

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ МАЛЫХ ЧИСТЫХ ОБРАЗЦОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ ИЗГИБЕ

Article contains results of research work according to influence of the sizes reduced on the scale of small clear samples on datas of durability and elasticity at a wood bending.

Dependence of an MOR, relative MOR and the MOE of wood on scale is defined. The mathematical expressions are received, allowing to result meanings of datas of the strength received on samples of any scale to standard, i.e. what could be received at test of this wood on a standard method.

Influence of an angle of taper of annual rings to a loading vector on wood strength and elasticity is defined. The equations defining these influence are received. It is proved, that for tests it is possible to use standard samples with a nondirectional arrangement of annual rings, however in case of test of the reduced samples it is necessary to keep orientation requirements.

Введение. Прочность при статическом изгибе является наиболее значимым и распространенным показателем в практике испытаний строительных материалов. В западных странах предел прочности древесины при статическом изгибе принято определять на образцах размерами, близкими к размерам строительных элементов. Европейскими же странами для определения этого показателя широко используются так называемые «малые чистые» образцы. Показатели прочности, полученные при испытании крупных образцов, отражают истинную сущность древесины как конструкционного материала и являются реальными значениями для элементов строительных конструкций. Однако испытания по этому методу нерациональны, т. к. предполагают большой расход материала и наличие уникального оборудования. Методы испытаний малых чистых образцов предполагают использование «чистой» от пороков и дефектов древесины в малом количестве, что является экономически оправданным. Однако для практического использования полученных при испытании этим методом значений требуется наличие адекватного алгоритма их пересчета на массив древесины, соразмерный элементам конструкций с учетом естественных отклонений, которые выражены пороками и дефектами материала.

Первые исследования влияния размеров образцов на механические характеристики древесины стали проводиться еще в 30–40-х годах XX в. На территории постсоветского пространства исследования вели: Е. М. Знаменский, А. Н. Флаксерман, Л. М. Перелыгин, В. Ф. Иванов, А. Б. Губенко, В. Е. Шишкин, А. И. Робинovich, Е. И. Савков и другие ученые.

Ю. С. Соболеву и В. Н. Волынскому принадлежат известные работы по изучению влияния масштабного эффекта на показатели прочности древесины при статическом изгибе [1, 2]. Они считают, что наличие зависимости показателей прочности от масштабного эффекта позволяет существенно уменьшить расход древесины на испытание при использовании малых

образцов, и, вместе с тем, получить данные, соответствующие результатам испытания крупных образцов. Причем речь идет о малых образцах размерами не менее тех, которые регламентирует ныне действующий стандарт [3], т. е. 20×20×300 мм. Возможность использования для испытаний образцов размерами меньше стандартных они не допускают из-за большого коэффициента вариации значений предела прочности.

На практике некоторые существенные обстоятельства, связанные с не зависящими от исследователя факторами, не позволяют определять показатели прочности при статическом изгибе известными методами. В частности, с такой проблемой сталкиваются при определении состояния древесины исторических объектов, которую в требуемых объемах недопустимо пожертвовать для анализа ее состояния. Ископаемая (археологическая) древесина не позволяет проводить испытания стандартными методами, т. к. обладает огромным количеством дефектов, связанных с губительным пребыванием в деструктирующей среде.

Таким образом, для определения показателей прочности редкой, в частности археологической, древесины необходимы другие методы исследований. Причем наилучшие для сопоставимости значений прочности методы – это прямые [4]. Наиболее популярный и простой прямой метод определения предела прочности при статическом изгибе – стандартный по ГОСТ 16483.3-84 [3], однако, согласно ему, длина образца составляет 30 см, что является серьезным препятствием на пути его использования для древесины, имеющейся в ограниченном количестве.

Это положение привело к идее детально изучить специфику влияния масштаба на показатели прочности при изгибе при уменьшении геометрических размеров образцов ниже требуемых действующим стандартом.

Основная часть. Исследования влияния проведены на образцах свежеспиленной древесины пяти пород (сосна, дуб, осина, береза и

ольха) размерами 20×20×300 мм, 15×15×225 мм, 10×10×150 мм и 7×7×100 мм (последняя составляющая размеров – вдоль волокон). При испытании были выдержаны критерии масштабности [1].

