

УДК 539.42;53.083

И. Г. Федосенко, ассистент (БГТУ)

СПОСОБЫ ОЦЕНКИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО КОЛИЧЕСТВА МАТЕРИАЛА

Статья посвящена разработке способов оценки механических свойств древесины в условиях ограниченного количества материала. В качестве направления решения поставленной задачи предложено использовать образцы уменьшенных в масштабе размеров. Анализируется возможность реализации и практическая значимость принятого решения. Для анализа используются результаты испытаний уменьшенных образцов по определению предела прочности, условного предела прочности и модуля упругости, а также статической твердости. Для реализации эксперимента разработаны новые приспособления ПСИМ-4 и ПСИУМ-6, позволяющие применять метод испытаний древесины на статический изгиб и твердость на образцах уменьшенных размеров. Разработаны методы определения твердости и прочностных свойств древесины на образцах уменьшенных размеров.

This article is devoted exploitation of methods of an estimate of strength properties of wood in the conditions of the material limited quantities. As a directions of the solution of a task in view it is offered to use specimens of the sizes reduced in scale. Possibility of implementation and the practical significance of the made solution is analysed. For the analysis use effects of trials of the reduced samples by definition an module of rupture, a conventional module of rupture, a module of elasticity and a static hardness. New accessories PSIM-4 and PSIUM-6 are developed for experiment implementation. This allowing to syn a wood test method on a static bending and hardness on specimens of pricked sizes. Methods of determination of hardness and strenth properties of wood on samples of reduced sizes are devised.

Введение. Древесина представляет собой неоднородный материал, включающий структурные элементы различной прочности. На физико-механические свойства древесины оказывают влияние пороки, образующиеся при росте дерева, дефекты, возникающие при механической обработке и в процессе эксплуатации. При изучении механических свойств древесины попадание дефектных мест в исследуемые образцы трудно поддается контролю. Ситуация многократно усложняется при испытании сильно поврежденной деградированной и археологической древесины. Изготовление образцов с размерами и качеством, регламентированными действующими стандартами, очень часто не представляется возможным, что обусловлено ограниченным количеством материала и наличием в нем многочисленных трещин и других дефектов. Проблемы с получением необходимого количества образцов возникают также при испытании ценных пород древесины и древесины, пропитанной защитными средствами. Указанные трудности могут быть разрешены путем проведения механических испытаний на образцах уменьшенных размеров.

Основная часть. Проведенный анализ нормативной документации по методологии механических испытаний древесины показал, что в настоящее время отсутствуют методы и устройства, которые позволили бы провести испытания образцов древесины с уменьшенными линейными размерами. Это явилось основанием для разработки и изготовления приспособлений ПСИМ-6 (рис. 1) и ПСИУМ-4 (рис. 2)

к разрывным машинам Р-5 и Р-0,5, которые позволяют реализовать метод испытаний древесины на статический изгиб на образцах уменьшенных размеров. Отличительными особенностями этих приспособлений являются использование в качестве опор и пуансона сменных стальных цилиндров требуемого диаметра и возможность установки между опорами пролета заданной величины. Приспособление ПСИУМ-4 дополнительно оснащено индикатором перемещения груза, а также системой компенсации горизонтального смещения.

