

И. Е. Папулова

# **МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ИСПЫТАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ**

Учебное пособие



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет автоматизации машиностроения  
Кафедра машин и технологии деревообработки

И. Е. Папулова

# **МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ИСПЫТАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ**

Учебное пособие

Киров

2014

УДК 634.0.81

К 596

Рекомендовано к изданию методическим советом  
факультета автоматизации машиностроения  
ФГБОУ ВПО «ВятГУ»

Допущено редакционно-издательской комиссией методического совета  
ФГБОУ ВПО «ВятГУ» в качестве учебного пособия для студентов  
специальности 150405.65 «Машины и оборудование лесного комплекса»  
и направления 151000.62 «Технологические машины и оборудование»

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент кафедры начертательной геометрии и  
черчения ФГБОУ ВПО «ВятГУ» К. Ю. Апатов;  
технический директор ОАО «Лесной профиль», г. Киров Н. А. Салтанова

**Папулова, И. Е.**

Механические свойства и испытания древесины: учебное пособие /  
И. Е. Папулова. – Киров: ФГБОУ ВПО «ВятГУ», 2014. – 85 с.

Учебное пособие составлено в соответствии с программой курса  
древесиноведения.

В пособии изложены основные понятия и классификация основных  
механических свойств древесины, включая прочность, деформативность,  
технологические и эксплуатационные свойства, а также методы их  
определения. Приведены некоторые показатели механических свойств  
наиболее распространенных древесных пород.

Пособие подготовлено на кафедре «Машины и технологии  
деревобработки» Вятского государственного университета.

Тех. редакторы:

Е. В. Кайгородцева, А. В. Куликова

© ФГБОУ ВПО «ВятГУ», 2013

## ВВЕДЕНИЕ

С развитием рыночных отношений особенно важное значение приобретает производство высококачественной продукции из древесины. В связи с этим возникает необходимость более глубокого изучения ее физико-механических свойств, так как они оказывают непосредственное влияние на качество продукции.

В настоящее время создана основательная база для определения механических свойств древесины.

Данное пособие может помочь студентам более правильно и с меньшими затратами времени научиться определять показатели механических свойств древесины.

# 1. ПОКАЗАТЕЛИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ

## 1.1. Основные понятия о механических свойствах древесины

Под механическими свойствами понимают способность древесины сопротивляться силовому воздействию. К ним относятся прочность, деформативность, технологические и эксплуатационные свойства.

Прочность – это способность древесины сопротивляться разрушению под действием механических нагрузок. Показателями прочности являются максимальные величины напряжений, выдерживаемых древесиной без разрушений, которые называются пределами прочности. Пределы прочности различаются в зависимости от характера приложения нагрузок и направления волокон древесины.

Деформативностью называется способность древесины изменять свои размеры и форму под воздействием усилий. Показателями этого механического свойства древесины, как анизотропного материала, являются модули упругости и сдвига, коэффициенты поперечной деформации и др.

К технологическим и эксплуатационным относятся свойства древесины, имеющие непосредственное значение в практике использования древесины, как конструкционного материала и сырья.

Основные показатели механических свойств древесины приведены на рис. 1.

При решении инженерных задач по использованию древесины иногда применяют теорию упругости, а в частных и приближенных расчетах – методы сопротивления материалов.

Теория упругости представляет собой систему уравнений, включающих деформации и напряжения, которые действуют в трех взаимоперпендикулярных плоскостях. Близкая к линейной зависимость между напряжениями и деформациями наблюдается у древесины при кратковременных нагрузках до величины напряжений, соответствующих

условному пределу пропорциональности (закону Гука). Если пренебречь кривизной годичных слоев, то древесину можно считать ортотропным телом, с тремя взаимоперпендикулярными плоскостями симметрии механических свойств. Направления, нормальные к этим плоскостям являются осями симметрии или главными осями анизотропии (рис. 2):  $\alpha$  – вдоль волокон;  $r$  – радиальное направление поперек волокон;  $t$  – тангентальное направление поперек волокон по касательной к годичным слоям.

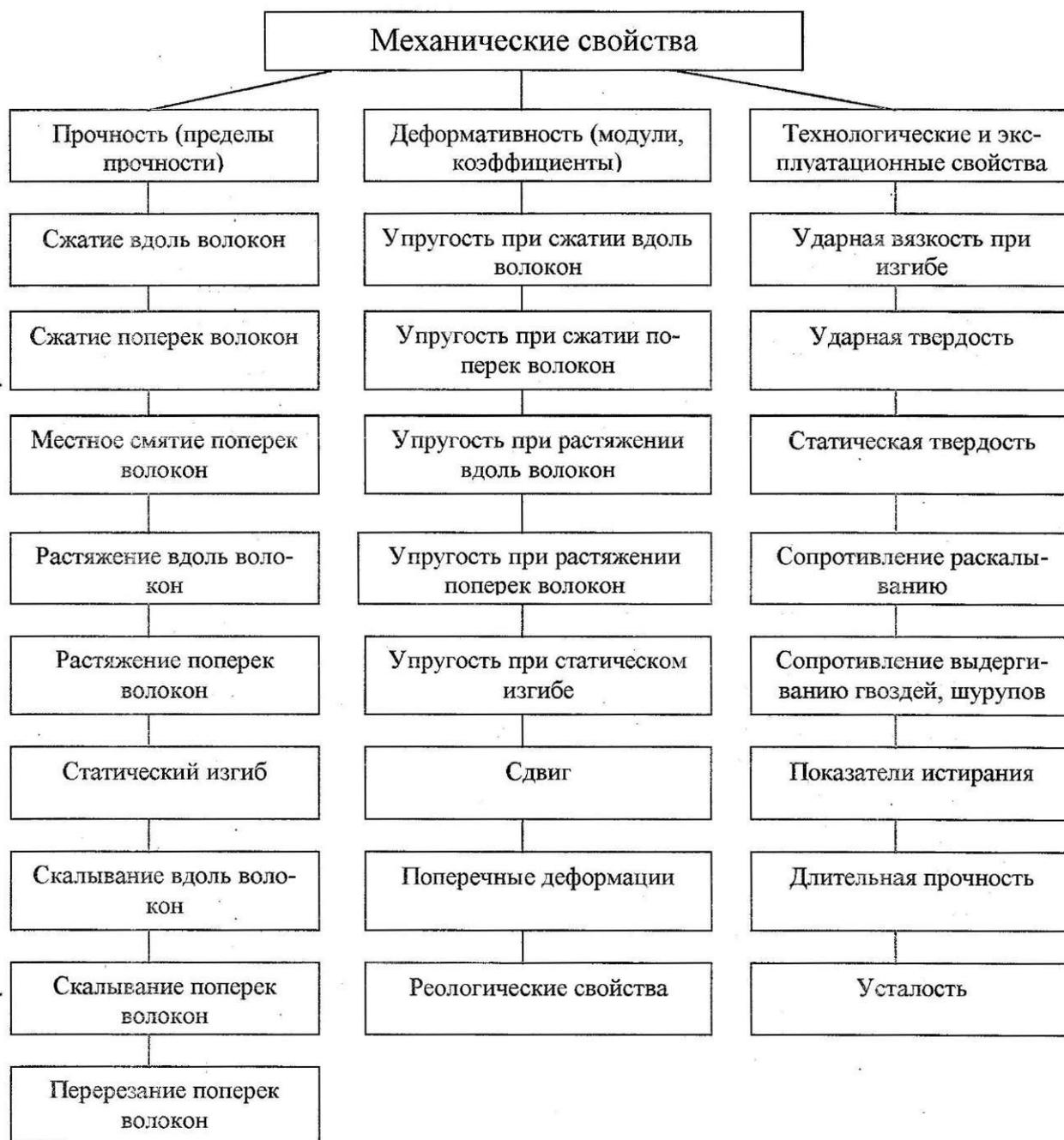


Рис. 1. Классификация показателей механических свойств древесины

Для общего случая действия нормальных ( $\sigma$ ) и касательных ( $\tau$ ) напряжений упругие деформации ортотропного тела по всем трем площадкам симметрии определяются по закону Гука, следующими уравнениями (1):

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\alpha} &= \frac{\sigma_{\alpha}}{E_{\alpha}} - \frac{\mu_{\alpha r} \sigma_r}{E_r} - \frac{\mu_{\alpha t} \sigma_t}{E_t}; & \gamma_{t\alpha} &= \frac{\tau_{t\alpha}}{G_{t\alpha}}; \\ \varepsilon_r &= \frac{\sigma_r}{E_r} - \frac{\mu_{rt} \sigma_t}{E_t} - \frac{\mu_{r\alpha} \sigma_{\alpha}}{E_{\alpha}}; & \gamma_{\alpha r} &= \frac{\tau_{\alpha r}}{G_{\alpha r}}; \\ \varepsilon_t &= \frac{\sigma_t}{E_t} - \frac{\mu_{tr} \sigma_r}{E_r} - \frac{\mu_{t\alpha} \sigma_{\alpha}}{E_{\alpha}}; & \gamma_{rt} &= \frac{\tau_{rt}}{G_{rt}};\end{aligned}\tag{1}$$

где  $\varepsilon$  – относительное удлинение или укорочение;

$\gamma$  – относительный сдвиг;

$E$  – модули упругости;

$G$  – модули сдвига;

$\mu$  – коэффициенты поперечной деформации, при этом первый индекс указывает направление поперечной деформации  $\varepsilon'$ , второй – направление вызвавшего ее напряжения. Двойные индексы у  $G$  соответствуют направлениям осей симметрии, между которыми происходит изменение прямого угла.

В отдельных элементах деревянных конструкций напряжения действуют одновременно по двум или трем взаимоперпендикулярным направлениям. В этом случае расчет ведется по критериям прочности древесины как анизотропного материала [3].

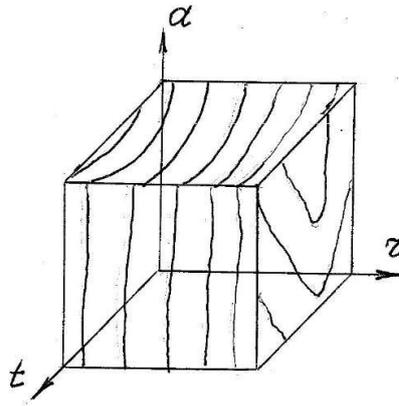


Рис. 2. Главные оси анизотропии древесины

## 1.2. Приведение показателей механических свойств древесины к нормализованной влажности

Показатели механических свойств древесины зависят от влажности. Поэтому при испытаниях определение влажности образцов является обязательным. Исследованиями установлено, что [4]:

1. При увеличении влажности древесины от 0 до 30 % показатели упругих деформаций и показатели прочности ее уменьшаются.
2. При влажности древесины 30 % и более показатели упругих деформаций и прочности практически не изменяются.

Для того чтобы можно было сопоставить результаты механических свойств древесины, полученные в различных условиях, необходимо их привести к одинаковой влажности. Эта влажность называется нормализованной и принята равной 12 %. Поэтому действующий ГОСТ [8] предусматривает метод определения влажности древесины для приведения показателей испытаний к показателям при стандартной влажности. Форма, размеры и порядок отбора проб из образцов, а также минимальное число проб указано в стандартах на соответствующие методы испытаний. На пробы наносят марки образцов, из которых они взяты, закладывают в бюксы и взвешивают с погрешностью не более 0,001 г. Бюксы со снятыми крышками помещают в сушильный шкаф с температурой  $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$ .

Высушивание проверяют повторным взвешиванием 2–3 проб. Первое взвешивание выполняют не ранее 6 часов после начала сушки мягких пород и не ранее 10 часов – твердых пород. Повторные взвешивания проводят через 2 часа. Высушивание считается законченным, когда разность между двумя последними взвешиваниями будет не более 0,001 г. Перед взвешиванием бюксы с пробами закрывают крышками и охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе с гигроскопическим веществом.

Влажность пробы ( $W$ ) в процентах вычисляют с округлением не более 0,1 % по формуле (2)

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $m_0$  – масса бюксы, г;

$m_1$  – масса бюксы с пробой до высушивания, г;

$m_2$  – масса бюксы с пробой после высушивания, г.

Для пересчета показателей механических свойств (кроме показателей деформативности) к нормализованной влажности (12%) используют формулу (3)

$$B_{12} = B_w [1 + \alpha(W - 12)], \quad (3)$$

где  $B_{12}$  – показатель данного свойства при влажности 12 %;

$B_w$  – показатель свойства при влажности  $W$ ;

$W$  – влажность древесины в момент испытаний, %;

$\alpha$  – поправочный коэффициент на влажность, показывающий насколько изменяется показатель данного свойства при изменении влажности на 1 %.

Для пересчета значений модулей упругости и сдвига, а также коэффициентов поперечной деформации используют формулу (4).

$$C_{12} = \frac{C_w}{1 - \alpha(W - 12)}, \quad (4)$$

где  $C_{12}$  – показатель свойства при влажности 12 %;

$C_w$  – показатель свойства при влажности  $W$ ;

$W$  – влажность древесины в момент испытаний, %;

$\alpha$  – поправочный коэффициент на влажность.

Подготовленные для испытаний образцы кондиционируют [8] при температуре  $(20\pm 2)^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха  $(65\pm 5)\%$  до приобретения древесиной нормализованной влажности. На эту операцию требуется 1,5–2 месяца, что не всегда возможно. Поэтому предусматриваются ускоренные способы проведения испытаний с использованием некондиционированных образцов. В этом случае полученные результаты прочности и деформативности приводятся к нормализованной влажности по следующим формулам [2]. При влажности образцов в момент испытаний 30 % и более используют формулу:

$$B_{12} = B_{30} \cdot K, \quad (5)$$

где  $B_{12}$  – показатель свойства при влажности 12 %;

$B_{30}$  – показатель свойства при влажности 30 % и более;

$K$  – пересчетный коэффициент на влажность.

