 образцов, на статический изгиб — 8 партий по 3...6 образцов в каждой. Небольшое число образцов в партиях объясняется сложностью их отбора и изготовления (особенно на изгиб) без нанесения прочностного и эстетического ущерба памятникам зодчества.

Результаты опытов по определению временного сопротивления R^p образцов старой древесины, а также их статистические характеристики представлены в таблице.

Анализируя приведенные данные, необходимо отметить, что между прочностью и плотностью древесины существует четко выраженная зависимость. Связь между этими показателями описывается степенной функцией, однако в большинстве случаев можно использовать линейные уравнения. Так, например, в работе [2] приведены следующие усредненные зависимости для древесины сосны, произрастающей на территории России (влажность 15 %):

$$\sigma_{сж} = 0,11\rho_{15} - 10,5; \quad (1)$$

$$\sigma_{изг} = 0,20\rho_{15} - 19,5, \quad (2)$$

где $\sigma_{сж}$, $\sigma_{изг}$ — пределы прочности при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе, МПа.

По нашим экспериментальным данным с помощью регрессионного анализа зависимости между плотностью и прочностью древесины имеют следующий вид:

$$\sigma_{сж} = 0,19\rho_{12} - 36,84; \quad (3)$$

$$\sigma_{изг} = 0,30\rho_{12} - 57,83. \quad (4)$$

Эти уравнения аналогичны уравнениям (1) и (2). Отличия в коэффициентах и свободных членах можно объяснить тем, что в наших исследованиях испытания проведены при влажности 12, а не 15 %, а также различием климатических условий произрастания деревьев. В наших опытах изучены образцы древесины из северной части территории Архангельской области, а в работе [2] представлены усредненные данные по России.

Средняя плотность древесины образцов всех партий ($N = 156$) составляет 505,8 кг/м³, что практически совпадает со стандартной для сосны, произрастающей на Кольском полуострове ($\rho^{ст} = 505$ кг/м³). Поэтому для сопоставления результатов необходимо было все данные экспериментов привести к стандартной плотности. При этом значения $R_{пр}^p$ оказались выше стандартных $R^{ст}$ (при испытаниях на статический изгиб и сжатие вдоль волокон $R_{пр}^p$ составляет соответст-

венно 89,6 и 55,6 МПа против 89,1 и 48,0 МПа). Разница между $R_{пр}^э$ и $R^{ст}$ для двух видов испытаний соответственно равна 1,01 и 15,83 %.

Рассматривая партии образцов со средней плотностью, близкой к стандартной (1—3, 8, 9 строки таблицы — испытания на сжатие, 1, 8, 9 — на изгиб), можно отметить, что средняя временная прочность $R^э$ существенно больше определенной стандартом $R^{ст}$ и составляет $R_{сж}^э = 56,5$ МПа и $R_{изг}^э = 93,2$ МПа против $R_{сж}^{ст} = 48,0$ МПа и $R_{изг}^{ст} = 89,1$ МПа. Разница между $R^э$ и $R^{ст}$ для двух видов испытаний соответственно равна 17,6 и 4,60 %.

Таким образом, при равной плотности прочность длительно эксплуатируемой древесины значительно выше стандартной, что свидетельствует о возможном упрочнении древесины при эксплуатации и тщательном индивидуальном ее отборе для строительства. Это также подтверждают экспериментальные данные. Минимальные значения прочности имеет партия образцов (строка 5) с продолжительностью эксплуатации 140 лет, отобранные из венцов хозяйственной части жилого дома. Расчетный срок эксплуатации этой части дома изначально закладывали меньше жилой из-за биопоражения нижних венцов, которые, как правило, перебирали 1—2 раза в течение срока службы дома. Вероятно, в данном случае тщательный отбор древесины не производился.

Для оценки прочности реальных конструкционных материалов необходимо знать их фактические расчетные сопротивления, которые определяют по результатам испытаний не малых чистых образцов древесины, а крупных образцов натуральных размеров.

При определении прочности сохраняемых существующих конструкций проводят кратковременные испытания малых чистых образцов, вырезанных из конструкций, и путем несложных расчетов получают искомые расчетные сопротивления [1].

Последовательность обработки результатов.

1. Определяют кратковременную прочность малых чистых образцов с обеспеченностью 95 % по нижней доверительной границе:

$$R_{вр.ч}^н = R^э (1 - tv),$$

где $R^э$ — среднее арифметическое значение прочности малых чистых образцов или экспериментальное временное сопротивление древесины;

t — показатель достоверности в зависимости от заданной вероятности (0,95) и числа образцов N ;

v — коэффициент вариации.

2. Осуществляют переход от прочности малых чистых образцов к кратковременному сопротивлению древесины натуральных сечений:

$$R_{вр}^н = R_{вр.ч}^н k_n k_p,$$

где k_n, k_p — коэффициенты, учитывающие изменение прочности за счет влияния пороков и увеличения размеров (В данном случае принято для сжатия вдоль волокон $k_n = 0,75$ и $k_p = 0,95$; для изгиба $k_n = 0,54$; $k_p = 0,85$).