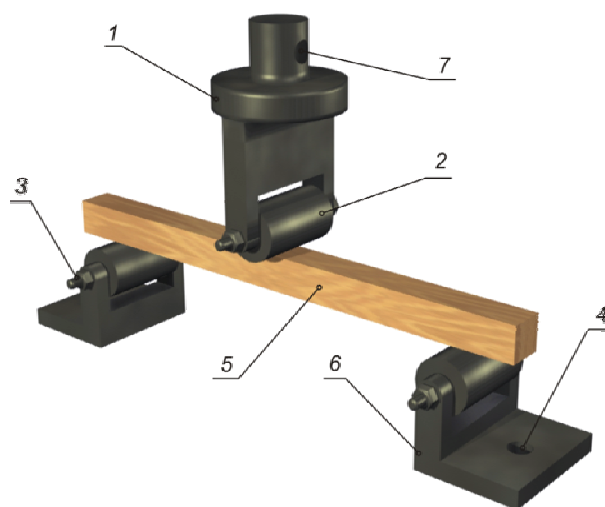


Рис. 1. Приспособление ПСИМ-6:
1 – пуансон; 2 – цилиндр; 3 – болт; 4 – отверстие для крепления на неподвижной траверсе силоизмерителя; 5 – образец; 6 – опора; 7 – отверстие крепления к подвижной траверсе

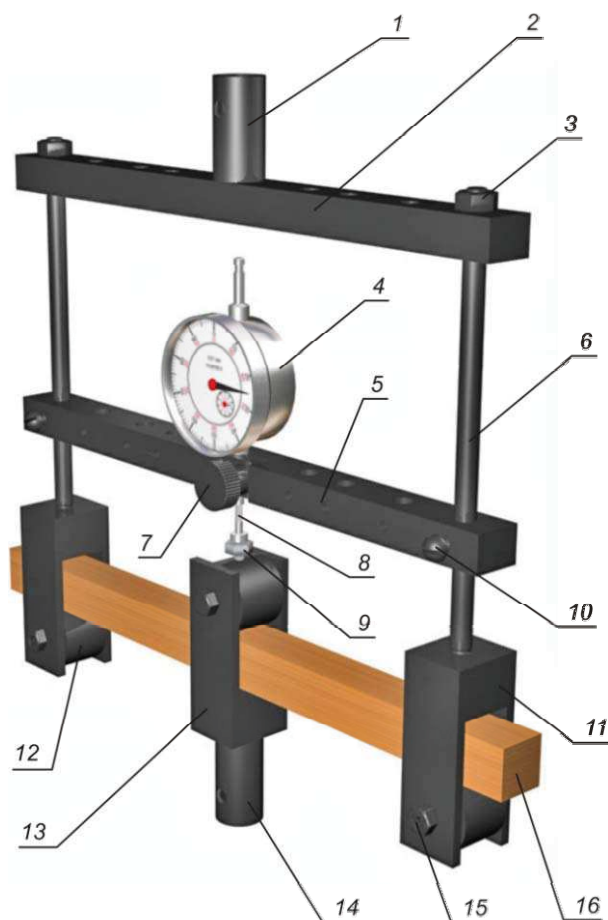


Рис. 2. Приспособление ПСИУМ-4:
 1 и 14 – переходники;
 2 и 5 – направляющие планки;
 3 – гайка; 4 – индикатор часового типа;
 6 – подвес; 7, 9 и 10 – винт;
 8 – шток; 11 – опорная вилка;
 12 – цилиндрическая опора;
 13 – вилка пуансона; 16 – образец древесины

Предлагаемый способ определения предела прочности древесины при статическом изгибе включает изготовление образцов в форме прямоугольной призмы с расположением годичных слоев параллельно грани, размещение образцов радиальной поверхностью на двух опорах, равномерное нагружение образца сосредоточенной силой в середине пролета в направлении касательной к годичным кольцам, измерение максимальной нагрузки, вызывающей разрушение образцов. Для испытания используют образцы уменьшенных в масштабе размеров, а также применяют опоры и пуансон цилиндрической формы, диаметр которых равен 30-кратному, а расстояние между опорами – 240-кратному масштабу. Для определения условного предела прочности и модуля упругости при использовании приспособления ПСИУМ-4 во время нагружения индикатором измеряют прогиб образца под пуансоном через равные интервалы прира-

щения нагрузки. Расчет величины предела прочности, условного предела прочности и модуля упругости производят в соответствии с методами испытания малых чистых образцов.