Анализ результатов эксперимента побудил вполне обоснованный скепсис в отношении убеждения Ю. С. Соболева по поводу коэффициента вариации значений предела прочности при изгибе для образцов размерами меньше, чем стандартные (20×20×300 мм). По результатам исследований вариация значений показателей прочности для уменьшенных образцов, так же как для стандартных, находится в допустимых стандартом пределах [5] и часто даже значительно ниже их (таблица).

По средним значениям показателей прочности построены их графические зависимости их от масштаба для выбранных пород (рис. 1–3). Показатель прочности выражали нормированным значением, т. е. процентной составляющей от значения показателя прочности, полученного стандартным методом (принят равным 100%).

Таким образом, предел прочности снижается при уменьшении масштаба для дуба, сосны и ольхи, а для осины и березы – увеличивается.

Эти зависимости с достоверностью $R^2 = 1$ аналитически описывают уравнения полиномов третьего порядка.

При известных размерах образца (масштабе) нормированное значение предела прочности при изгибе можно рассчитать по уравнениям для сосны:

$$y = 505,7435897 \cdot x^3 - 823,5230769 \cdot x^2 + 404,4333333 \cdot x + 13,3461538; \quad (1)$$

дуба:

$$y = 699,5897436 \cdot x^3 - 1323,6769231 \cdot x^2 + 791,4333333 \cdot x - 67,3461538; \quad (2)$$

ольхи:

$$y = 176,9230769 \cdot x^3 - 302,0769231 \cdot x^2 + 161,9 \cdot x + 63,2538462; \quad (3)$$

осины:

$$y = 70,8717949 \cdot x^3 - 117,0615385 \cdot x^2 + 41,3666667 \cdot x + 104,8230769; \quad (4)$$

березы:

$$y = -96,8205128 \cdot x^3 + 208,2461538 \cdot x^2 - 143,3333333 \cdot x + 131,9076923, \quad (5)$$

где y – нормированное значение предела прочности σ_{12} , %; x – масштаб.

Нормированное значение условного предела прочности при изгибе можно рассчитать по следующим уравнениям:

для сосны:

$$y = 544,5538462 \cdot x^3 - 877,8861538 \cdot x^2 + 421,46 \cdot x + 11,8723077; \quad (6)$$

дуба:

$$y = 323,0769231 \cdot x^3 - 546,9230769 \cdot x^2 + 290 \cdot x + 33,8461538; \quad (7)$$

ольхи:

$$y = 222,1538462 \cdot x^3 - 353,4461538 \cdot x^2 + 180,8 \cdot x + 50,4923077; \quad (8)$$

осины:

$$y = -6,8717949 \cdot x^3 + 66,6615385 \cdot x^2 - 79,5666667 \cdot x + 119,7769231; \quad (9)$$

березы:

$$y = 40,5128205 \cdot x^3 - 63,1538462 \cdot x^2 + 14,8333333 \cdot x + 107,8076923, \quad (10)$$

где y – нормированное значение условного предела прочности σ^y_{12} , %; x – масштаб.

Нормированное значение модуля упругости при изгибе можно рассчитать следующим образом:

Таблица

Значения коэффициента вариации показателей прочности при статическом изгибе в зависимости от размеров образцов

Показатель прочности	Размеры, мм	Масштаб	Коэффициент вариации V , %				
			сосна	дуб	осина	береза	ольха
Предел прочности	20×20×300	1	7,59	10,54	9,81	14,22	6,78
	15×15×225	0,75	4,99	11,18	12,79	11,65	3,97
	10×10×150	0,5	7,77	10,31	8,79	12,41	8,03
	7×7×100	0,35	7,61	14,64	9,35	10,93	11,10
Условный предел прочности	20×20×300	1	6,04	5,08	4,93	8,83	4,78
	15×15×225	0,75	7,92	5,83	8,84	6,75	4,30
	10×10×150	0,5	6,14	12,84	8,53	7,16	10,19
	7×7×100	0,35	5,25	9,39	7,44	8,01	9,3
Модуль упругости	20×20×300	1	8,6	8,14	12,19	9,88	10,37
	15×15×225	0,75	6,60	13,43	14,10	14,42	4,09
	10×10×150	0,5	11,24	11,30	14,59	14,84	11,26
	7×7×100	0,35	12,13	11,78	11,03	13,71	13,42