При влажности образцов менее 30 % применяют формулу:

$$B_{12} = \frac{B_w}{K_{12}^w}, \quad (6)$$

где  $B_w$  – показатель свойства при данной влажности;

$K_{12}^w$  – пересчетный коэффициент на влажность.

Значения коэффициентов, требования к машинам и приспособлениям, применяемым при определении механических свойств древесины, приведены в соответствующих ГОСТах. Для определения механических свойств древесины надо использовать испытательную машину с усилием 1000–2000 Н.

### 1.3. Методы отбора образцов и общие требования при механических испытаниях

Формирование выборки осуществляется методом случайного отбора. В зависимости от структуры исследуемой совокупности (насаждение, дерево, партия лесоматериалов, отдельная доска и т. д.) отбор производят постадийно [8].

Одностадийный отбор – отбор образцов из совокупности однородных элементов (например, отбор образцов из доски).

Двухстадийный отбор состоит из двух стадий. Первая стадия – отбор групп однородных элементов из совокупности групп. Вторая стадия – отбор образцов из каждой группы однородных элементов, образовавшейся в результате первой стадии отбора (например, отбор досок из партии и последующий отбор образцов из досок).

Трехстадийный отбор состоит из трёх стадий. Первая стадия – отбор сложных групп, содержащих группы однородных элементов. Вторая стадия – отбор групп однородных элементов из каждой сложной группы, образовавшейся в результате первой стадии отбора. Третья стадия – отбор образцов из каждой группы однородных элементов, образовавшейся в результате второй стадии отбора (например, отбор модельных деревьев, последующий отбор кряжей из дерева и последующий отбор образцов из кряжей).

Многостадийный отбор применяется в случаях, когда затраты на единицу отбора первой стадии значительно превышают затраты на единицу отбора последующих стадий. В зависимости от числа стадий отбора количество образцов и групп вычисляют по формулам, округляя результаты до целого числа.

Количество образцов в выборке ( $n_1$ ) при одностадийном отборе вычисляют по формуле:

$$n_1 = \frac{t_\alpha^2 v_1^2}{d_\alpha^2}, \quad (7)$$

где –  $t_\alpha$  – квантиль распределения Стьюдента (табличное значение) [8].  
В древесиноведении доверительную вероятность ( $\alpha$ ) принято принимать равной – 0,95;

$V_1$  – коэффициент вариации, %;

$d_\alpha$  – относительная точность определения выборочного среднего с доверительной вероятностью  $d$ . Относительная точность  $d_\alpha = 5\%$  при  $V_1 < 20\%$  и  $d_\alpha = 10\%$  при  $V_1 > 20\%$ .

При двухстадийном отборе (например, сначала досок из партии, а затем образцов из доски) количество образцов из групп второй стадии отбора ( $r$ ) вычисляют по формуле:

$$r = \frac{\sigma_{22}}{\sigma_{21}} \sqrt{\frac{C_{21}}{C_{22}}} = \frac{v_{22}}{v_{21}} \sqrt{\frac{C_{21}}{C_{22}}} \quad (8)$$

Число групп первой стадии отбора ( $n_2$ ) (досок) вычисляют по формуле:

$$n_2 = \frac{t_\alpha^2 \left( v_{21}^2 + \frac{v_{22}^2}{r} \right)}{d_\alpha^2}, \quad (9)$$

где  $\sigma_{21}$ ,  $v_{21}$  – дисперсия, коэффициент вариации, характеризующие рассеяние между группами первой стадии отбора;

$\sigma_{22}$ ,  $v_{22}$  – дисперсия, коэффициент вариации, характеризующие рассеяние внутри группы первой стадии отбора;

$C_{21}$ ,  $C_{22}$  – расходы соответственно на одну группу первой стадии отбора и на один элемент второй стадии отбора.

Аналогично определяется количество образцов при трехстадийном отборе.

Количество образцов из группы второй стадии отбора ( $k$ )

$$k = \frac{\sigma_{33}}{\sigma_{32}} \sqrt{\frac{C_{32}}{C_{33}}} = \frac{v_{33}}{v_{32}} \sqrt{\frac{C_{32}}{C_{33}}} \quad (10)$$

Число групп второй стадии отбора из групп первой стадии отбора (m)

$$m = \frac{\sigma_{32}}{\sigma_{31}} \sqrt{\frac{C_{31}}{C_{32}}} = \frac{v_{32}}{v_{31}} \sqrt{\frac{C_{31}}{C_{32}}} \quad (11)$$

Число групп первой стадии отбора ( $n_3$ )

$$n_3 = \frac{t_\alpha^2 \left[ v_{31}^2 + \frac{1}{m} \left( v_{32}^2 + \frac{v_{33}^2}{k} \right) \right]}{d_\alpha^2}, \quad (12)$$

где  $\sigma_{31}$ ,  $v_{31}$  – дисперсия, коэффициент вариации, характеризующие рассеяние между группами первой стадии отбора;

$\sigma_{32}$ ,  $v_{32}$  – дисперсия, коэффициент вариации, характеризующие рассеяние между группами второй стадии отбора внутри групп первой стадии отбора;

$\sigma_{33}$ ,  $v_{33}$  – дисперсия, коэффициент вариации, характеризующие рассеяние внутри групп второй стадии отбора;

$C_{31}$  – расходы на одну группу первой стадии отбора при трехстадийном методе отбора;

$C_{32}$  – расходы на одну группу второй стадии отбора;

$C_{33}$  – расходы на один элемент третьей стадии отбора.

Древесину для изготовления образцов заготавливают в виде модельных деревьев, кряжей, пиломатериалов и заготовок, размеры которых позволяют изготовить образцы требуемой формы. На каждом этапе разделки соблюдают правила случайного отбора. Для возможной замены количество образцов должно быть на 20–50 % больше. При кондиционировании древесины для последующего изготовления образцов с нормализованной влажностью бруски и заготовки должны быть высушены при температуре ниже 60 °С. Торцы брусков и заготовок

покрывают влагозащитным составом и выдерживают в условиях, исключающих высыхание древесины.

Предельные отклонения от номинальных размеров рабочей части образца не должны превышать  $\pm 0,1$  мм. Параметр шероховатости рабочих поверхностей образцов должен быть  $R_{m \max}$  не более 100 мкм, по ГОСТ 7016-82.

В помещении, где проводят испытания, должна поддерживаться температура  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  и влажность воздуха  $(65 \pm 5)\%$ . После испытания определяют влажность и плотность образцов на пробах, вырезанных из испытанных образцов. Минимальное количество проб определяется по формуле (7).

При одностадийном отборе статистические параметры определяются по формулам 8–12.

Выборочное среднее

$$\bar{x} = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i, \quad (13)$$

где  $x_i$  – результат единичного испытания.

Выборочная оценка дисперсии  $S^2$

$$S^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \left[ \sum_{i=1}^{n_1} x_i^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^{n_1} x_i \right)^2}{n_1} \right] \quad (14)$$

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{S^2} \quad (15)$$

Коэффициент вариации

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (16)$$

Дисперсия  $(\sigma \bar{x})$  выборочного среднего  $(\bar{x})$

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{S^2}{n_1} \quad (17)$$

Среднее квадратическое отклонение выборочного среднего

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\sigma_{\bar{x}}^2} \quad (18)$$

Относительная точность определения генерального среднего с доверительной вероятностью  $\alpha$

$$d_{\alpha} = t_{\alpha} \frac{\sigma_{\bar{x}}}{\bar{x}} = t_{\alpha} \frac{v}{\sqrt{n}} \quad (19)$$

Тогда доверительный интервал генерального среднего определяется соотношением

$$\bar{x} - t_{\alpha} \sigma_{\bar{x}} \leq \bar{x} \leq \bar{x} + t_{\alpha} \sigma_{\bar{x}} \quad (20)$$

Пример 1. Для определения высоты деревьев в насаждении ели отобрано 15 деревьев ( $n_1=15$ ), результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений высоты деревьев (в метрах)

Деревья	$X_i$	$X_i^2$
1	28	784
2	26	702
3	31	961
4	29	841
5	32	1024
6	27	729
7	25	625
8	26	676
9	27	729
10	38	784
11	30	900
12	30	900
13	38	1444
14	31	961
15	34	1156

$$\sum_{i=1}^{n_1} X_i = 442 \quad \sum_{i=1}^{n_1} X_i^2 = 13216$$

Выборочное среднее по формуле (13) -  $\bar{x}_i = 29,47$ .

Выборочная оценка дисперсии  $S^2$  по формуле (14)

$$S^2 = \frac{1}{15-1} \left( 13216 - \frac{442^2}{15} \right) = 13,7$$

Среднее квадратическое отклонение по формуле (15)

$$\sigma = \sqrt{13,7} = 3,7$$

Коэффициент вариации по формуле (16)

$$v = 12,56\%$$

Дисперсия ( $\sigma^2 \bar{x}$ ) выборочного среднего ( $\bar{x}$ ) по формуле (17)

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = 0,91$$

Среднее квадратическое отклонение выборочного среднего по формуле (18)

$$\sigma_{\bar{x}} = 0,96$$

Относительная точность определения генерального среднего с доверительной вероятностью  $\alpha = 0,95$  по формуле (19)

$$d_{\alpha} = 2,145 \cdot \frac{0,96}{29,47} \cdot 100 = 6,99\%$$

Доверительный интервал генерального среднего определяется по формуле (20) и находится в диапазоне 27,41-31,53 м или  $29,47 \pm 2,06$  м.

При двухстадийном отборе выборочная средняя ( $y_i$ ) испытываемого свойства в  $i$ -й группе первой стадии отбора определяется по формуле:

$$\bar{y}_i = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r y_{ij} \quad (21)$$

где  $y_{ij}$  – значение испытываемого свойства, определенное для  $j$ -го элемента,  $i$ -й группы первой стадии отбора.

Общая выборочная средняя ( $\bar{y}$ )

$$\bar{y} = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} \bar{y}_i = \frac{1}{n_2 r} \sum_{i=1}^{n_2} \sum_{j=1}^r y_{ij} \quad (22)$$

Выборочная оценка дисперсии ( $S_{21}^2$ )' характеризующая расстояние между группами первой стадии отбора,

$$S_{21}^2 = \frac{r}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (\bar{y}_i - \bar{y})^2 = \frac{1}{(n_2 - 1)r} \left[ \sum_{i=1}^{n_2} \left( \sum_{j=1}^r y_{ij} \right)^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^{n_2} \sum_{j=1}^r y_{ij} \right)^2}{n_2} \right] \quad (23)$$

Выборочная оценка дисперсии ( $S_{22}^2$ ), характеризующая расстояние внутри групп первой стадии отбора,

$$S_{22}^2 = \frac{1}{n_2(r-1)} \sum_{i=1}^{n_2} \sum_{j=1}^r (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 = \frac{1}{n_2(r-1)} \left[ \sum_{i=1}^{n_2} \sum_{j=1}^r y_{ij}^2 - \frac{\sum_{i=1}^{n_2} \left( \sum_{j=1}^r y_{ij} \right)^2}{r} \right] \quad (24)$$

Генеральная средняя

$$\bar{Y} = \bar{y} \quad (25)$$

Дисперсия ( $\sigma_{21}^2$ ) между группами первой стадии отбора

$$\sigma_{21}^2 = \frac{S_{21}^2 - S_{22}^2}{r} \quad (26)$$

Дисперсия ( $\sigma_{22}^2$ ) внутри групп первой стадии отбора

$$\sigma_{22}^2 = S_{22}^2 \quad (27)$$

Дисперсия  $\sigma_{\bar{y}}^2$ , выборочной средней  $\bar{y}$

$$\sigma_{\bar{y}}^2 = \frac{1}{n_2} \left( \sigma_{21}^2 + \frac{\sigma_{22}^2}{r} \right) = \frac{S_{21}^2}{n_2 r} \quad (28)$$

Коэффициент вариации ( $v_{21}$ ) между группами первой стадии отбора

$$v_{21} = \frac{\delta_{21}}{y} \cdot 100 \quad (29)$$

Коэффициент вариации ( $v_{22}$ ) внутри групп первой стадии отбора

$$v_{22} = \frac{\delta_{22}}{y} \cdot 100 \quad (30)$$

Пример 2. Для определения плотности древесины пиломатериалов сечением  $16 \times 100$  мм длиной 2 м отобраны 4 доски ( $n_2=4$ ), из каждой доски отобрано по 3 образца ( $r=3$ ). Результаты измерений сведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерений плотности, кг/м<sup>3</sup>

Образцы				$\sum_{j=1}^3 y_{ij}$	$\left(\sum_{j=1}^3 y_{ij}\right)^2$
Доски	1	2	3		
1	580	580	508	1668	2782224
2	455	447	433	1335	1782225
3	471	492	460	1423	2024929
4	427	400	389	1216	1478656
				5642	8068034

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 y_{ij}^2 = 580^2 + 580^2 + \dots + 400^2 + 389^2 = 2694342$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n_2 r} \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 y_{ij} = \frac{5642}{12} = 470$$

$$S_{21}^2 = \frac{1}{(4-1)3} \left[ \sum_{i=1}^4 \left( \sum_{j=1}^3 y_{ij} \right)^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 y_{ij} \right)^2}{4} \right] = \frac{1}{9} \left( 8068034 - \frac{5642^2}{4} \right) = 12221$$

$$S_{22}^2 = \frac{1}{4(3-1)} \left[ \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 y_{ij}^2 - \frac{\sum_{i=1}^4 \left( \sum_{j=1}^3 y_{ij} \right)^2}{3} \right] = \frac{1}{8} \left( 2694342 - \frac{8068034}{3} \right) = 625$$

$$\sigma_{21}^2 = \frac{S_{21}^2 - S_{22}^2}{r} = \frac{12221 - 625}{3} = 3865; \quad \sigma_{22}^2 = S_{22}^2 = 625$$

$$\sigma_{\bar{y}}^2 = \frac{12221}{4 \cdot 3} = 1018$$

$$v_{21} = \frac{62}{470} \cdot 100 = 13,2\%; \quad v_{22} = \frac{25}{470} \cdot 100 = 5,3\%$$

$$\sigma_{\bar{y}} = 31,9; \quad d_{\alpha} = 2,2 \frac{31,9}{470} \cdot 100 = 15\%$$

Доверительный интервал генерального среднего определяется по формуле (20) и находится в диапазоне 400–540 кг/м у = 470 ± 70 кг/м.

