

ва Т. М., Молодцова Р. П. Влагопоглощение древесины лиственницы после гигротермической обработки // Деревообработ. пром-сть.— 1967.— № 2.— С. 13.

Поступила 24 ноября 1989 г.

УДК 630*812

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО ЧЕЛНА XV ВЕКА

Ю. В. ВИХРОВ, П. С. БОБАРЫКО, А. В. ДОРОЖКО,
Л. П. РЫБАЛТОВСКАЯ

Белорусский технологический институт

По просьбе Запорожского краеведческого музея нами определено состояние древесины археологического челна XV века, найденного в Днепре в районе о-ва Хортица вблизи г. Запорожья.

Изучение физико-механических свойств древесины челна важно с целью не только его дальнейшего консервирования, но и получения информации об изменении свойств древесины, долго находящейся в воде.

Основная причина разрушения археологических находок из мокрой древесины при ее высыхании — значительная усадка, в связи с чем возникают большие внутренние напряжения и как следствие — коробление изделия и его растрескивание. Для определения ее образцы после обмера в трех направлениях помещали в сушильный шкаф, где выдерживали при $t = 100 \pm 2$ °С до постоянной массы, и снова обмеряли.

Усадку образца древесины $У$, %, вычисляли по формуле

$$У = \frac{a_w - a_c}{a_c} 100, \quad (1)$$

где a_w — размер образца в насыщенном водой состоянии, мм;

a_c — размер образца после полного высыхания, мм.

На основании полученных данных установлено, что тангенциальная усушка древесины челна $У_t$ составляет 139 %, радиальная $У_R$ — 24,6 % и вдоль волокон $У_a$ — 18,8 %.

По данным В. Е. Вихрова [2], коэффициент усушки пойменного дуба K_y (челн, по-видимому, был изготовлен из дуба, произрастающего в пойме Днепра) в тангенциальном направлении составляет 0,304, в радиальном — $K_y = 0,172$. Следовательно, $У_t = 0,304 \cdot 30 = 9,12$ %, $У_R = 0,172 \cdot 30 = 5,16$ % (где 30 — предел насыщения клеточных стенок).

Значение $У_a$ для здоровой древесины обычно считается равной нулю (не превышает долей процента).

Значит, тангенциальная усушка увеличилась более чем в 15 раз, радиальная — более чем в 4,5 раза.

Наличие большой продольной усушки, как правило, приводит к появлению поперечных трещин и к «шелушению» древесины, в связи с чем наружные слои отделяются по границе годичного слоя.

Значительное возрастание усушки объясняется деградацией клеточных стенок, особенно вторичных и третичных слоев. В связи с этим значительно возрастает пористость древесины. Об увеличении пористости можно косвенно судить по максимальному водосодержанию древесины. Для определения водосодержания образцы, отобранные из челна, взвешивали с точностью 0,01 г, высушивали до постоянной массы, и повторно взвешивали. Влажность образца древесины W , %, определяли по формуле

$$W = \frac{m_w - m_c}{m_c} 100. \quad (2)$$

Здесь m_w — масса образца в насыщенном водой состоянии;
 m_c — масса образца в абс. сухом состоянии.

На основании проведенных исследований влажность древесины археологического челна составила 435 %. Мы не располагаем данными по максимальной влажности здоровой древесины дуба. Поэтому для подсчета максимальной влажности W_{max} , %, воспользуемся следующей формулой:

$$W_{max} = 30 + \frac{1,53 - \rho_0}{1,53\rho_0} 100, \quad (3)$$

где ρ_0 — плотность древесины в абс. сухом состоянии;
 1,53 — плотность древесного вещества, г/см³;
 30 — влажность при пределе гигроскопичности, %.

Плотность древесины дуба ρ_0 в абс. сухом состоянии составляет 680 кг/м³. Тогда влажность здоровой древесины

$$W_{max} = 30 + \frac{1,530 - 0,680}{1,530 \cdot 0,680} 100 = 112 \%. \quad (4)$$

Таким образом, влажность древесины после деградации возросла почти в 4 раза.