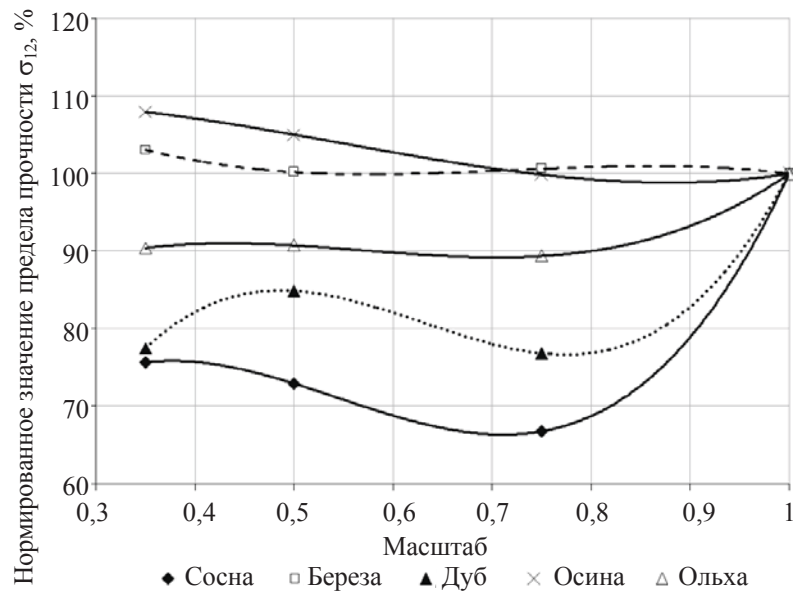


Рис. 1. Зависимость предела прочности при статическом изгибе σ_{12} от масштаба

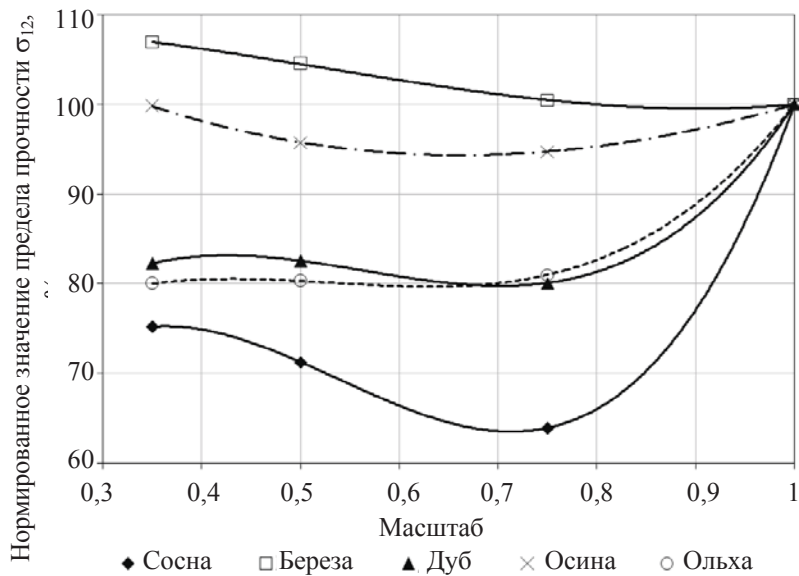


Рис. 2. Зависимость условного предела прочности при статическом изгибе σ_{12}^a от масштаба

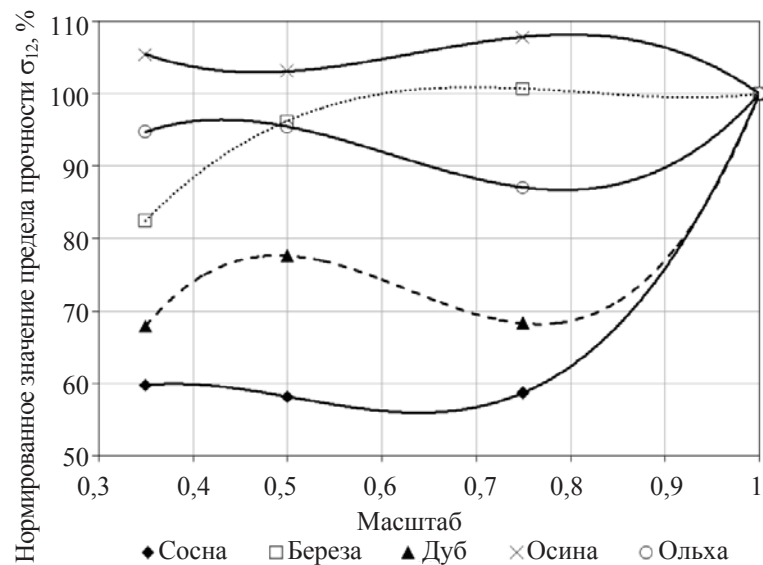


Рис. 3. Зависимость модуля упругости при статическом изгибе E_{12} от масштаба

для сосны:

$$y = 456 \cdot x^3 - 699,6 \cdot x^2 + 335 \cdot x + 8,6; \quad (11)$$

дуба:

$$y = 896,4102564 \cdot x^3 - 1688,9230769 \cdot x^2 + 1009,4666667 \cdot x - 116,9538462; \quad (12)$$

ольхи:

$$y = 411,8974359 \cdot x^3 - 756,3692308 \cdot x^2 + 422,7333333 \cdot x + 21,7384615; \quad (13)$$

осины:

$$y = -291,6923077 \cdot x^3 + 554,7076923 \cdot x^2 - 327,8 \cdot x + 164,7846154; \quad (14)$$

березы:

$$y = 221,9487179 \cdot x^3 - 541,7846154 \cdot x^2 + 431,6666667 \cdot x - 11,8307692; \quad (15)$$

где y – нормированное значение модуля упругости E_{12} , %; x – масштаб.

При изготовлении образцов с ориентированными годовыми слоями приходится сталкиваться с малым процентным выходом их из проб материала (заготовок), что в условиях ограниченного отбора значительно сокращает число параллельных опытов, а следовательно, снижает достоверность определения среднего арифметического значения показателей прочности. Использование неориентированных образцов для испытаний поможет существенно сократить расход материала для их изготовления. В связи с этим для оценки влияния ориентации годовых слоев на показатели прочности при изгибе испытания проводили на сосновых образцах стандартных ($20 \times 20 \times 300$ мм) и уменьшенных в масштабе ($7 \times 7 \times 100$ мм) размеров. Для этого отобраны образцы с углами наклона годовых колец к их параллельным граням $0 \pm 10^\circ$, $30 \pm 5^\circ$ и $45 \pm 5^\circ$. При испытании образцы ориентировали согласно схеме (рис. 4).

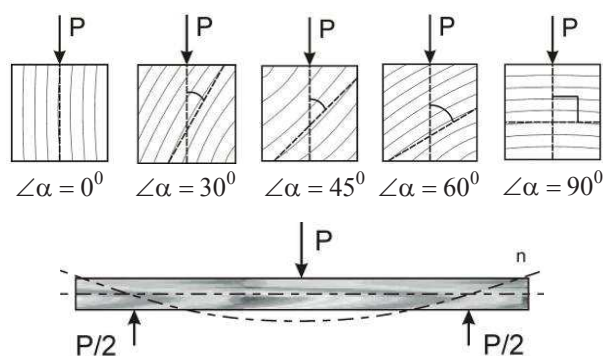


Рис. 4. Схема нагружения образцов при испытании с различным углом приложения нагрузки относительно годовых слоев

По средним значениям предела прочности построены графические зависимости этого показателя от угла между направлением нагрузки и годовыми слоями (рис. 5–7).

Эти зависимости с достоверностью $R^2 = 1$ аналитически описывают функции, полученные для интервалов $(0 \div 45)^\circ$ и $(45 \div 90)^\circ$, имеющие аналитические выражения в виде полиномов 2-го порядка.

Для образцов размерами $20 \times 20 \times 300$ мм зависимость предела прочности от угла наклона годовых слоев будет характеризоваться уравнениями:

$$y = \begin{cases} -1,319 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 7,156 \cdot 10^{-2} \cdot x + 100, & x \in [0; 45], \\ -0,004 \cdot x^2 + 0,384 \cdot x + 91,37, & x \in [45; 90]; \end{cases} \quad (16)$$

для образцов $7 \times 7 \times 100$ мм:

$$y = \begin{cases} -3,199 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 + 0,763 \cdot x + 109,53, & x \in [0; 45], \\ -1,444 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 + 2,073 \cdot x + 15,01, & x \in [45; 90]; \end{cases} \quad (17)$$

где y – нормированное значение предела прочности σ_{12} , %; x – угол наклона годовых слоев к вектору приложенной нагрузки, град.