При трехстадийном отборе выборочная средняя ( $\bar{z}_{ij}$ ) испытываемого свойства, в  $j$ -й группе второй стадии отбора, взятой из  $i$ -й группы первой стадии отбора

$$\bar{z}_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{v=1}^K z_{ijv} \quad (31)$$

где  $z_{ijv}$  – значение испытываемого свойства, определенное для  $v$ -го образца,  $j$ -й группы второй стадии отбора, взятой из  $i$ -й группы первой стадии отбора.

Выборочная средняя  $\bar{z}_{ij}$  в  $i$ -й группы первой стадии отбора

$$\bar{z}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \bar{z}_{ij} = \frac{1}{mk} \sum_{j=1}^m \sum_{v=1}^K z_{ij} \quad (32)$$

Общая выборочная средняя  $\bar{z}_i$

$$\bar{z} = \frac{1}{n_3} \sum_{i=1}^{n_3} z_i = \frac{1}{kmn_3} \sum_{i=1}^{n_3} \sum_{j=1}^m \sum_{v=1}^K z_{ijv} \quad (33)$$

Выборочная оценка дисперсии ( $S_{31}^2$ ), характеризующая расстояние между группами первой стадии отбора

$$S_{31}^2 = \frac{km}{n_3 - 1} \sum_{i=1}^{n_3} (\bar{z}_i - \bar{z})^2 = \frac{1}{(n_3 - 1)_{mk}} \left[ \sum_{i=1}^{n_3} \left( \sum_{j=1}^m \sum_{v=1}^K z_{ijv} \right)^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^{n_3} \sum_{j=1}^m \sum_{v=1}^K z_{ijv} \right)^2}{n_3} \right] \quad (34)$$

Выборочная оценка дисперсии ( $S_{32}^2$ ), характеризующая расстояние между группами второй стадии отбора внутри группы первой стадии отбора

$$S_{32}^2 = \frac{K}{n_3(m-1)} \sum_{i=1}^{n_3} \sum_{j=1}^m (\bar{z}_i - \bar{z})^2 = \frac{1}{n_3(m-1)K} \left[ \sum_{i=1}^{n_3} \sum_{j=1}^m \left( \sum_{v=1}^K z_{ijv} \right)^2 - \frac{\sum_{i=1}^{n_3} \left( \sum_{j=1}^m \sum_{v=1}^K z_{ijv} \right)^2}{m} \right] \quad (35)$$

Выборочная оценка дисперсии ( $S_{33}^2$ ) характеризующая расстояние внутри групп второй стадии отбора

$$S_{33}^2 = \frac{1}{n_3 m(K-1)} \sum_{i=1}^{n_3} \sum_{j=1}^m \sum_{v=1}^K (z_{ijv} - \bar{z})^2 = \frac{1}{n_3 m(K-1)} \left[ \sum_{i=1}^{n_3} \sum_{j=1}^m \sum_{v=1}^K z_{ijv}^2 - \frac{\sum_{i=1}^{n_3} \sum_{j=1}^m \left( \sum_{v=1}^K z_{ijv} \right)^2}{K} \right] \quad (36)$$

Генеральная средняя  $\bar{Z}$

$$\bar{Z} = \bar{z} \quad (37)$$

Дисперсия ( $\sigma_{31}^2$ ) между группами первой стадии отбора

$$\sigma_{31}^2 = \frac{S_{31}^2 - S_{32}^2}{km} \quad (38)$$

Дисперсия ( $\sigma_{32}^2$ ) между группами второй стадии отбора внутри групп первой стадии отбора

$$\sigma_{32}^2 = \frac{S_{32}^2 - S_{33}^2}{k} \quad (39)$$

Дисперсия ( $\sigma_{33}^2$ ) внутри групп второй стадии отбора

$$\sigma_{33}^2 = S_{33}^2 \quad (40)$$

Дисперсия ( $\sigma_z^2$ ) выборочной средней z

$$\sigma_z^2 = \frac{1}{n_3} \left[ \sigma_{31}^2 + \frac{1}{m} \left( \sigma_{32}^2 + \frac{\sigma_{33}^2}{k} \right) \right] \quad (41)$$

Коэффициент вариации ( $v_{31}$ ) между группами первой стадии отбора

$$v_{31} = \frac{\sigma_{31}}{\bar{z}} \cdot 100 \quad (42)$$

Коэффициент вариации ( $v_{32}$ ) между группами второй стадии отбора внутри групп первой стадии отбора

$$v_{32} = \frac{\sigma_{32}}{\bar{z}} \cdot 100 \quad (43)$$

Коэффициент вариации ( $v_{33}$ ) внутри групп второй стадии отбора

$$v_{33} = \frac{\sigma_{33}}{\bar{z}} \cdot 100 \quad (44)$$

Пример 3. Для определения плотности древесины пиломатериалов сечением 40x250 мм и длиной 6,5 м отобраны 4 доски ( $n_3=4$ ), из каждой доски по 3 заготовки ( $m=3$ ), из каждой заготовки по 2 образца ( $k=2$ ). Результаты измерений сведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты изменений плотности, кг/м<sup>3</sup>

Доски	Заготовки	Образцы		$\sum_{v=1}^2 z_{ijv}$	$\left(\sum_{j=1}^3 \sum_{v=1}^2 z_{ijv}\right)^2$	$\sum_{j=1}^3 \sum_{v=1}^2 z_{ijv}$	$\left(\sum_{v=1}^2 z_{ijv}\right)^2$
1	1	580	588	1168	1364224	3272	10705984
	2	580	531	1111	1234321		
	3	508	485	993	986049		
2	1	455	453	908	824464	2658	7064964
	2	447	438	885	783225		
	3	433	432	865	748225		
3	1	471	481	952	906304	2841	8071281
	2	492	482	974	948676		
	3	460	455	915	837225		
4	1	427	411	838	702244	2393	5726449
	2	400	394	794	630436		
	3	389	372	761	579121		
				11164	10544514		31568678

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 \sum_{v=1}^2 z_{ijv}^2 = 580^2 + 588^2 + \dots + 389^2 + 372^2 = 5274200$$

$$S_{31}^2 = \frac{1}{(4-1)3 \cdot 2} = \left[ \sum_{i=1}^4 \left( \sum_{j=1}^3 \sum_{v=1}^2 z_{ijv} \right)^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 \sum_{v=1}^2 z_{ijv} \right)^2}{4} \right] = \frac{1}{18} \left( 31568678 - \frac{11164^2}{4} \right) = 22775$$

$$S_{32}^2 = \frac{1}{4(3-1)2} \left[ \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 \left( \sum_{v=1}^2 z_{ijv} \right)^2 - \frac{\sum_{i=1}^4 \left( \sum_{j=1}^3 \sum_{v=1}^2 z_{ijv} \right)^2}{3} \right] = \frac{1}{16} \left( 10544514 - \frac{31568678}{3} \right) = 1351$$

$$S_{33}^2 = \frac{1}{4 \cdot 3(2-1)} \left[ \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 \sum_{v=1}^2 z_{ijv}^2 - \frac{\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 \left( \sum_{v=1}^2 z_{ijv} \right)^2}{2} \right] = \frac{1}{12} \left( 5274200 - \frac{10544514}{2} \right) = 162$$

$$\bar{Z} = \bar{z} = 465 \quad \sigma_{31}^2 = \frac{S_{31}^2 - S_{32}^2}{km} = \frac{22775 - 1351}{2 \cdot 3} = 3571$$

$$\sigma_{32}^2 = \frac{S_{32}^2 - S_{33}^2}{k} = \frac{1351 - 162}{2} = 594 \quad \sigma_{33}^2 = S_{33}^2 = 162$$

$$\sigma_{\bar{z}}^2 = \frac{1}{n_3} \left[ \sigma_{31}^2 + \frac{1}{m} \left( \sigma_{32}^2 + \frac{\sigma_{33}^2}{k} \right) \right] = \frac{1}{4} \left[ 3571 + \frac{1}{3} \left( 594 + \frac{162}{2} \right) \right] = 949$$

$$v_{31} = \frac{\sigma_{31}}{\bar{z}} \cdot 100 = \frac{60}{465} \cdot 100 = 12,9\%$$

$$v_{32} = \frac{\sigma_{32}}{\bar{z}} \cdot 100 = \frac{24}{465} \cdot 100 = 5,2\%$$

$$v_{33} = \frac{\sigma_{33}}{\bar{z}} \cdot 100 = \frac{13}{465} \cdot 100 = 2,7\%$$

$$\sigma_{\bar{z}} = 30,8 \quad d_{\alpha} = 2,069 \frac{30,8}{465} \cdot 100 = 13,7\%$$

Доверительный интервал генерального среднего определяется по формуле (20) и находится в диапазоне 401,3–528,7 кг/м<sup>3</sup>,  $z = 465 \pm 63,7$  кг/м<sup>3</sup>.

## 2. ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

### 2.1. Прочность древесины при сжатии вдоль волокон

В практическом отношении прочность древесины при сжатии вдоль волокон является наиболее характерным и весьма важным из механических свойств. Благодаря сравнительно высокой прочности древесины этот вид действия сил получим широкое применение. Из древесины изготавливают всевозможные стойки, столбы, различные элементы строительных конструкций, работающие на сжатие вдоль волокон.

Показателем этого свойства является предел прочности древесины при сжатии вдоль волокон. Он определяется при испытании образцов, изготовленных в форме прямоугольной призмы основанием  $20 \times 20$  мм и длиной вдоль волокон 30 мм. Размеры (а) и (b) поперечного сечения образца измеряют на середине длины с погрешностью не более 0,1 мм. Образец помещают в приспособление [9, рис. 3], через пуансон которого передают нагрузку на образец. Нагружение идет равномерно со скоростью  $(2500 \pm 5000)$  Н/мин, чтобы образец разрушился через  $(1,0 \pm 0,5)$  мин после начала нагружения. Максимальную нагрузку (Р) измеряют с погрешностью не более 1 %. После испытания определяют влажность образца. Пробой является весь образец.

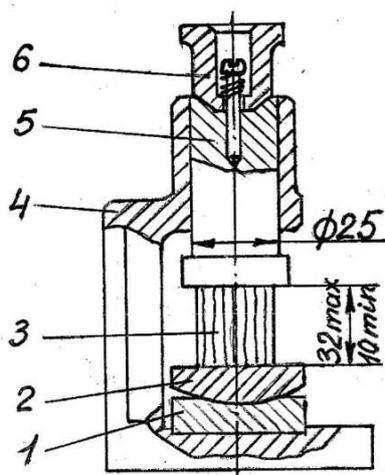


Рис. 3. Схема испытаний древесины на сжатие вдоль волокон

1 – плита; 2 – шаровая опора; 3 – образец; 4 – корпус;

5 – пуансон; 6 – колпачок

Предел прочности образцов вычисляют по формуле:

$$\sigma_w = \frac{P_{\max}}{a \cdot b}, \text{ МПа} \quad (45)$$

где  $\sigma_w$  – предел прочности образца с влажностью (W) в момент испытания, МПа;

$P_{\max}$  – максимальная нагрузка, Н;

a и b – размеры поперечного сечения образца, мм.

Вычисления производят с округлением до 0,5 МПа.

Пересчет предела прочности на 12 %-ю влажность кондиционированных образцов ведут по формуле (3) при  $\lambda=0,04$ , а некондиционированных и с влажностью, равной или больше предела гигроскопичности по формуле (6).

Исследованиями установлено, что предел прочности при сжатии вдоль волокон комнатно-сухой древесины в 2,0–2,5 раза выше, чем свежесрубленной. При этом предел пропорциональности для лиственницы, сосны, пихты, дуба, ясеня составляет около 0,7 предела прочности. У легко деформируемой и высоковлажной древесины при нагружении наблюдается смятие торцов. А у образцов из более жесткой древесины появляется косая складка разрушения волокон, расположенная под углом 60–70 градусов на тангентальной поверхности. Наблюдаются и другие виды разрушений. Это говорит об особенностях строения и анизотропии древесины. В зоне разрушения происходят изменения микроскопического строения, а в остальном объеме древесина остается неповрежденной.

Справочные данные прочности древесины некоторых пород при сжатии вдоль волокон приведены в приложении 1.

## 2.2. Прочность древесины при сжатии поперек волокон

Как показали исследования по прессованию древесины, что при сжатии поперек волокон может происходить так называемое трехфазное

деформирование древесины, при котором наблюдается значительная деформация (прессование) без явных признаков разрушения (рис. 4). Наиболее ярко выражено это явление при сжатии в радиальном направлении образцов древесины хвойных пород.