В. А. Борисовым, Ю. В. Вихровым [1] было установлено, что основной фактор, способный более точно характеризовать степень разрушения древесины, — это изменение ее плотности. Для обозначения величины разрушения археологической древесины был введен показатель — степень деградации S , который определяли как отношение разности значений базисной плотности здоровой $\rho_{б.з}$ и базисной плотности археологической $\rho_{б.а}$ древесины:

$$S = \frac{\rho_{б.з} - \rho_{б.а}}{\rho_{б.з}} 100. \quad (5)$$

Базисную плотность использовали потому, что археологическая древесина, имеющая высокую степень разрушения, при высыхании сильно «упрессовывается»: происходит смятие клеточных стенок и закрытие полостей древесных волокон и сосудов, что приводит к завышенным значениям истинной плотности.

Для древесины археологических находок было принято четыре степени деградации: I — снижение плотности от 0 до 20 %; II — от 20,1 до 40 %; III — от 40,1 до 60 %; IV — от 60,1 % и выше.

При определении плотности археологической древесины объем образцов измеряли с помощью ртутного объемомера с точностью до 0,001 см³. После этого образцы высушивали до абс. сухого состояния и определяли их массу с точностью до 0,01 г.

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_{max}} \text{ кг/м}^3, \quad (6)$$

где m_0 — масса образца древесины в абс. сухом состоянии;
 V_{max} — объем образца в насыщенном водой состоянии.

Для археологической древесины дуба базисная плотность составила 200 кг/м³. Для здоровой древесины дуба базисная плотность равнялась 550 кг/м³ [3]. Тогда

$$S = \frac{550 - 200}{550} 100 = 63,6 \%, \quad (7)$$

т. е. древесина челна имеет IV степень деградации.

Важный показатель — изменение прочности древесины. Образцы археологической древесины размером 15 × 15 × 20 мм (последний раз-

мер вдоль волокон) испытывали при сжатии вдоль волокон и в тангенциальном направлении.

Предел прочности при сжатии вдоль волокон $\sigma_{сж} = 1,2$ МПа, при сжатии поперек волокон $\sigma_{\tau} = 0,35$ МПа. Образцы испытывали в насыщенном водой состоянии, так как испытание их в высушенном состоянии не представлялось возможным в связи с сильным короблением и растрескиванием древесины при сушке.

Согласно данным работы [3], древесина дуба при сжатии вдоль волокон имеет в насыщенном водой состоянии предел прочности 31 МПа. При сжатии поперек волокон прочность для древесины дуба в насыщенном водой состоянии составляет 1/6 от предела прочности при сжатии вдоль волокон [3], т. е. может быть принята равной 5,1 МПа.

Таким образом, предел прочности археологической древесины челна при сжатии вдоль волокон снизился более чем в 26 раз и поперек волокон — почти в 15 раз.

Сводные данные испытаний приведены в таблице.

Основные физико-механические свойства археологической древесины дуба

Древесина	Усушка, %			Предел прочности, МПа		Базисная плотность ρ_6 , кг/м ³	Водосодержание W , %
	Y_{τ}	Y_R	Y_a	σ_a	σ_{τ}		
Археологическая	139	24,6	18,8	1,2	0,35	200	435
Здоровая	9,12	5,16	0	31,0	5,1	550	112
Соотношение между показателями археологической древесины и здоровой	>15	>4,5	—	>26	15	2,7	3,8

Обобщая полученные данные, следует отметить, что в процессе деградации значительно возросла анизотропия усушки. Если для здоровой древесины тангенциальная усушка в 1,5—2 раза больше радиальной, то для археологической она превысила радиальную в 6 раз. Одновременно значительно снизилась прочность археологической древесины, возросло ее максимальное водосодержание, так как повысилась пористость древесины. Это косвенно подтверждает сильное разрушение клеточных стенок древесных волокон и сосудов. Об этом же говорит снижение базисной плотности. При высыхании такая древесина будет сильно коробиться, растрескиваться и в итоге полностью разрушится.