Изменение условного предела прочности в зависимости от угла наклона годовых слоев будет характеризоваться уравнениями для образцов $20 \times 20 \times 300$ мм:

$$y = \begin{cases} -7,526 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 0,0378 \cdot x + 100, & x \in [0; 45], \\ -4,037 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 0,6619 \cdot x + 64,85, & x \in [45; 90]; \end{cases} \quad (18)$$

для образцов $7 \times 7 \times 100$ мм:

$$y = \begin{cases} -3,019 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 + 0,6039 \cdot x + 102,51, & x \in [0; 45], \\ -7,77 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 1,183 \cdot x + 31,05, & x \in [45; 90]; \end{cases} \quad (19)$$

где y – нормированное значение условного предела прочности σ_{12}^y , %; x – угол наклона годовых слоев к вектору приложенной нагрузки, град.

Изменение модуля упругости в зависимости от угла наклона годовых слоев будет характеризоваться уравнениями для образцов $20 \times 20 \times 300$ мм:

$$y = \begin{cases} -4,067 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 0,349 \cdot x + 100, & x \in [0; 45], \\ 2,956 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 - 0,632 \cdot x + 129,94, & x \in [45; 90]; \end{cases} \quad (20)$$

для образцов $7 \times 7 \times 100$ мм:

$$y = \begin{cases} -4,576 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 + 1,424 \cdot x + 109,56, & x \in [0; 45], \\ -2,877 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 + 3,762 \cdot x - 30,01, & x \in [45; 90]; \end{cases} \quad (21)$$

где y – нормированное значение модуля упругости E_{12} , %; x – угол наклона годовых слоев к вектору приложенной нагрузки, град.

Кривые, характеризующие прочность или упругость древесины (предел прочности, условный предел прочности и модуль упругости), для образцов двух типоразмеров имеют общую точку (точку пересечения). Так, для предела прочности точке пересечения соответствует значение угла $32,2^\circ$ и значение

предела прочности 100,9%, для условного предела – 28,8° и 94,8%, для модуля упругости – 32,8° и 107,1% соответственно. Следовательно, при угле наклона $30 \pm 3^\circ$ прочность и упругость

сосны при статическом изгибе будет одинаковой для образцов стандартного размера ($20 \times 20 \times 300$ мм) и уменьшенных масштаба ($7 \times 7 \times 100$ мм).

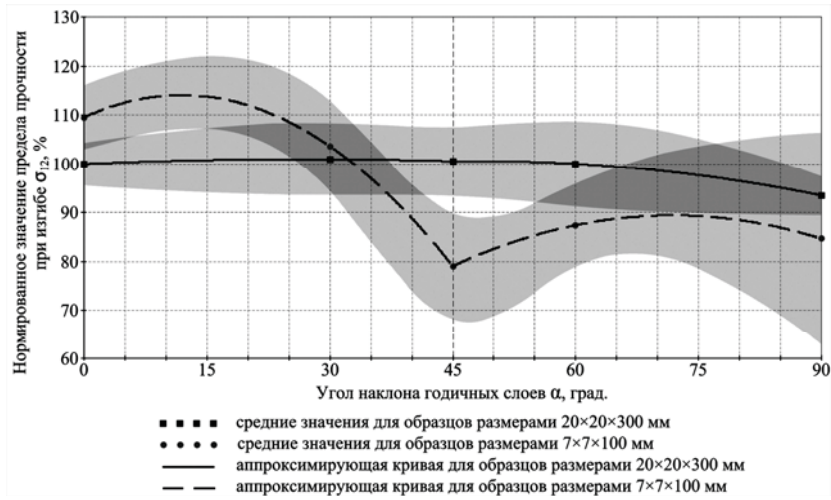


Рис. 5. Зависимость предела прочности при статическом изгибе σ_{12} от угла наклона годовых слоев к вектору приложенной нагрузки