Изучено влияние технических параметров на результаты испытаний. В качестве этих параметров выступали толщина образца (h), пролет между опорами (L) и диаметр опор (D). Было показано, что последний из перечисленных факторов незначительно влияет на определяемый показатель прочности. Влияние двух других оказалось более значимым и с достаточной точностью описывается экспоненциальным уравнением (рис. 3).

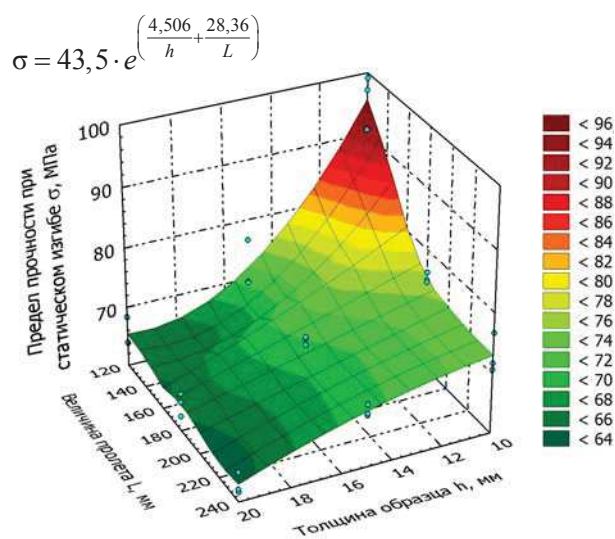


Рис. 3. Зависимость предела прочности при статическом изгибе от толщины образца и пролета

Установлено влияние масштаба испытаний на результат определения предела прочности при статическом изгибе. Показано, что для всех исследованных пород древесины этот показатель прочности увеличивается с уменьшением масштаба (рис. 4). Особенно этот эффект заметен при испытании древесины сосны и осины. В случае березовой, дубовой и ольховой древесины влияние масштаба на результат испытаний значительно меньше.

Логарифмические уравнения, полученные в результате аппроксимации экспериментальных данных, были использованы для вывода математических зависимостей и построения диаграмм, связывающих пределы прочности при статическом изгибе, полученные при испытаниях стандартным ($\sigma_{ст}$) и масштабным ($\sigma_{м}$) методами. В частности, для древесины сосны зависимость имеет вид

$$\sigma_{ст} = \frac{\sigma_{м}}{1 - 0,2134 \cdot \ln M}$$

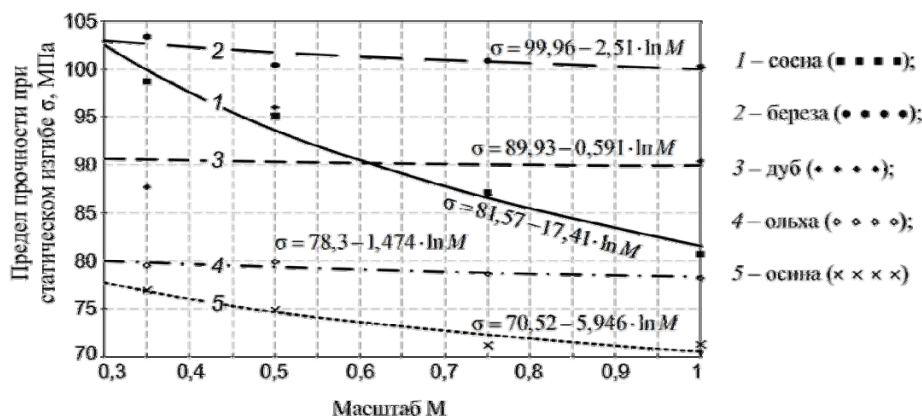


Рис. 4. Зависимость предела прочности при статическом изгибе древесины различных пород от масштаба испытаний