3. Находят длительную нормативную прочность с учетом длительности воздействия нагрузок на конструкцию

$$R^н = R_{вр}^н m_{дл},$$

где $m_{дл}$ — коэффициент, длительности, для большинства силовых воздействий, $m_{дл} = 0,66$.

4. Определяют расчетное сопротивление древесины

$$R = R^н / K,$$

Условия эксплуатации, вид конструкции	Продолжительность эксплуатации, лет	Плотность ρ , кг/м ³	Сопротивление временное, МПа	Число образцов, шт.	Среднее квадратичное отклонение σ , МПа	Кoeffициент вариации v , %	Средняя ошибка среднего арифметического m , МПа	Показатель точности F , %	Сопоставительное расхождение R , МПа	Сопротивление приращенное, МПа	
										временное $R_{вр}$	расчетное $R_{рп}$
Объект неотапливаемый, конструкция несущая: внутренняя	85	490	59,2 90,8	17 5	5,87 10,71	9,92 11,87	1,42 4,79	2,40 5,27	19,9 14,4	60,8 93,6	20,4 14,8
	262	500	57,0	10	4,48	7,86	1,42	2,49	20,4	57,8	20,1
	351	510	60,8	8	1,85	3,05	0,65	1,08	24,2	60,0	23,8
	113	450	79,2	4	6,11	7,80	3,06	3,86	15,4	88,9	17,3
	140	420	42,3 63,7	9 5	2,61 4,98	6,16 7,82	0,87 2,23	2,06 3,50	15,5 13,2	50,9 76,6	18,7 15,9
	163	435	44,0 73,1	15 6	3,24 1,90	7,36 2,60	0,84 0,76	1,90 1,06	15,9 18,9	51,1 84,9	18,4 21,9
	199	430	46,4 76,1	9 4	3,42 3,90	7,37 5,16	1,14 1,95	2,45 2,56	16,5 17,6	54,5 89,4	19,4 20,7
	223	500	52,7 95,8	17 4	4,79 6,40	9,08 6,68	1,16 3,20	2,20 3,34	18,2 20,1	53,2 96,8	18,4 20,3
	191	490	52,6 84,7	10 3	3,31 6,16	6,30 7,90	1,05 3,56	1,99 4,20	19,3 14,7	54,2 87,3	19,9 15,2
	262	570	64,1 111,9	11 4	6,37 4,20	9,94 3,77	1,92 2,10	2,99 1,88	18,5 27,6	56,8 99,1	20,8 24,4
124	445	48,7	5	2,80	5,75	1,25	2,26	17,6	55,3	20,0	
Объект неотапливаемый, конструкция самонесущая: внутренняя											
Объект отапливаемый, конструкция несущая внутренняя											

где K — коэффициент безопасности по материалу (с обеспеченностью 0,95),

$$K = \frac{1 - t_{0,95} \nu}{1 - t_{0,99} \nu}$$

Значения расчетных сопротивлений R длительно эксплуатируемой древесины сосны при сжатии вдоль волокон (числитель) и статическом изгибе (знаменатель) приведены в таблице. Там же указаны временные $R_{пр}^a$ и расчетные $R_{пр}$ сопротивления, приведенные к стандартной плотности. Средние значения \bar{R}^a , \bar{R} , $\bar{R}_{пр}^a$ и $\bar{R}_{пр}$ соответственно равны 53,44/84,41; 18,6/17,7; 55,5/89,6 и 20,0/18,8 МПа.

Из данных таблицы видно, что практически все значения расчетных сопротивлений древесины при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе, как абсолютные, так и приведенные к стандартной плотности, значительно выше определенного СНиП II-25—80. В среднем $\bar{R}_{сж} = 18,6$ МПа; $\bar{R}_{сж}^{пр} = 20,0$ МПа и $\bar{R}_{изг} = 17,7$ МПа; $\bar{R}_{изг}^{пр} = 18,8$ МПа, что выше стандартного $R^{ст} = 16,0$ МПа соответственно на 16,25; 25,00 и 10,6; 17,5 %.

Таким образом, кратковременная прочность малых чистых образцов древесины длительно эксплуатируемых сооружений, приведенная к стандартной плотности, при испытании на сжатие вдоль волокон и статический изгиб несколько выше прочности, определенной стандартом. Абсолютные значения кратковременной прочности старой древесины при плотности, близкой к стандартной, существенно выше стандартных. Фактические расчетные сопротивления крупных сортиментов натуральных размеров, полученные путем пересчета от кратковременной прочности малых чистых образцов, также существенно больше стандартных значений.

По результатам испытаний можно сделать следующие выводы:

при строительстве ценных объектов деревянного зодчества осуществлялся тщательный отбор древесины;

эксплуатация обследованных объектов деревянного зодчества при условии выполнения текущих ремонтов возможна весьма длительное время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Информационный листок / Архангельский ЦНТИ.— Архангельск, 1985.— № 196—85: Определение и оценка расчетных сопротивлений конструкционной древесины / Сост. Б. В. Лабудин, В. А. Катаев, С. А. Альбицкий.— 4 с. [2]. Уголев Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения // Учебник для студентов лесотехн. спец. вузов — 2-е изд. перераб. и доп.— М.: Лесн. пром-сть, 1986.— 366 с.

Поступила 11 октября 1993 г.