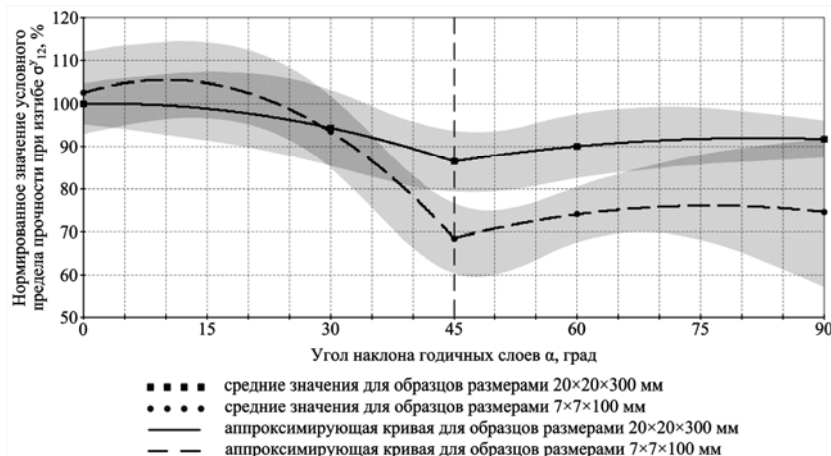


Рис. 6. Зависимость условного предела прочности при статическом изгибе σ_{12}^y от угла наклона годовых слоев к вектору приложенной нагрузки

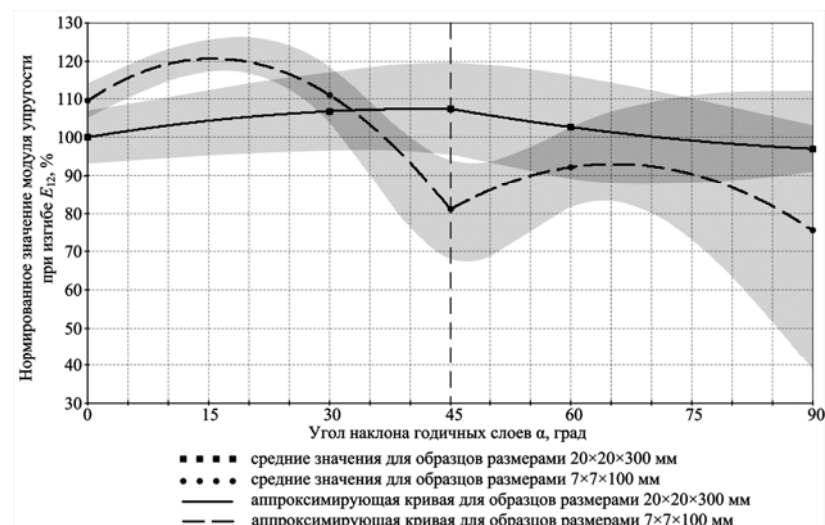


Рис. 7. Зависимость модуля упругости при статическом изгибе E_{12} от угла наклона годовых слоев к вектору приложенной нагрузки

По результатам анализа полученных экспериментальных данных для образцов стандартных размеров уровень вариации при любом угле наклона годовичных слоев к рабочей плоскости образца незначителен, т. е. для определения свойств могут использоваться образцы смешанной распиловки (рис. 8–10). В то же

время для определения механических свойств древесины при статическом изгибе на уменьшенных в масштабе образцах оптимальным является радиальный изгиб, а также изгиб, при котором угол наклона годовичных слоев по отношению к приложенной нагрузке находится в интервалах $0 \div 35^\circ$ и $52 \div 64^\circ$.