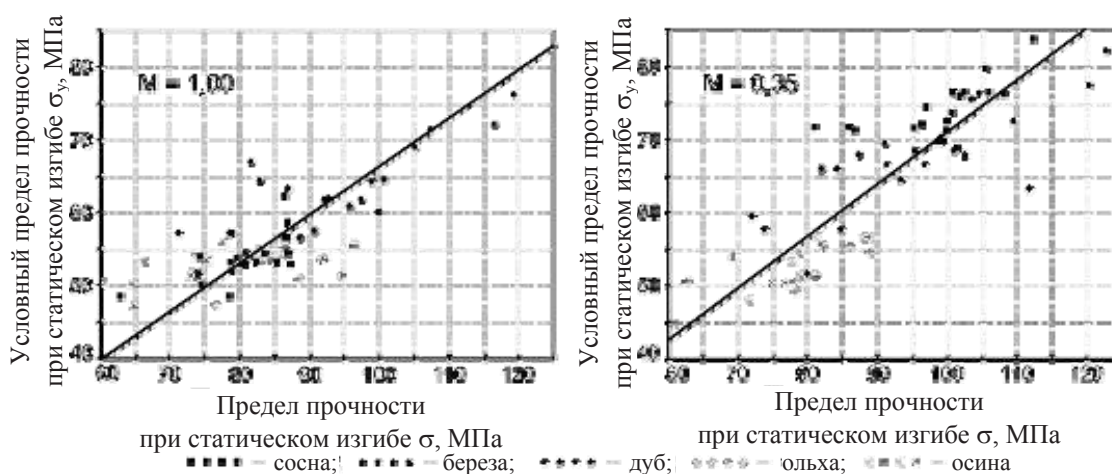


Рис. 5. Корреляционное поле «предел прочности при изгибе – условный предел прочности при изгибе»

Важным показателем прочности древесины как конструкционного материала является условный предел прочности при статическом изгибе. Этот параметр показывает, до какого уровня внешнего нагружения зависимость деформации древесины от нагрузки соответствует закону Гука. Выполненные исследования свидетельствуют, что условный предел прочности существенно зависит от масштаба только в случае сосновой древесины. Для остальных пород этот показатель прочности с уменьшением масштаба практически не изменяется. Анализ большого объема экспериментального материала позволил установить тесную корреляционную связь между пределом прочности при статическом изгибе и условным пределом прочности, которая не зависит ни от масштаба испытаний, ни от породы испытываемой древесины (рис. 5).

Показано, что условный предел прочности связан с пределом прочности при статическом изгибе выражением $\sigma_y = 0,70 \cdot \sigma$, которое очень удобно для практического использования.

Изучено влияние масштаба испытаний на результат определения модуля упругости при статическом изгибе. Показано, что масштабный

метод испытаний древесины на статический изгиб позволяет получить значения модуля упругости, не отличающиеся от аналогичных значений, полученных с применением стандартного метода испытаний.

В условиях ограниченного количества испытываемого материала добиться параллельности годичных слоев одной из граней у всех изготавливаемых образцов бывает очень сложно. Несоблюдение же требования радиального изгиба с высокой вероятностью приводит к искажению результатов определения предела прочности и модуля упругости при изгибе. В связи с этим было изучено влияние угла наклона годичных слоев к направлению приложения нагрузки (α) на результаты испытаний древесины.

Установлено, что увеличение угла α всегда приводит к уменьшению значений прочности древесины. Однако при испытании древесины стандартным методом (масштаб испытаний $M = 1,00$) снижение не столь заметно, как при использовании масштабного метода ($M = 0,35$). В первом случае предел прочности при статическом изгибе с увеличением угла наклона от 0 до 90° уменьшился

с 83,8 до 78,3 МПа, т. е. на 6,6%. Во втором случае прочность уменьшилась на 22,7% – с 91,7 до 70,9 МПа. Таким образом получается, что угол наклона годовичных слоев к направлению прилагаемого усилия в масштабном методе испытания древесины существенно влияет на конечный результат.

В этой связи было выведено уравнение, которое позволяет корректировать результаты определения предела прочности при изгибе при испытаниях масштабным методом на образцах с различными углами наклона годовичных слоев. Оно имеет следующий вид:

$$\sigma_{\text{ст}} = 0,01 \cdot \sigma_{0,35} (92,05 + 0,257 \cdot \alpha) + 0,057 \cdot \alpha.$$

Аналогичное уравнение было получено и для условного предела прочности при статическом изгибе.