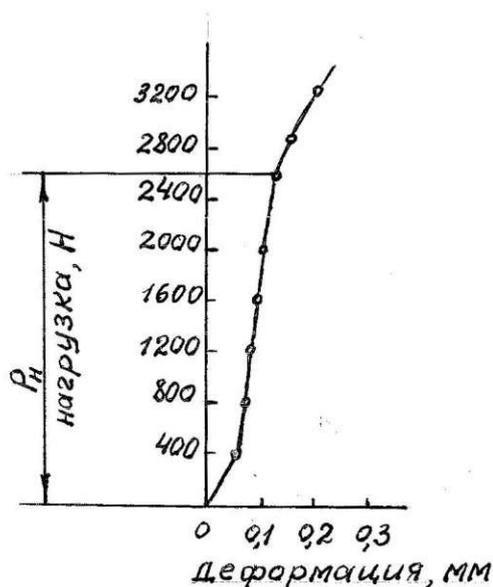


Рис. 4. Диаграмма сжатия древесины поперек волокон

При сжатии древесины поперек волокон трудно установить величину максимальной разрушающей нагрузки, поэтому принято ограничиваться определением предела пропорциональности, называемым условным пределом прочности [10].

Для определения условного предела прочности, используется испытательная машина с устройством для записи нагрузки с масштабом не более 50 Н/мм и деформации образца с масштабом не более 0,01 мм/мм. Допускается использовать испытательную машину с погрешностью измерения нагрузки не более 1 %, приспособление со съемным пуансоном, обеспечивающим деформирование образца, и индикатором часового типа для измерения деформации образца с погрешностью не более 0,01 мм (рис. 5). Опорные поверхности пластин приспособления, передающих нагрузку на образец, должны иметь с обратной стороны сферические самоустанавливающиеся поверхности.

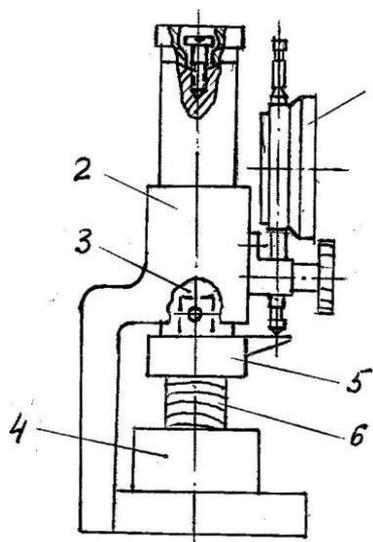


Рис. 5. Схема испытаний древесины на сжатие поперек волокон

1 – индикатор; 2 – корпус; 3 – шток;  
4 – подставка; 5 – съемный пуансон; 6 – образец

Образцы изготовляют в форме прямоугольной призмы основанием  $20 \times 20$  мм и длиной вдоль волокон 30 мм. Ширину (b) в тангентальном направлении при радиальном сжатии или в радиальном направлении при тангентальном сжатии и длину (l) измеряют с погрешностью не более 0,1 мм соответственно на середине длины и ширины образца. Образец помещают в машину тангентальной или радиальной поверхностью кверху и нагружают с постоянной (равномерной) скоростью  $(1000 \pm 200)$  Н/мин при условии достижения условного предела прочности через  $(1,5 \pm 0,5)$  мин после начала нагружения.

При отсутствии записывающего устройства деформации образца определяют по индикатору часового типа с погрешностью не более 0,01 мм через равные интервалы приращения нагрузки (200 Н для мягких пород и 400 Н для твердых пород).

Влажность определяют на испытанных образцах.

Нагрузку (P), соответствующую условному пределу прочности, определяют по диаграмме сжатия (рис. 4) поперек волокон, как ординату точки, в которой отступление от линейной зависимости между нагрузкой и

деформацией достигает такой величины, что тангенс угла, образованного осью нагрузок и касательной к графику (P-Δl), увеличивается на 50 % своего значения, соответствующего прямолинейному участку графика. Условный предел прочности ( $\sigma_w$ ) образца с влажностью (W) в момент испытаний вычисляют с округлением до 0,1 МПа по формуле:

$$\sigma_w = \frac{P}{b \cdot l}, \quad (46)$$

где P – нагрузка, соответствующая условному пределу прочности, Н;

b и l – ширина и длина образца, мм.

При пересчете условного предела прочности относительно влажности 12 % применяют формулы (3) и (5), при этом  $\alpha = 0,035$ ,  $K = 1,67$  для лиственных пород и для хвойных при радиальном сжатии,  $K = 2,45$  для хвойных пород при тангентальном сжатии.

Условный предел прочности при сжатии поперек волокон для всех пород в среднем примерно в 10 раз меньше предела прочности при сжатии вдоль волокон.

Средние значения условных пределов прочности древесины некоторых пород приведены в табл. 4.

Таблица 4

Условные пределы прочности древесины при сжатии поперек волокон, МПа

Порода древесины	Радиальное направление		Тангентальное направление	
	Влажность образцов, %			
	12	30 и более	12	30 и более
Лиственница	4,3	2,6	6,1	2,4
Сосна	5,1	3,0	7,5	3,0
Пихта	2,1	1,3	2,4	1,0
Граб	6,5	3,9	6,0	3,6
Бук	6,1	3,6	6,3	3,8
Вяз	5,7	3,4	4,6	2,8
Липа	5,5	3,3	5,1	3,0
Ольха	6,7	3,2	3,5	2,1
Осина	5,4	3,2	3,5	2,1

### 2.3. Прочность древесины при местном смятии поперек волокон

Многие элементы деревянных строительных конструкций, шпалы, опорные брусья и т. д. работают на сжатие поперек волокон, когда нагрузка прикладывается на ограниченной части длины. В этом случае возможно смятие волокон древесины в местах приложения нагрузки. Для определения допустимой величины нагрузки проводят испытания древесины на местное смятие. Для этого используют испытательную машину с погрешностью измерения нагрузки не более 1 % и приспособление со съемным пуансоном и индикатором часового типа с погрешностью измерения не более 0,1 мм (рис. 5).

Образцы изготавливают в форме прямоугольной призмы с основаниями  $20 \times 20$  мм и длиной вдоль волокон 60 мм. На середине образца измеряют с погрешностью не более 0,1 мм ширину образца ( $b$ ) в тангентальном направлении при радиальном смятии или радиальном направлении при тангентальном смятии. Образец помещают в машину и погружают с постоянной равномерной скоростью  $(1000 \pm 200)$  Н/мин, при условии достижения условного предела прочности через  $(1,5 \pm 0,5)$  мин после начала нагружения [11].

Через каждые 200 Н для мягких пород и 400 Н для твердых пород измеряют с погрешностью не более 0,01 мм деформацию образца. Испытание продолжают до превышения условного процесса прочности, что характеризуется резким увеличением деформации. После испытаний определяют влажность образца.

По результатам измерений вычерчивают диаграмму смятия поперек волокон (рис. 4). За нагрузку ( $P$ ) принимают ординату точки перехода прямолинейного (или близкого к нему) участка диаграммы в явно криволинейный. Масштаб диаграммы по оси ординат должен быть не менее 50 Н/мм, чтобы обеспечить определение нагрузки ( $P$ ) с погрешностью не более 50 Н.

Условий предел прочности в тангентальном ( $\sigma^t W_y$ ) или радиальном ( $\sigma^r W_y$ ) направлениях в МПа при влажности в момент испытаний вычисляют по формулам:

$$\sigma^t W_y = \frac{P}{18a} \text{ или } \sigma^r W_y = \frac{P}{18a}, \quad (47)$$

где  $P$  – нагрузка, Н;

$a$  – ширина образца, мм;

18 – средняя ширина спорной поверхности пуансона, мм.

Результат вычисляют с округлением до 0,1 МПа.

При пересчете условного предела прочности на влажность 12 % используют формулы (3) и (5) при этом  $a = 0,035$ ,  $K = 1,67$  для лиственных пород и хвойных пород при радиальном смятии,  $K = 2,46$  для хвойных пород при тангентальном смятии. Средние значения пределов прочности при местном смятии приведены в табл. 5.

Условные пределы прочности древесины при местном смятии  
поперек волокон, МПа

Порода древесины	Радиальное направление		Тангентальное направление	
	Влажность образцов, %			
	12	30 и более	12	30 и более
Лиственница	6,1	3,6	9,3	3,8
Сосна			13,6	5,6
Пихта	2,5	1,5	3,5	1,4
Граб	13,3	8,0	11,3	6,9
Бук	11,4	6,9	10,8	6,7
Вяз	11,0	6,7	11,0	6,7
Лина	9,6	5,9	9,8	6,0
Ольха	8,0	4,9	5,3	3,2
Осина	6,3	3,8	4,8	2,8
Дуб	9,1	5,5	5,3	3,2
Ясень	8,3	5,1	10,6	6,5

Предел прочности при местном смятии из-за дополнительного сопротивления изгибу волокон оказывается выше, чем при простом сжатии поперек волокон на 20–25 %.

#### 2.4. Прочность древесины при растяжении вдоль волокон

Примерами работы древесины на растяжение вдоль волокон могут служить дышла конного или автомобильного роспуска, затяжки и ригели стропильных конструкций и т. д. Основная сложность заключается в разрушении древесины в местах крепления изделий под действием сжимающих и скалывающих нагрузок.

Испытания древесины на растяжение вдоль волокон проводят на специальных образцах, состоящих из призмы сечением (4×20)мм и длиной 350 мм и приклеенных к ее концам по пласти боковых накладок толщиной 8 мм и формой по [12, рис. 6]. Заготовки для образцов следует выкалывать.

Образцы можно изготавливать цельными без склеивания, соблюдая требования ГОСТ 16483.0-85.

Средние длины образцов замеряют с погрешностью не более 0,1 мм толщину (а) и ширину (в) рабочей части и в отверстия головок вставляют стальные пробки диаметром 9,9 мм. Длина пробок для мягких пород 17 мм и 18 мм – для твердых пород. Пробки предотвращают смятие головок образцов во время испытаний. Образец помещают в захваты разрывной машины и нагружают равномерно со скоростью  $(15000 \pm 4000)$  Н/мин с расчетом, чтобы образец разрушился в течение 1,5–2,0 мин с момента нагружения. Испытания проводят до разрушения образца. Нагрузку определяют с точностью до цены деления шкалы силоизмерителя. В качестве пробы для определения влажности берут рабочую часть образца.

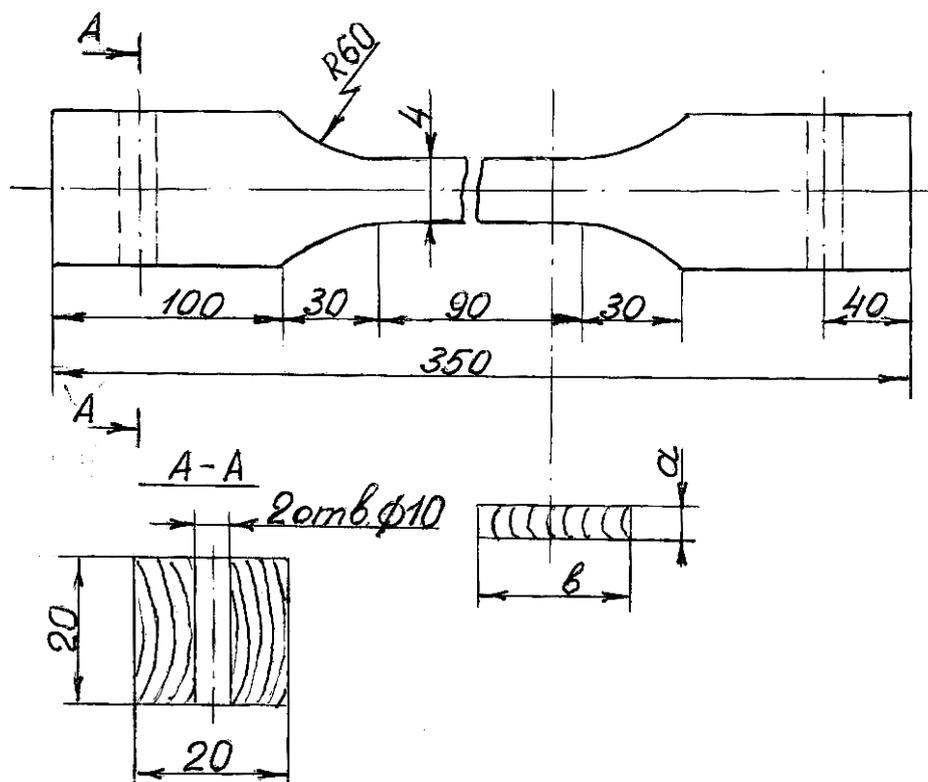


Рис. 6. Образец для определения предела прочности при растяжении вдоль волокон

Предел прочности ( $\sigma_w$ ) образца с влажностью ( $W$ ) в момент испытания вычисляют с точностью до 1 МПа по формуле:

$$\sigma_w = \frac{P_{\max}}{a \cdot b}, \quad (48)$$

где  $P_{\max}$  – максимальная нагрузка, Н;

$a, b$  – размеры поперечного сечения рабочей части образца, м.