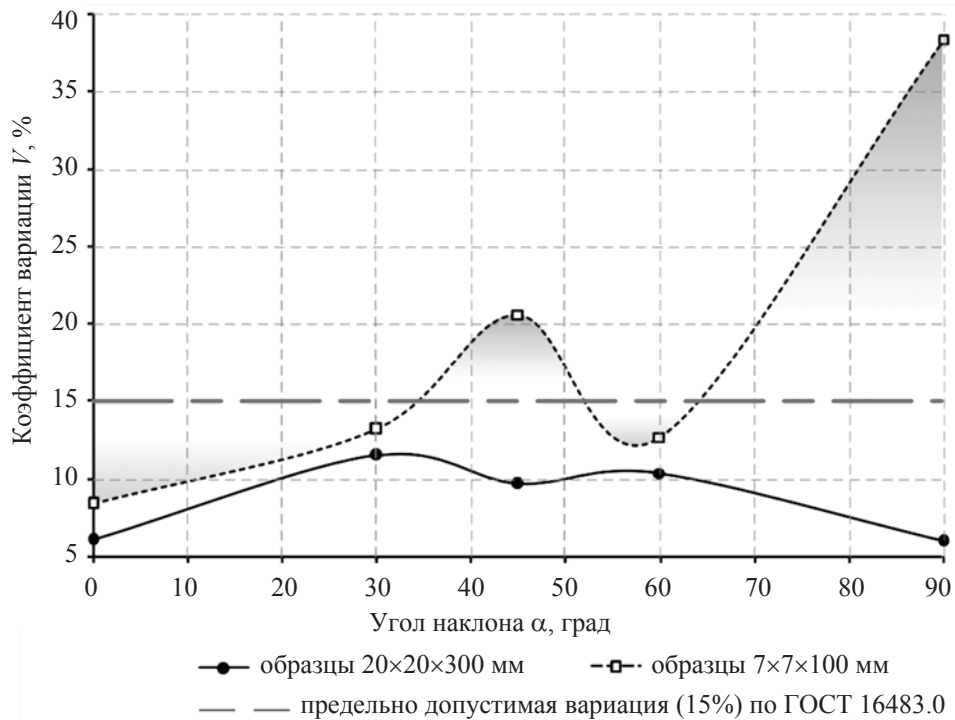


Рис. 8. Зависимость коэффициента вариации предела прочности при статическом изгибе σ_{12} от угла наклона годовичных слоев к вектору приложенной нагрузки

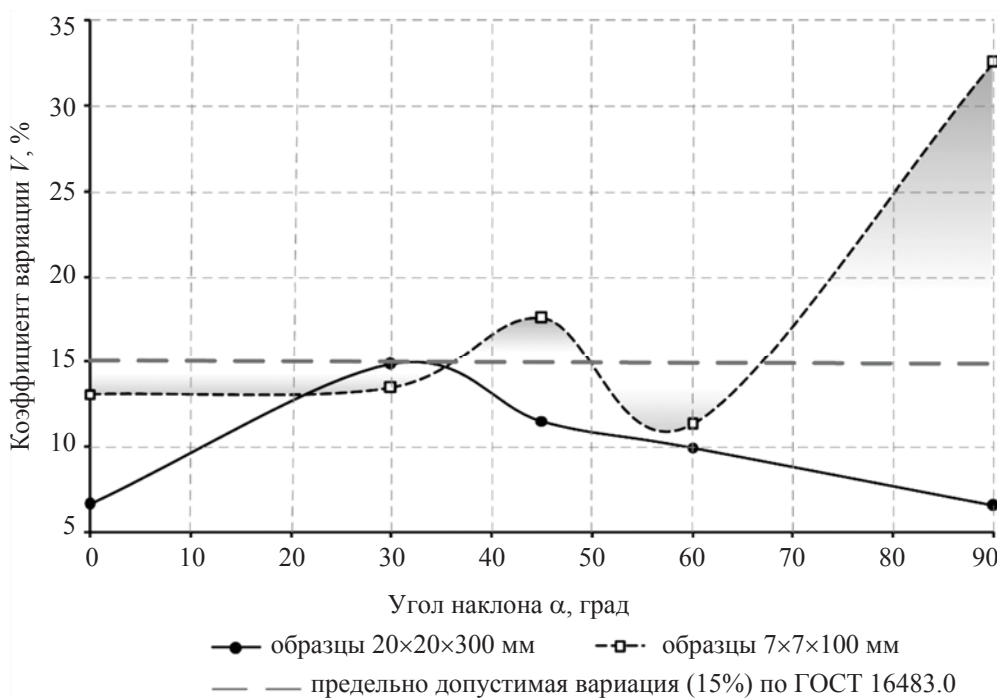


Рис. 9. Зависимость коэффициента вариации условного предела прочности при статическом изгибе σ_{12}^y от угла наклона годовичных слоев к вектору приложенной нагрузки