Такие же исследования, выполненные в отношении модуля упругости при статическом изгибе, свидетельствуют, что этот показатель не зависит от угла наклона годовичных слоев к направлению приложения нагрузки в диапазоне его изменения от 0 до 45°.

Определение твердости в условиях ограниченного количества материала по стандартному методу затруднительно, т. к. ГОСТ 16483.17-81 предусматривает испытание достаточно больших образцов с размерами 50×50×50 мм.

Предложено для оценки твердости древесины использовать размеры отпечатка, оставляемого на образцах цилиндрическим пуансоном при проведении испытаний на статический изгиб. Правомерность этого подтверждена наличием зависимости между значениями твердости, определенными стандартным методом и французским, основанным на измерении глубины отпечатка цилиндрического индентора. Установлено, что статическая твердость древесины в поперечном направлении практически не зависит от структурного направления испытываемой поверхности. Значения твердости, полученные на радиальной и тангенциальной поверхностях, различаются не более чем на 1,4–9,0%. Полученный вывод важен для разрабатываемого метода, т. к. при проведении испытаний на статический изгиб пуансон всегда воздействует, а значит, и оставляет отпечаток на радиальной поверхности образцов.

Для оценки твердости древесины по размерам отпечатка, оставленного на поверхности образца пуансоном, можно использовать его площадь или глубину. Правомерность этого подтвердили значения коэффициента корреляции (0,94–0,98) этих параметров с твердостью древесины, определенной стандартным методом. Предпочтение было отдано площади проекции отпечатка, более удобной для измерения, чем его глубина.

Механизм формирования отпечатка на поверхности образцов при испытании на изгиб более сложный, чем при испытании на твердость французским методом. В этом случае происходит прогиб образца под действием пуансона, что может приводить к изменению формы и размера отпечатка. Кроме того, максимальное усилие, с которым пуансон воздействует на древесину, зависит от прочности образца. Экспериментальные исследования подтвердили, что для оценки твердости древесины наряду с площадью отпечатка (S , мм²) необходимо знать величину прогиба образца во время испытания (h , мм), а также значение предела прочности древесины при изгибе (σ , МПа). Получены уравнения, позволяющие рассчитать твердость древесины при проведении испытаний на стандартных образцах с размерами поперечного сечения 20×20 мм и масштабным методом на образцах сечением 7×7 мм:

$$H = -0,187 \cdot S + 18,1 \cdot h + 0,382 \cdot \sigma - 96,4;$$

$$H = -3,80 \cdot S + 47,4 \cdot h - 0,279 \cdot \sigma + 20,0.$$

Таким образом, суть разработанного метода оценки статической твердости древесины одновременно с определением предела прочности при статическом изгибе состоит в следующем. При проведении испытаний определяют предел прочности и максимальный прогиб образца. После испытания измеряют площадь отпечатка. Для этого, предварительно выпрямив образец, определяют размеры b и B (рис. 6). Площадь отпечатка определяют как произведение этих размеров. Далее выполняют расчет твердости по формулам.

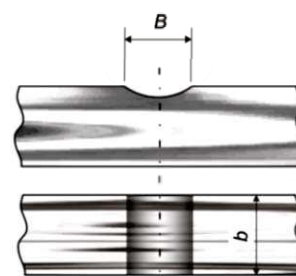


Рис. 6. Определение площади отпечатка

Заключение. Предлагаемые способы определения прочности при статическом изгибе и статической твердости древесины могут найти применение при оценке механических свойств археологической древесины, древесины, входящей в состав конструкций уникальных объектов и архитектурных памятников, древесины редких и ценных пород, пропитанной древесины, а также в других случаях, когда имеются ограничения на количество испытываемого материала.

Поступила 01.04.2010