Поэтому возможно два пути сохранения челна: а) выдерживание его в условиях, исключающих высыхание (лучше всего погруженным в воду); б) замещение воды в клеточных стенках древесины консервирующим составом, исключающим изменение размеров древесины при ее высыхании.

Нами был разработан способ консервирования челна, который мы осуществили летом 1985 г. Консервирование прошло успешно. В настоящее время челн находится в Запорожском краеведческом музее.

[1]. Борисов В. А., Вихров Ю. В. // Механ. технология древесины: Респ. межвед. сб.— Минск, 1974.— Вып. 4.— С. 123. [2]. Вихров В. Е. Строение и физико-механические свойства древесины дуба.— М.: Изд-во АН СССР, 1954.— 263 с. [3]. Перелыгин Л. М., Уголев Б. Н. Древесиноведение.— М.: Лесн. пром-сть, 1971.— 282 с.

УДК 674.093

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСКРОЯ ПИЛОВОЧНОГО СЫРЬЯ НЕПРАВИЛЬНОЙ ФОРМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЛАЙН-ФУНКЦИИ

С. Г. ЕЛСАКОВ

Ленинградская лесотехническая академия

В основе автоматизированной системы индивидуального раскроя хлыстов, бревен, брусьев, необрезных досок правильной или неправильной геометрической формы (т. е. имеющих кривизну оси и эллиптичность поперечного сечения) должно лежать математическое и программное обеспечение, достаточно точно описывающее поверхность предмета обработки с любыми возможными геометрическими параметрами и отклонениями от правильной формы.

Почти вся разработанная теория раскроя сырья и, в частности, расчета поставов, строится на представлении бревен в виде усеченного конуса или параболоида вращения. В качестве моделей для описания образующей поверхности древесного ствола (хлыста) использовали уравнения: кубической параболы [5], логарифмической кривой, полинома четвертой степени [6] и др. [3]. Поскольку эти модели основаны на представлении о стабильности формы хлыстов, то коэффициенты полиномов образующей имеют свои значения для каждого бонитета и для каждой породы древесины. Погрешность в вычислении текущих диаметров ствола по полиному четвертой степени в сопоставлении с фактическими замерами составляет до 6...8% [8]. Это приводит к ошибкам при определении схем раскроя хлыста и полученных из него бревен по критерию максимального выхода спецификационных пиломатериалов.

В работе [7] учтено, что хлысты и бревна могут иметь кривизну оси и эллиптичность поперечного сечения, а образующая поверхности может быть аппроксимирована любой из перечисленных выше кривых.

Поперечное сечение представляет собой эллипс, уравнения которого

$$\left(\frac{x-f_1}{a}\right)^2 + \left(\frac{y-f_2}{b}\right)^2 = 1,$$

где f_1 и f_2 — координаты центра эллипса;
 a и b — размеры полуосей эллипса.

При движении вдоль оси z (проходящей через центры вершинного и комлевого торцев бревна) параметры a , b , f_1 и f_2 будут являться функциями от z : $a = a(z)$; $b = b(z)$; $f_1 = f_1(z)$; $f_2 = f_2(z)$. Ось хлыста может быть представлена уравнением деформированной синусоиды, а бревна — полиномами второго и третьего порядков.

Однако, согласно исследованиям авторов, представление образующих поверхностей бревен и осевой линии многочленами второго и третьего порядков снижает точность модели до 8%. При сложной форме оси хлыста или бревна в случае многоэкстремальной кривизны полиномиальная интерполяция будет давать более значительные погрешности в промежутках между узлами (координатами) оси бревна. С увеличением числа узлов погрешность не только не уменьшается,