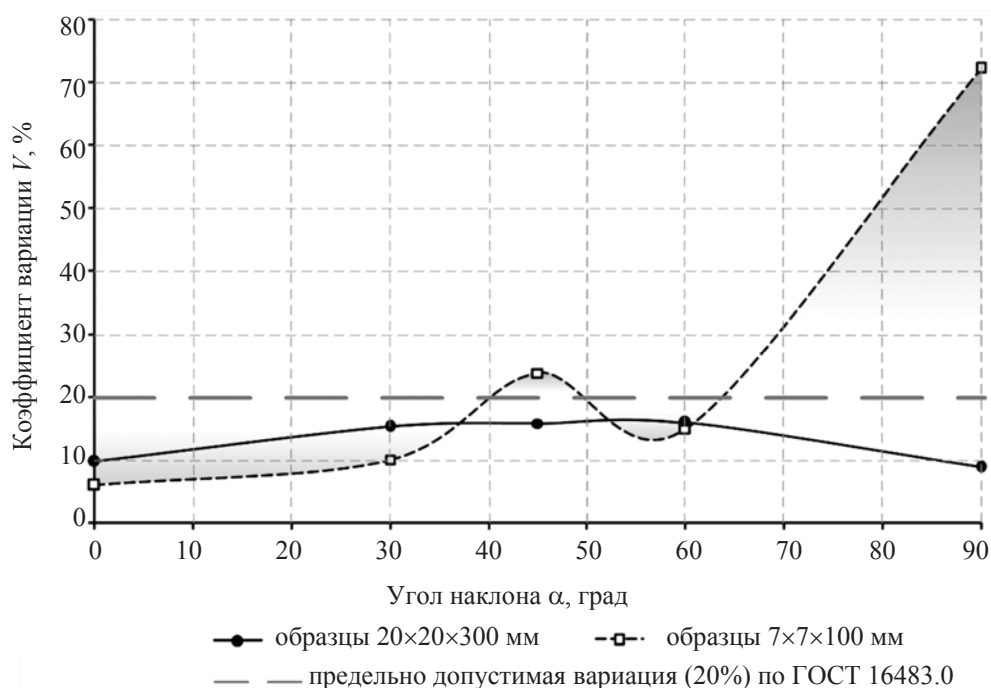


Рис. 10. Зависимость коэффициента вариации модуля упругости при статическом изгибе E_{12} от угла наклона годовых слоев к вектору приложенной нагрузки

Этот аспект частично решает противоречие между полученными нами результатами и убеждениями Ю. С. Соболева по поводу коэффициента вариации значений предела прочности при изгибе для образцов размерами меньше, чем стандартные, за счет того, что при эксперименте Соболев, скорее всего, не учел или недостаточно жестко выдержал ориентацию годовых слоев в образцах, что часто случается в практике испытаний древесины. Кроме этого, он проводил эксперимент по 4-точечной схеме нагружения образца, которая отличается от 3-точечной различием возникающих внутренних напряжений под нажимными ножами.

Заключение. Задача ресурсосбережения в области испытания материалов путем уменьшения расхода древесины с использованием образцов уменьшенных размеров актуальна.

Значения предела прочности, условного предела прочности и модуля упругости при изгибе в случае, когда невозможно использовать стандартные образцы, можно определить при испытании образцов уменьшенных в масштабе размеров с последующим пересчетом к стандартным значениям по формулам (1)–(15). При испытании образцов размерами $7 \times 7 \times 100$ мм с углом наклона годовых слоев к вектору приложенной нагрузки, равному 30° , значения прочностных показателей можно не пересчитывать, а принимать за стандартные.

Если при изготовлении образцов стандартных размеров нарушено требование ориентации годовых слоев относительно граней, испытание на статический изгиб также возможно, а определенные при этом значения прочности и

упругости не нуждаются в пересчете, если угол наклона годовых слоев к вектору приложенной нагрузки при испытании находился в интервале $(0 \div 60)^\circ$. При необходимости пересчета прочностных показателей при тангенциальном и радиальном изгибах следует пользоваться эмпирическими формулами (16), (18) и (20).

Испытания уменьшенных в масштабе образцов необходимо производить при строгом соблюдении требований ориентации.

Полученные результаты могут быть использованы для оценки состояния древесины, имеющейся в ограниченном количестве.

Литература

1. Соболев, Ю. С. Древесина как конструкционный материал / Ю. С. Соболев. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 234 с.
2. Волынский, В. Н. Особенности проявления масштабного фактора при изгибе древесины / В. Н. Волынский // Лесной журнал. – 1990. – № 2. – С. 75–78.
3. Древесина. Методы определения предела прочности при статическом изгибе: ГОСТ 16483.3-84. – Введ. 01.07.85. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 6 с.
4. Федосенко, И. Г. Некоторые особенности измерения показателей прочности археологической древесины / И. Г. Федосенко // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. промышленность. – 2007. – Вып. XV. – С. 193–196.
5. Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям: ГОСТ 16483.0-89. – Введ. 01.07.90. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 13 с.