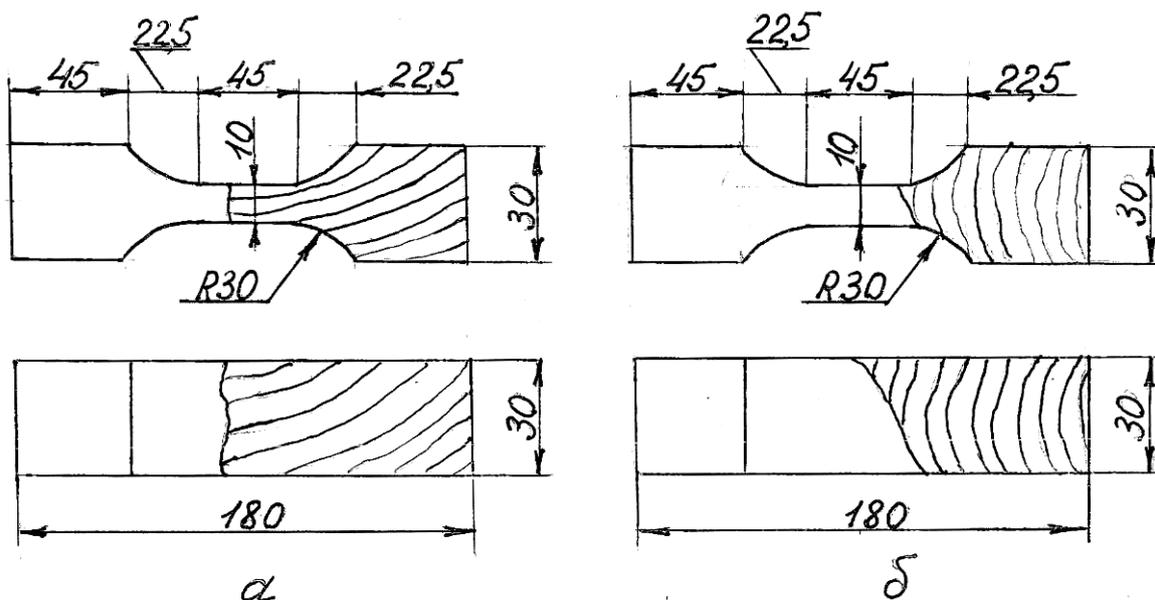
Пересчет предела прочности к влажности 12 % с точностью до 1 МПа производят по формулам (3) и (5), где  $\alpha = 0,01$  для всех пород,  $K = 1,3$  для хвойных пород и  $K = 1,33$  для лиственных пород.

Значения пределов прочности при растяжении вдоль волокон распространенных древесных пород приведены в приложении 1.

## 2.5. Прочность древесины при растяжении поперек волокон

Растяжение древесины поперек волокон в практике встречается крайне редко. Но прочностные показатели растягивающих нагрузок необходимы для понимания режимов резания древесины, режимов сушки древесины, расчета внутренних напряжений при сушке и обосновании других технологических параметров.

Определение предела прочности при растяжении поперек волокон в тангентальном и радиальном направлениях проводят на испытательной машине с клиновыми захватами. Образцы изготавливают по форме и размерам, указанным на [13, рис. 7].



а – в тангентальном направлении; б – в радиальном направлении

Рис. 7. Образцы для определения предела прочности при растяжении поперек волокон

Толщину (а) и ширину (в) измеряют посередине длины образца с погрешностью не более 0,1 мм. В каждом образце должна быть определена кривизна годовичных слоев в процентах, равная отношению стрелы дуги годовичного слоя в середине рабочей части образца к хорде. Длина хорды в тангентальных образцах должна быть равной 2 см, а в радиальных – толщине рабочей части образца.

При установке образца необходимо ориентировать торцовые поверхности образца к рифленным поверхностям захватов. Скорость нагружения должна быть (2500+500) Н/мин из расчета разрушения образца в течение 1,5–2,0 мин с момента начала нагружения. Максимальную нагрузку считывают с погрешностью не более цены деления шкалы силоизмерителя. Пробу на влажность берут из средней части образца длиной поперек волокон около 30 минут.

Предел прочности ( $\sigma_w$ ) образца с влажностью (W) в момент испытания вычисляют с точностью до 0,01 МПа на 12 % влажность по формулам (3) и (5). Поправочный коэффициент  $\alpha=0,01$  при радиальном

растяжении и  $a = 0,025$  при тангентальном растяжении.  $K = 1,640$  при радиальном и  $K = 1,655$  при тангентальном растяжении хвойных пород. Для рассеянно-сосудистых пород  $K = 1,885$ , а для кольцесосудистых  $K = 1,160$  при радиальном и  $K = 1,390$  при тангентальном растяжении. Пределы прочности при растяжении поперек волокон древесины некоторых пород приведены в табл. 6.

Таблица 6

Средние пределы прочности древесины при растяжении поперек волокон, МПа

Порода древесины	Радиальное направление		Тангентальное направление	
	Влажность образцов, %			
	12	30 и более	12	30 и более
Лиственница	5,6		5,2	
Сосна	3,23	1,96	2,63	1,47
Ель	5,0		3,2	
Кедр	4,2		2,8	
Бук	5,85	3,14	3,89	2,06
Пихта	4,0		2,9	
Ольха	7,57	4,12	4,95	2,55
Осина	4,74	2,55	3,37	1,77
Дуб	6,46	5,49	4,21	2,84
Ясень	5,65	4,81	5,27	3,53

Прочность древесины при растяжении поперек волокон в радиальном направлении больше, чем в тангентальном: у хвойных пород на 10–50 %, у лиственных на 20–70 %. В среднем прочность при растяжении поперек волокон составляет примерно 0,05 прочности при растяжении вдоль волокон [5].

## 2.6. Прочность древесины при статическом изгибе

Элементы деревянных конструкций, работающих на изгиб, можно встретить практически во всех отраслях народного хозяйства. Это

объясняется высокой прочностью древесины и доступной технологичностью изделий.

Определение предела прочности при статическом изгибе древесины проводят на образцах в форме прямоугольной призмы с поперечным сечением 20×20 мм и длиной вдоль волокон 300 мм. Для проведения испытаний используется испытательная машина с погрешностью измерения нагрузки не более 1% и специальное приспособление [14, рис. 8].

На середине длины образца измеряют ширину (в) и высоту (h) с погрешностью не более 0,1 мм. Образец помещают в машину так, чтобы изгибающее усилие было направлено по касательной к годичным слоям, т. е. изгиб тангентального направления. Скорость нагружения устанавливается в пределах (1350±150) Н/мин из расчета разрушения образца через (1,5±0,5) мин после начала нагружения. После испытания определяют влажность образца. Пробы вырезают вблизи излома.

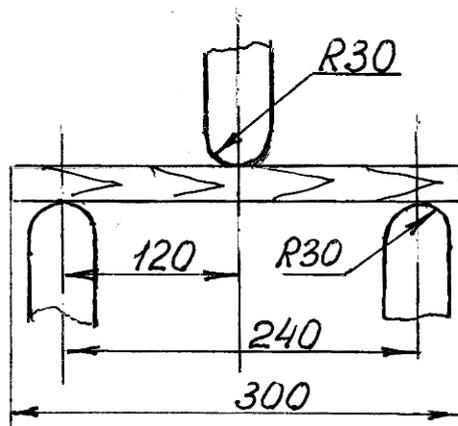


Рис. 8. Схема испытаний древесины на статический изгиб

Предел прочности ( $\sigma_w$ ) в МПа образца с влажностью в момент испытание вычисляют по формуле:

$$\sigma_w = \frac{3P_{\max} \cdot l}{2bh^2}, \quad (49)$$

где  $P_{\max}$  – максимальная нагрузка, Н;

l – расстояние между центрами опор, мм;

h и b – соответственно высота и ширина образца, мм.

Результат вычисляют и округляют до 1 МПа.

Пересчет предела прочности к нормализованной влажности при необходимости производится по формулам (3) и (5). При этом поправочный коэффициент на влажность  $\alpha=0,04$  для всех пород. Коэффициент пересчета  $K_{12}^W$  определяется при известной плотности древесины по ГОСТ 16483.3-84 или по приложению 2 того же ГОСТа.

Значения предела прочности древесины при статическом изгибе приведены в приложении 1.

## 2.7. Прочность древесины при скалывании вдоль волокон

Во многих элементах строительных конструкций древесина работает на скалывание вдоль волокон. Поэтому определение предела прочности при данном виде нагружений является весьма актуальным.

Испытания проводятся на испытательной машине с погрешностью измерения нагрузки не более 1 % с помощью специального приспособления (рис. 9). Форма и размеры образцов должны соответствовать [15, рис. 10].

Толщину образца ( $b$ ) и длину скалывания ( $l$ ) измеряют с погрешностью не более 0,1 мм. Образец помещают в приспособление для испытания и равномерно нагружают со скоростью  $(4000 \pm 1000)$  Н/мин из расчета разрушения образца через  $1,0 \pm 0,5$  мин с момента нагружения. После испытания определяют влажность образца. Пробой служит большая часть образца.

Предел прочности древесины при кондиционировании образцов ( $\tau_w$ ) в мегапаскалях вычисляют по формуле:

$$\tau_w = \frac{P_{\max}}{b \cdot l}, \quad (50)$$

где  $P_{\max}$  – максимальная нагрузка, Н;

$b$  – толщина образца, мм;

$l$  – длина скалывания, мм.

Вычисления производят с округлением до 0,1 МПа.

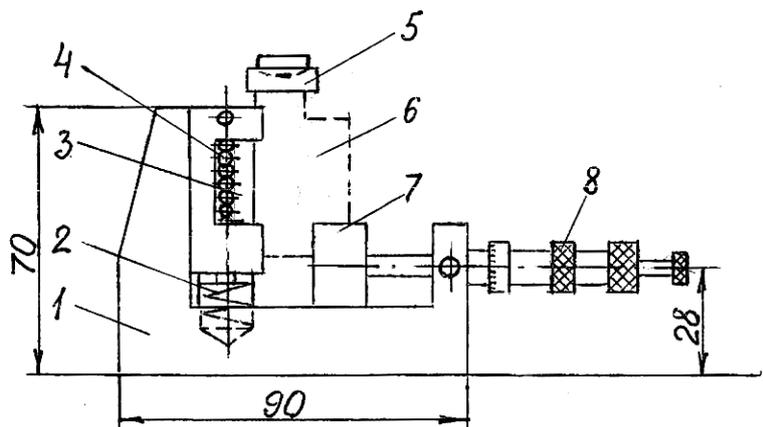


Рис. 9. Приспособление для определения предела прочности при скалывании вдоль волокон

- 1 – корпус; 2 – пружина; 3 – прижимная планка; 4 – ролики;  
5 – нажимная призма; 6 – образец; 7 – подвижная опора;  
8 – устройство поджима подвижной опоры

Пересчитывают предел прочности на 12 % влажность по формулам (3) и (6), принимая поправочный коэффициент  $a = 0,03$  для всех пород. Коэффициент пересчета  $K = 0,730$  для акации, вяза и дуба;  $0,535$  – для березы и ореха;  $0,610$  – для бука, груши, сосны, ели и лиственницы;  $0,570$  – для граба, ивы, осины и тополя;  $0,650$  – для клена, липы, ольхи, пихты и ясеня.

Предел прочности некондиционированных образцов вычисляют по формуле (50). Пересчет предела прочности на 12 % влажность проводят по формуле (6). Коэффициент пересчета ( $K$ ) определяют по таблицам ГОСТ 16484-85.

Значения пределов прочности древесины при скалывании вдоль волокон отдельных пород приводится в приложении 1.

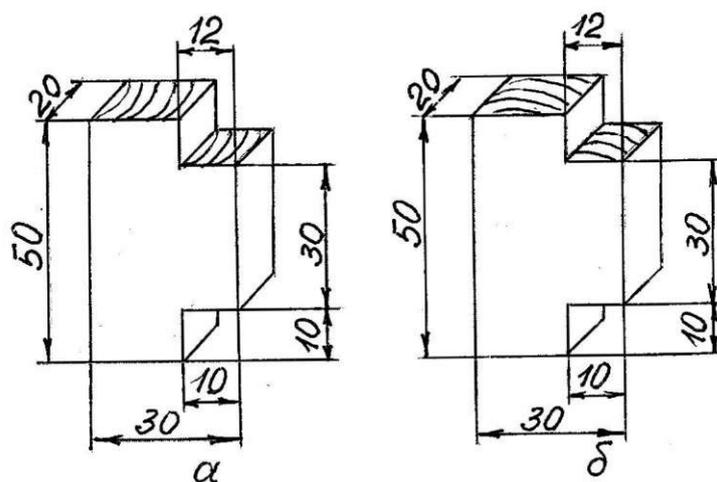


Рис. 10. Образцы для определения предела прочности  
при скалывании вдоль волокон

а – складывание по тангентальной плоскости;

б – складывание по радиальной плоскости

Прочность древесины при скалывании вдоль волокон у лиственных пород примерно в 1,6 раза выше, чем у хвойных. В тангентальном направлении прочность у лиственных пород выше на 10–30 % и увеличивается с ростом сердцевинных лучей. В среднем предел прочности при скалывании вдоль волокон составляет примерно 0,2 предела прочности при сжатии вдоль волокон.

## 2.8. Прочность древесины при скалывании поперек волокон

При соединении деталей в шпунт и гребень и ряде других элементов деревянных конструкций древесина работает на скалывание поперек волокон. Определение предела прочности при данном виде нагружений производится на испытательной машине с погрешностью измерения не более 1 % с использованием специального приспособления, аналогичного по конструкции, изображенному на рис. 9, но отличающегося от него увеличенной до 50 мм шириной и на 5 мм уменьшенной по высоте. Форма и размеры испытуемого образца приведены на рис. 11. При установке образца в приспособление прижимная опора последнего должна

прижиматься к образцу с силой, равной 5–9 Н (до третьего щелчка трещотки микрометрического винта) [16].

Нагрузку на образец передают через нажимную призму равномерно со скоростью  $(2000 \pm 500)$  Н/мин до разрушения образца.

Предел прочности ( $\tau_w$ ) образца с влажностью ( $W$ ) в момент испытания вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле:

$$\tau_w = \frac{P_{\max}}{h \cdot l}, \quad (51)$$

где  $P_{\max}$  – максимальная нагрузка, Н;

$h$  и  $l$  – соответственно высота и длина выступа, мм.

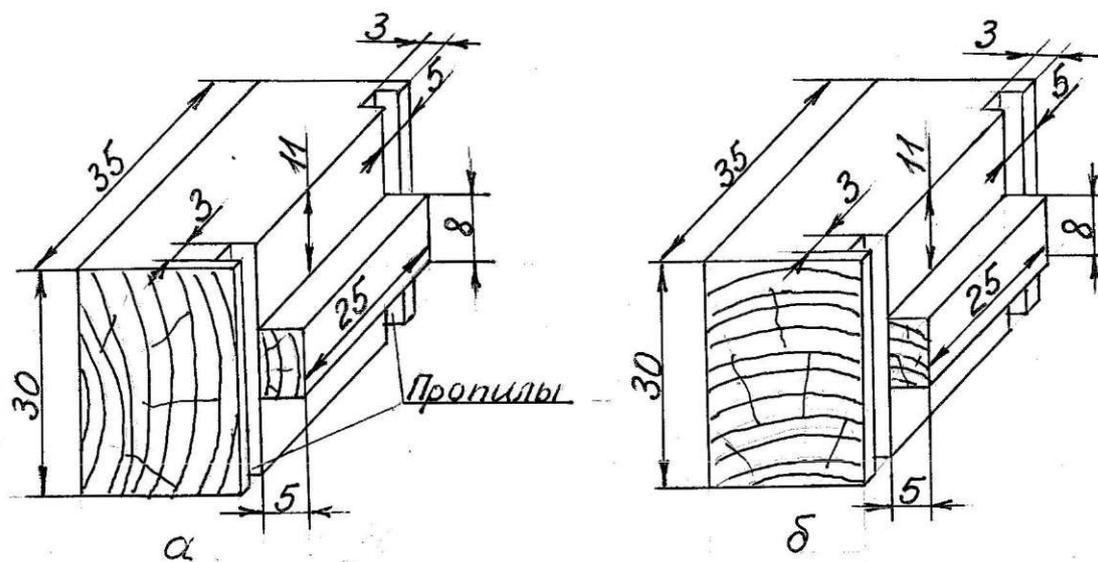


Рис. 11. Образцы для определения предела прочности

при скалывании поперек волокон

а – скалывание по тангентальной плоскости;

б – скалывание по радиальной плоскости

Пределы прочности ( $\tau_w$ ) пересчитывают к 12 % влажности по формулам (3) и (5). Поправочный коэффициент  $\alpha=0,03$ . Пересчетный коэффициент ( $K$ ) при 30 % влажности и более равен 1,39 – для акации, вяза и дуба; 1,88 – для березы и ореха; 1,65 – для бука, груши, сосны, ели, лиственницы; 1,76 – для граба, ивы, осины и тополя и 1,53 – для клена, липы, ольхи, пихты и ясеня.

Предел прочности при скалывании поперек волокон в два раза меньше, чем вдоль волокон.

## 2.9. Прочность древесины при перерезании поперек волокон

Работа древесины на перерезание поперек волокон встречается в шиповых соединениях и соединениях деталей деревянными нагелями.

Определение предела прочности древесины при перерезании поперек волокон производится на испытательной машине с погрешностью измерения нагрузки не более 1 % и с использованием специального приспособления с ножами, радиус закругления режущих кромок которых от 5 до 10 мкм (рис. 12).

Образцы изготовляют в форме прямоугольной пластинки размерами 20×5 мм (меньший размер в радиальном направлении при тангентальном перерезании) и длиной вдоль волокон 50 мм.

Размеры (а) и (б) поперечного сечения образца измеряют на середине длины с погрешностью не более 0,1 мм.

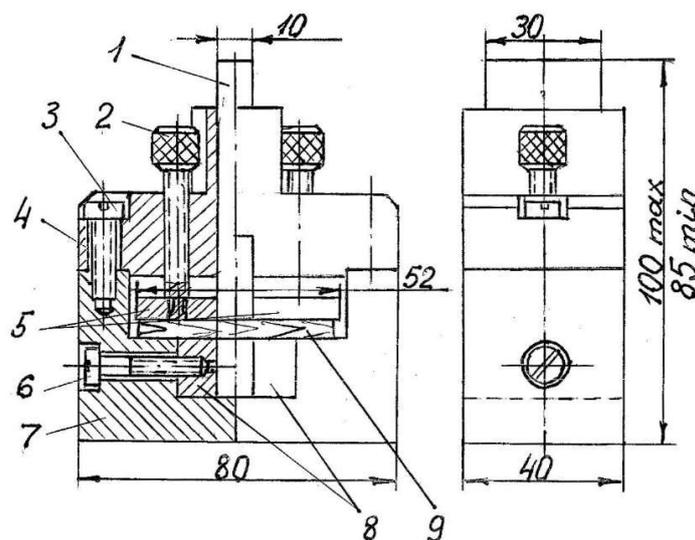


Рис. 12. Приспособление для испытаний древесины  
на перерезание поперек волокон

1 – подвижной нож; 2, 3, 6 – винты; 4 – крышка;  
5 – зажимная планка; 7 – корпус; 8 – неподвижный нож; 9 – образец

Установленный в приспособление образец нагружают равномерно со скоростью  $(10000 \pm 2000)$  Н/мин или при скорости перемещения головки испытательной машины 10 мм/мин.

После испытаний определяют влажность образцов.

Предел прочности  $\tau_w$  образца с влажностью  $W$  в момент испытания вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле:

$$\tau_w = \frac{P_{\max}}{2ab}, \quad (52)$$

где  $P_{\max}$  – максимальная нагрузка, Н;

$a$  и  $b$  – размеры поперечного сечения образца, мм.

Предел прочности ( $\tau_w$ ) образца с нормализованной влажностью пересчитывают к влажности 12 % с точностью до 0,1 МПа по формуле (3), где поправочный коэффициент  $\alpha=0,03$ .

Предел прочности ( $\tau_w$ ) образца с влажностью, равной или больше предела насыщения клеточных стенок, пересчитывают к влажности 12 % с точностью до 0,1 МПа по формуле (5), где пересчетный коэффициент ( $K$ ) при влажности 30 % и более равен: 1,39 – для вяза, дуба; 1,87 – для березы и ореха; 1,63 – для бука, сосны, ели, лиственницы; 1,76 – для граба, осины, тополя и 1,53 – для клена, липы, ольхи, пихты и ясеня. По данным исследований [2, 5] предел прочности при перерезании поперек волокон в 4 раза больше, чем предел прочности при скалывании вдоль волокон.

### 3. ПОКАЗАТЕЛИ ДЕФОРМАТИВНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

#### 3.1. Упругость древесины при сжатии вдоль волокон

Для установления напряженного и деформированного состояния древесины на основании теории упругости необходимо иметь численные значения упругих постоянных древесины.

Модуль упругости при сжатии древесины вдоль волокон определяется на испытательной машине с погрешностью измерения нагрузки не более 1 %, снабженной шаровой опорой. Используются механические рычажно-стрелочные тензометры с базой 20 мм, передаточным числом около 1000 и с погрешностью измерения деформации не более 0,001 мм. Допускается применять и другие типы тензометров, обеспечивающие требуемую точность измерения деформации [18].

Для испытания изготавливают образцы в форме прямоугольной призмы с основанием  $20 \times 20$  мм и высотой вдоль волокон 60 мм (рис. 13). Толщину (а) и ширину (б) поперечного сечения образцов измеряют посередине их длины с погрешностью не более 0,1 мм.

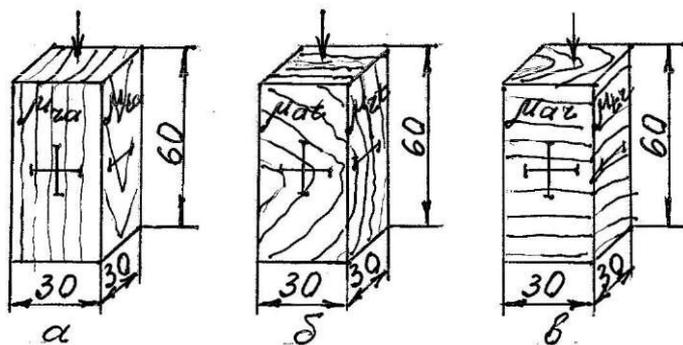


Рис. 13. Образцы для определения коэффициентов поперечной деформации при сжатии

а – вдоль волокон; б – поперек волокон в радиальном направлении;  
в – поперек волокон в тангентальном направлении

На образцах предварительно проводят продольные осевые линии и делают на них отметки – одну посередине образца и две – в местах крепления ножек тензометров. На противоположных боковых сторонах образцов устанавливают по два тензометра – по одному на каждую сторону. Строго по разметке. Под ножки тензометров клеим БФ-2 наклеивают подкладки из латуни толщиной от 0,5 до 1,0 мм, размером 5×5 мм. Тензометры крепят на образцах устойчиво при помощи струбцин. При правильной установке освобожденная стрелка тензометра при легком постукивании пальцем по образцу колеблется около одного и того же деления шкалы.

Каждый образец подвергают шестикратному нагружению от 1000 до 4000 Н со средней скоростью 5000±1000 Н/мин. Показания тензометров отсчитывают при нижнем и верхнем пределах нагружения. Затем образец плавно разгружают несколько ниже нижнего предела и вновь нагружают в той же последовательности. Показания отсчитывают до 0,5 деления шкалы. После испытаний берут пробу на влажность из средней части образца длиной около 30 мм.

Модуль упругости ( $E_w$ ) образцов с влажностью ( $W$ ) в момент испытаний вычисляют с точностью до  $0,5 \cdot 10^8$  Па по формуле:

$$E_w = \frac{P \cdot l}{ab \Delta l}, \quad (53)$$

где  $P$  – нагрузка, равная разности между верхним и нижним пределами нагружения, Н;

$l$  – база тензометра, м;

$a$  и  $b$  – размеры поперечного сечения образца, м;

$\Delta l$  – средняя величина перемещения, соответствующая нагрузке  $P$ , м.

$$\Delta l = \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{2}, \quad (54)$$

где  $\Delta l_1$  и  $\Delta l_2$  – перемещение по каждому тензометру, равное разности между средними арифметическими из последних трех отсчетов отдельно

для верхнего и нижнего пределов нагружения, деленной на передаточное число соответствующего тензометра.

Модуль упругости ( $E_w$ ) образцов с влажностью в пределах от 8 до 20 %, пересчитывают к влажности 12 % с точностью до 0,5–108 Па по формуле (4), принимая поправочный коэффициент  $\alpha=0,012$  для всех пород.

Модуль упругости ( $E_w$ ) образцов с влажностью, равной или большей предела насыщения клеточных стенок пересчитывают к влажности 12 % с точностью до 0,5–10 Па по формуле (5), принимая ( $K$ ) равным: 1,25 для хвойных пород; 1,12 – кольцесосудистых пород; 1,30 – для бука; 1,2 л – для березы и других рассеянно-сосудистых пород.

Значения модулей упругости при сжатии вдоль волокон некоторых пород древесины приведены в приложении 2.

### 3.2. Упругость древесины при сжатии поперек волокон

Экспериментальное определение модуля упругости древесины при сжатии поперек волокон производится по методике изложенной в п. 3.1.

Образцы изготавливают по форме и размерам, указанным на рис. 13 [19].

В каждом образце измеряют кривизну годичных слоев, которая определяется как отношение, в процентах, стрелы дуги годичного слоя, проходящего посередине образца, к хорде длиной 2 см.

Усилие при испытании должно совпадать с продольной осью образца. Каждый образец подвергают шестикратному нагружению от 100 до 400 Н равномерно со средней скоростью (4000±500) Н/мин. Отсчеты по тензометрам, соответствующие верхнему и нижнему пределам нагружения, берут до 0,5 деления шкалы. Из средней части образца длиной около 30 мм вырезают пробу на влажность.

Модуль упругости ( $E_w$ ) с влажностью ( $W$ ) в момент испытаний вычисляют с точностью до 0,5–10<sup>8</sup> Па по формулам (53) и (54).

При влажности образцов в пределах от 8 до 20 %, пересчет к влажности 12 % с точностью до 0,5–10 Па ведут по формуле (4), принимая

$\alpha=0,033$  при радиальном сжатии и  $a=0,039$  при тангентальном сжатии для всех пород.

Пересчет к влажности 12 % модуля упругости образцов с влажностью 30 % и более ведут по формуле (5), принимая  $K=2,44$  при радиальном сжатии и  $K=3,45$  при тангентальном сжатии для всех пород древесины.

Значения модулей упругости при сжатии поперек волокон некоторых пород древесины приведены в приложении 2.

### 3.3. Упругость древесины при растяжении вдоль волокон

Для определения модуля упругости древесины при растяжении вдоль волокон используют образцы по форме и размерам согласно рис. 6. Заготовки для образцов следует выкалывать. Годичные слои на торцах образцов должны быть перпендикулярны их ширине [20].

При данном исследовании применяется испытательная машина с погрешностью измерения нагрузки не более 1 %. Для измерения деформаций используют тензометры механические рычажно-стрелочные с базой 20 мм, передаточным числом около 1000 и погрешностью измерения деформации не более 0,001 мм. Образец устанавливается в самоустанавливаемые захваты, имеющие прямую накатку на рабочих поверхностях.

Толщину (a) и ширину (b) поперечного сечения образцов измеряют посередине их длины с погрешностью не более 0,1 мм. Тензометры устанавливают аналогично п. 3.1.

Каждый образец подвергают шестикратному нагружению от 500 до 1500 Н со средней скоростью  $(2000\pm 500)$  Н/мин. Отсчеты по тензометрам, соответствующие верхнему и нижнему пределам нагружения, берут до 0,5 деления шкалы. Пробу на влажность вырезают из средней части длиной около 30 мин.

Модуль упругости ( $E_w$ ) образцов с влажностью ( $W$ ) в момент испытаний вычисляют с точностью до  $0,5-10^7$  Па по формуле (53), а  $\Delta l$  по формуле (54).

Пересчет ( $E_w$ ) к влажности 12 % производят по формулам (4) и (5), принимая  $\alpha=0,012$  для всех пород, а коэффициент ( $K$ ) равным: 1,25 – для всех хвойных пород; 1,12 – для кольцесосудистых пород; 1,30 – для бука; 1,23 – для березы и других рассеянно-сосудистых пород.

Значения модулей упругости при растяжении вдоль волокон некоторых пород древесины приведены в приложении 2.

### 3.4. Упругость древесины при растяжении поперек волокон

Для испытаний используются оборудование и его настройка, указанные в п. 3.1. и 3.3 [21].

Форма и размеры образцов соответствуют показанным на рис. 7.

Образец помещают в захваты машины таким образом, чтобы щеки рифленых захватов плотно прилегали к торцевым поверхностям головок образца.

Усилие при испытании должно совпадать с продольной геометрической осью образца. Каждый образец подвергают шестикратному нагружению от 100 до 400 Н со средней скоростью  $(4000\pm 500)$  Н/мин. Первоначально образец нагружают до 100 Н и отсчитывают показания по тензOMETрам, затем погружают до верхнего предела 400 Н и вновь отсчитывают показания по тензOMETрам. После этого образец плавно погружают ниже 100 Н, и цикл нагружения снова повторяется. Отсчеты по тензOMETрам берут до 0,5 деления шкалы. Пробу на влажность вырезают длиной около 30 мм из средней части образца.

Модуль упругости ( $E_w$ ) образцов с влажностью ( $W$ ) в момент испытания вычисляют с точностью до  $0,5-10^7$  Па по формуле (53),  $\Delta l$  – по формуле (54) с точностью до  $0,5-10^{-6}$  м.

На 12 %-ную влажность ( $E_w$ ) пересчитывается по формулам (4 и 5). Поправочный коэффициент ( $\alpha$ ) принимается равным 0,028 при радиальном растяжении и 0,035 при тангентальном растяжении для всех пород. Коэффициент пересчета ( $K$ ) при влажности 30 % и выше равен 2,02 при радиальном и 2,70 при тангентальном растяжении для всех пород.

Значения модулей упругости при растяжении поперек волокон некоторых пород древесины приведены в приложении 2.

### 3.5. Сдвиг древесины

Устанавливается метод определения модулей сдвига в радиальной, тангентальной и поперечной плоскостях при сжатии под углом 45 градусов к направлению волокон и годичных слоев [22].

Модуль сдвига является коэффициентом пропорциональности между касательными напряжениями и угловой деформацией.

Испытания проводят на испытательной машине, снабженной шаровой опорой с погрешностью измерения нагрузки не более 1 %. Образцы изготавливают по форме и размерам, приведенным на рисунке 14. В каждом образце измеряют кривизну годичных слоев, которую определяют как отношение (в процентах) стрелы дуги годичного слоя, проходящего посередине образца, к хорде длиной 2 см. Толщину и ширину образца измеряют посередине их длины с погрешностью не более 0,1 мм. На широких боковых поверхностях каждого образца на расстоянии 10 мм от точки пересечения осевых линий помечают места установки ножек механических рычажно-стрелочных тензометров с базой 20 мм, передаточным числом около 1000 и погрешностью измерения деформации не более 0,001 мм. Под ножки тензометров наклеивают подкладки из латуни толщиной от 0,5 до 1,0 мм, размером 5×5 мм. На каждом образце измерения деформации производят последовательно сначала в продольном, затем в поперечном направлениях, для чего на противоположных боковых сторонах образца устанавливают одновременно два

тензометра, по одному на каждой стороне, и закрепляют струбциной. Расположение ножек должно строго соответствовать разметке. Усилие при испытании должно совпадать с продольной геометрической осью образца. Каждый образец подвергают шестикратному нагружению на сжатие в пределах от 150 до 600 Н со средней скоростью  $(6000 \pm 500)$  Н/мин. Отчеты по тензомерам берут до 0,5 деления шкалы. Пробу на влажность вырезают из средней части образца.

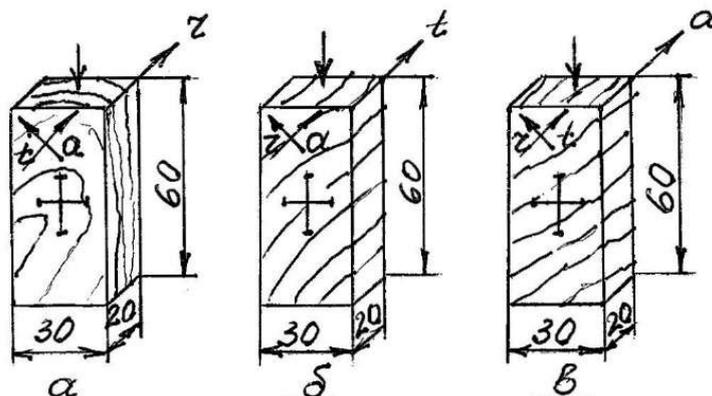


Рис. 14. Образцы для определения модулей сдвига

Для обозначения модулей сдвига ( $G$ ) при различных направлениях сжатия относительно направления годовичных слоев и волокон при ( $G$ ) ставят два индекса, первый из которых означает плоскость, в которой происходит сдвиг, а второй – направление сжатия, вызвавшего сдвиг. Направление волокон обозначают индексом ( $a$ ), поперек волокон в радиальном направлении - индексом ( $r$ ) и в тангентальном направлении - индексом ( $t$ ).

Приняты следующие обозначения:

$G_{ra}$  – модуль сдвига в плоскости радиального разреза при сжатии под углом 45 градусов к этой плоскости и направлению волокон;

$G_{ta}$  – модуль сдвига в плоскости тангентального разреза при сжатии под углом 45 градусов к этой плоскости и направлению волокон;

$G_{rt}$  – модуль сдвига в радиальной или тангентальной плоскости при сжатии под углом 45 градусов к этой плоскости.

По каждому тензомеру отдельно вычисляют среднее арифметическое из последних трех отсчетов для верхнего и нижнего пределов нагружения и разность между средними арифметическими. Перемещения на длине базы тензометров на каждой из широких боковых сторон в продольном ( $\Delta l_1$ ) и ( $\Delta l_2$ ) и поперечном ( $\Delta c_1$ ) и ( $\Delta c_2$ ) направлениях вычисляют, умножая разность между средними арифметическими для верхнего и нижнего пределов нагружения на цену деления тензомера. При пересчете ( $\Delta c_1$ ) и ( $\Delta c_2$ ) необходимо учитывать их направления: (+) - при удалении и (-) – при укорочении.

Средние величины перемещений ( $\Delta l$ ) и ( $\Delta c$ ) вычисляют с точностью до  $0,5-10^{-6}$  м по формуле (54)

$$\Delta l = \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{2}, \quad \Delta c = \frac{\Delta c_1 + \Delta c_2}{2}.$$

Деформацию образца в продольном ( $\varepsilon$ ) и поперечном ( $\varepsilon_1$ ) направлениях вычисляют с точностью до 0,0005 по формулам:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}, \quad \varepsilon_1 = \frac{\Delta c}{c}. \quad (55)$$

где  $l$  и  $c$  – базы тензометров, м.

Коэффициенты поперечной деформации в плоскостях тангентального, радиального и поперечного разрезов при сжатии под углом 45 градусов к направлению волокон и этим плоскостям ( $\mu_{45}$ ) вычисляют с точностью до 0,0005, учитывая направление деформации, по формуле:

$$\mu_{45} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon}. \quad (56)$$

Модуль упругости при сжатии под углом  $45^\circ$  к плоскостям радиального и тангентального разрезов и направлению волокон ( $E_{45W}$ ) при

влажности ( $W$ ) в момент испытания вычисляют с точностью до 0,5-Ю'Па по формуле:

$$E_{45W} = \frac{Pl}{ab\Delta c} \quad (57)$$

где  $P$  – нагрузка, равная разности между верхним и нижним пределами нагружения, Н;

$l$  – база тензометра, м;

$\Delta l$  – средняя величина перемещения, соответствующая нагрузке  $P$ , м;

$a$  и  $b$  – размеры поперечного сечения образца, м.

Модуль сдвига образцов ( $G_w$ ) с влажностью ( $W$ ) в момент испытания вычисляют для ( $G_{ra}$ ) и ( $G_{ta}$ ) с точностью до 0,5–10<sup>7</sup> Па и до 0,5–10<sup>6</sup> Па для ( $G_{rt}$ ) с учетом знака при ( $\mu_{45}$ ) по формуле:

$$G_w = \frac{E_{45W}}{2(1 + \mu_{45})} \quad (58)$$

Модуль сдвига пересчитывают к влажности 12 % по формуле (4), принимая поправочный коэффициент  $\lambda = 0,03$  на 1 % влажности для всех пород.

При влажности, равной или больше предела насыщения клеточных стенок, пересчитывают к влажности 12 % по формуле (5), где ( $K$ ) принимают равным 2,18 для всех пород.

Значения модулей сдвига некоторых пород древесины приведены в приложении 2.

### 3.6. Поперечные деформации древесины

С приложением нагрузки к стержню кроме продольной появляется поперечная деформация, которая характеризуется коэффициентом поперечной деформации (коэффициент Пуассона), и определяется отношением поперечной деформации к продольной.

Определение коэффициентов поперечной деформации производится на испытательной машине, снабженной шаровой опорой, с погрешностью

измерения нагрузки не более 1 %. Образцы изготавливают по форме и размерам, указанным на (рис. 13).

На боковых поверхностях образцов проводят осевые линии, на них на расстоянии 10 мм от точки пересечения намечают места установки ножек тензометров, под которые наклеивают подкладки размером  $5 \times 5 \times 0,5 \div 1,0$  мм из латуни. На каждом образце измерения деформации проводят последовательно сначала в продольном, затем в поперечных направлениях. На противоположных боковых сторонах образца устанавливают одновременно два тензометра, по одному на каждую сторону, и закрепляют струбциной. Используются тензометры механические рычажно-стрелочные с базой 20 мм, передаточным числом около 1000 и с погрешностью измерения деформации не более 0,001 мм.

Усилие при испытании должно совпадать с продольной осью образца. Для измерения деформации в одном направлении каждый образец подвергают шестикратному нагружению на сжатие в пределах, указанных в табл. 7.

Таблица 7

Параметры испытаний образцов

Направление сжатия	Предел нагружения, Н		Скорость нагружения, Н/мин.
	нижний	верхний	
Вдоль волокон	2000	9000	$10000 \pm 2000$
Поперек волокон	200	900	$3000 \pm 1500$

Сначала образец нагружают до нижнего предела и берут отсчет по тензометрам, затем нагружают до верхнего предела и снова берут отсчет. После этого образец плавно разгружают ниже нижнего предела примерно на 15 % и нагружения повторяются в той же последовательности. Отсчеты берут до 0,5 деления шкалы тензометра.

Пробу на влажность берут из середины образца.

При обработке результатов направление вдоль волокон обозначают индексом (a), поперек волокон в радиальном направлении – индексом (r) и в тангентальном – индексом (t).

Для коэффициентов устанавливают следующие обозначения:

$\mu_{ra}$   $\mu_{ta}$  – коэффициенты поперечной деформации в радиальном и тангентальном направлениях при сжатии вдоль волокон;

$\mu_{ar}$   $\mu_{tr}$  – коэффициенты поперечной деформации вдоль волокон и в тангентальном направлении при сжатии в радиальном направлении;

$\mu_{at}$   $\mu_{rt}$  – коэффициенты поперечной деформации вдоль волокон и в радиальном направлении при сжатии в тангентальном направлении.

Вычисляют среднее арифметическое из последних трех отсчетов по каждому тензомеру отдельно для верхнего и нижнего пределов нагружения и разность между средними арифметическими. Средние величины перемещений в продольном ( $\Delta l$ ) и в поперечных ( $\Delta c$  и  $\Delta d$ ) направлениях на каждой из противоположных боковых сторон вычисляют с точностью до  $0,5 \cdot 10^{-6}$  по формулам:

$$\Delta l = \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{2}, \quad \Delta c = \frac{\Delta c_1 + \Delta c_2}{2}, \quad \Delta d = \frac{\Delta d_1 + \Delta d_2}{2} \quad (59)$$

Деформацию образца в продольном ( $\varepsilon$ ) и поперечном ( $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ ) направлениях вычисляют с точностью до 0,0005 по формулам:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}, \quad \varepsilon_1 = \frac{\Delta c}{c}, \quad \varepsilon_2 = \frac{\Delta d}{d}, \quad (60)$$

где  $l$ ,  $c$ ,  $d$  – базы тензометров, м.

Коэффициенты поперечной деформации поперек волокон пересчитывают к влажности 12 % с точностью до 0,0005 по формуле (4), принимая  $\alpha=0,02$  для всех пород и обоих поперечных направлений.

При влажности, равной или больше предела насыщения клеточных стенок пересчитывают к влажности 12 % с точностью до 0,0005 по формуле (5) при  $K=1,56$  для всех пород и обоих поперечных направлений.

Значение коэффициентов поперечной деформации некоторых пород древесины приведены в приложении 3.

### 3.7. Реологические свойства древесины

В деревянных конструкциях большей частью используется воздушно-сухая древесина, механические свойства которой отвечают состоянию «застеклования» древесины, т. е. обуславливаются естественным «застеклованием» целлюлозы вторичных оболочек. При нагружении древесины вдоль волокон выделяют две области деформирования: область обычной упругости и область вынужденно эластических деформаций. Напряжения, соответствующие границе между двумя областями, называется пределом вынужденной эластичности древесины. Набухшая древесина во второй области выходит из состояния естественного застеклования и приобретает высокоэластичные свойства. Эти деформации обратимы и многократно превышают мгновенные упругие деформации натуральной древесины.

Установлением наиболее общих законов развития деформаций во времени и течения любых веществ занимается наука – реология. Для изучения поведения реальных веществ под нагрузкой во времени. Используются идеализированные реологические модели. На рис. 15 показана реологическая модель для древесины, состоящая из последовательно соединенных моделей упругого тела Гука и эластичного тела Кельвина. Первое изображено пружиной с модулем упругости  $E_2$ , а второе – в виде параллельно соединенных пружин (модуль упругости  $E_1$ ) и демпфера с жидкостью, имеющей коэффициент вязкости  $\eta$ . Зависимость напряжения  $\sigma$  и деформации в этой модели имеет вид:

$$\sigma + n\dot{\sigma} = nH_z\varepsilon + E\dot{\varepsilon}, \quad (61)$$

где  $H=E_2$  – мгновенный модуль упругости;

$E=E_1E_2/(E_1+E_2)$  – длительный модуль упругости;

$n=\mu/(E_1+E_2)$  – длительность релаксации.

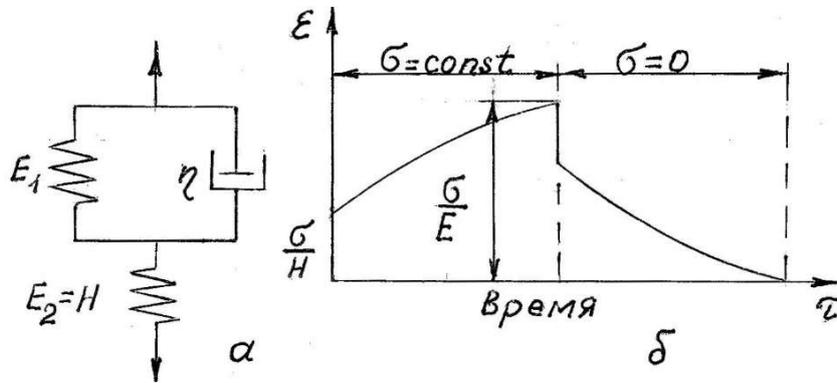


Рис. 15.

а – реологическая модель б – закономерности  
ее деформирования

При приложении нагрузки мгновенно появляется деформация  $\varepsilon = \sigma/H$ . Далее при постоянном напряжении  $\sigma = \text{const}$  возрастают эластические деформации по криволинейному закону, и при длительной выдержке деформация стремится к величине  $\varepsilon = \sigma/E$ . После разгрузки немедленно возвращается упругая деформация, а затем с течением времени полностью исчезает эластическая деформация. Деформации данной модели вполне обратимы. Уравнение (61) увязывает в общем случае напряжения, деформации и их производные во времени и называется реологическим уравнением. Параметры, характеризующие материал, называются реологическими коэффициентами, а напряжения и деформации – реологическими переменными.

В отличие от идеализированной реологической модели натуральная древесина после снятия нагрузки имеет еще остаточные деформации.

Реологические коэффициенты для древесины березы и бука при растяжении поперек волокон в тангентальном направлении со скоростью погружения 0,01 МПа/мин при температуре 20 °С и влажности 10 %,

оказались следующими: мгновенный модуль упругости 680 и 950 МПа, длительный модуль упругости – 400 и 550 МПа, период релаксации – 130 и 170 мин, [5].

Повышение влажности и температуры древесины приводит к резкому снижению величины реологических коэффициентов. Величина реологических показателей древесины практически не зависит от вида испытаний: растяжения или сжатия. В радиальном направлении поперек волокон реологические показатели примерно в 1,5 раза выше, чем в тангентальном.

Реологические свойства древесины необходимо учитывать при разработке режимов гидротермической и механической обработке (гнутое, прессования и т. п.).

### 3.8. Резонансный метод определения модулей упругости и сдвига и декремента колебаний

Сущность метода заключается в возбуждении у образца со свободными концами продольных колебаний основной гармоники и изгибных колебаний второго обертона. По частотам резонансных колебаний определяют модуль упругости и модули сдвига, а по ширине резонансных пиков – логарифмический декремент колебаний.

Для испытаний применяют резонансную установку (рис. 16) с погрешностью измерения частоты колебания не более 0,1 Гц [24]. Используются образцы размерами 20×20×300 мм. Ширину образца (в) в радиальном и высоту (h) в тангентальном направлениях измеряют на середине длины образца с погрешностью не более 0,1 мм. Длину (l) – с погрешностью не более 1 мм. Образец взвешивают с погрешностью не более 0,1 г. На боковых поверхностях на пересечении диагоналей высверливают отверстия глубиной 7–8 мм, диаметром 0,8 мм.

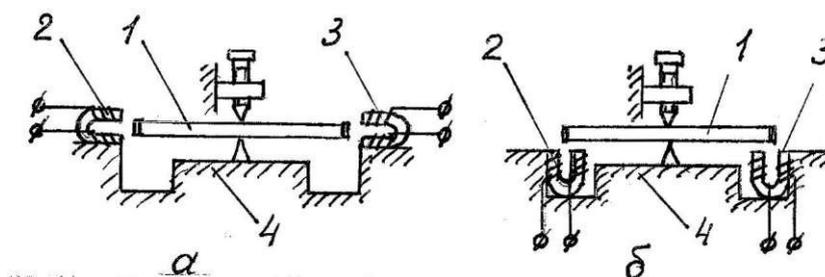


Рис. 16. Схема установки испытаний древесины резонансным методом при продольных (а) и изгибных (б) колебаниях

1 – образец; 2 – возбудитель колебаний; 3 – датчик колебаний;  
4 – опорное устройство

На каждый образец прикрепляют по шесть ферромагнитных пластинок: по одной на центральные части торцов и по две на боковые поверхности так, чтобы край пластинки совпадал с ребром торца. Размер пластинок 5×5 мм. Масса не более 1 г. Образец с пластинками взвешивается до 0,1 г и закрепляется на опорном устройстве вертикальными иглами диаметром 1 мм, длиной 10 мм.

Для возбуждения продольных колебаний возбудитель и датчик подводят к торцам образца на расстояние не более 1 мм, но не допуская соприкосновения. Напряжение на возбудитель подают с генератора, изменяя частоту сигналов от 6 до 12 кГц. По максимальному отклонению стрелки милливольтметра определяют резонанс продольных колебаний основной гармоники. Для возбуждения изгибных колебаний возбудитель и датчик устанавливают на опорном устройстве под образцом на расстояние не более 2 мм, не допуская соприкосновения. Определение резонансных изгибных колебаний второго обертона производят, изменяя частоту сигналов от 1,5 до 3,5 кГц. Частоты резонансных колебаний измеряют с погрешностью не более 0,1 Гц.

Пробу для определения влажности выпиливают из средней части образца.

Модуль упругости ( $E_w$ ) образцов с влажностью ( $W$ ) в момент испытаний вычисляют с точностью до 25 МПа по формуле:

$$E_w = 4 \frac{lm \beta^2}{bh} f_{пр}^2, \quad (62)$$

где  $b, h, l$  – соответственно ширина, высота и длина образца, м;

$m$  – масса образца без пластинок, кг;

$f_{пр}$  – резонансная частота продольных колебаний основной гармоники образца, Гц;

$\beta$  – поправка на массу прикрепленных пластинок равная отношению массы образца с пластинками к массе без пластинок и рассчитываемая с погрешностью не более  $0,5 \cdot 10^{-2}$ .

Пересчет на 12 %-ную влажность ведется по формуле (4) при  $\alpha = 1 - 10^{-2}$  для всех пород древесины. При влажности образца 30 % и более используется формула (5). Пересчетный коэффициент ( $K$ ) принимают равным: 1,25 – для хвойных пород; 1,12 – для кольцесосудных; 1,30 – для бука; 1,23 – для березы и др. рассеяннососудистых пород.

Модуль сдвига ( $G_w$ ) образцов с влажностью ( $W$ ) вычисляют с точностью до 25 МПа по формуле:

$$G_w = \frac{41,78 \cdot \beta^2 \left( 4,67 - \frac{f_{изг}^2}{f_{пр}^2} \right) m}{\frac{A}{f_{изг}^2} - \frac{B}{f_{пр}^2}}, \quad (63)$$

где  $f_{изг}$  – резонансная частота изгибных колебаний второго обертона в радиальной плоскости для ( $G_{ра}$ ) и в тангентальной плоскости для ( $G_{та}$ ), Гц;

$A$  – число, равное  $385,77 \frac{bh}{l}$  ;

$B$  – число, равное

$$\left( 12 \frac{l^2}{h^2} + 108,92 \right) \frac{bh}{l} \text{ для } G_{та} \text{ и } \left( 12 \frac{l^2}{b^2} + 108,92 \right) \frac{bh}{l} \text{ для } G_{ра}$$

Пересчет модулей сдвига на 12 %-ную влажность ведут по формуле (4) при  $\alpha = 3 - 10^{-2}$  для всех пород. При влажности образца 30 % и выше используют формулу (5), принимая  $K = 2,18$  для всех пород древесины.

Логарифмические декременты продольных и изгибных колебаний (S) вычисляют с точностью до  $0,5 - 10^{-4}$  Нп по формулам:

$$\delta = \frac{\pi}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f'_{\text{пр}} - f''_{\text{пр}}}{f_{\text{пр}}} \quad \text{или} \quad \delta = \frac{\pi}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f'_{\text{изг}} - f''_{\text{изг}}}{f_{\text{изг}}}, \quad (64)$$

где  $f$ ,  $f_{\text{пр}}$  и  $f_{\text{изг}}$ ,  $f'_{\text{изг}}$  – соответственно, частоты продольных и изгибных колебаний с амплитудой равной половине резонансной, Гц.

Нп (непер) – единица логарифмической относительной величины.  $\text{Нп} = \ln(F_2/F_1)$  при  $F_2/F_1 = e \approx 2,718$ , где  $F_2$  и  $F_1$  – значения физических величин. Или непер – есть отношение двух физических величин, натуральный логарифм которого равен  $1 \text{ Нп} = 8,686 \text{ дБ}$ .

## 4. ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ

### 4.1. Ударная вязкость при изгибе древесины

Показатели вязкости используются для сравнительной оценки качества древесины, чем выше вязкость древесины, тем выше ее качество.

Испытания образцов в форме прямоугольного бруска сечением 20×20 мм и длиной вдоль волокон 300 мм производятся на маятниковом копре с запасом энергии 100 Дж и с погрешностью измерения не более ±1 % (рис. 17). На середине образца измеряется его ширина (b) в радиальном и высота (h) в тангенциальном направлениях с погрешностью не более 0,1 мм. Затраченную на излом работу определяют с погрешностью не более 1 Дж. Пробу на влажность берут из образца вблизи излома.

Ударную вязкость при кондиционировании образцов древесины ( $A_w$ ) в Дж/см<sup>2</sup> вычисляют по формуле с округлением до 0,1 Дж/см<sup>2</sup>.

$$A_w = \frac{Q}{bh}, \quad (65)$$

где Q – работа на излом образца, Дж;

b и h – ширина и высота образца, см.

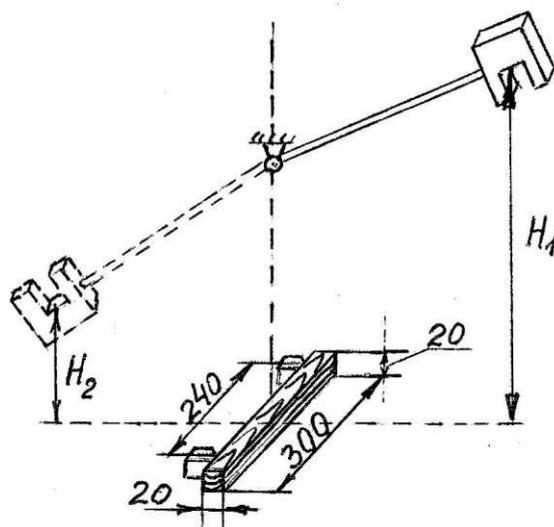


Рис. 17. Схема испытаний древесины на ударную вязкость при изгибе

Пересчет на 12 %-ную влажность проводят по формуле (3) при  $\alpha = 0,02$  для всех пород. При влажности образцов 30 % и выше используется формула (6) при  $K_{12}^w = 0,845$  для всех пород. Если образцы неконденсированные, то  $K_{12}^w p$  – определяется по таблице ГОСТ 164834-85, а методика вычисления ( $A_w$ ) аналогична приведенной для кондиционированных образцов.

Ударная вязкость древесины лиственных пород мягких в 1,5 раза, а твердых в 2,5 раза выше, чем хвойных. Значения ударной вязкости некоторых пород древесины приведены в приложении 1.

#### 4.2. Ударная твердость древесины

Этот показатель характеризует способность древесины сопротивляться ударному воздействию более твердого тела.

Испытания проводят на специальном приспособлении [26, рис. 18]. На испытуемый образец в форме прямоугольной призмы сечением  $20 \times 20$  мм и длиной вдоль волокон 150 мм, покрытый копировальной бумагой, опускают стальной ( $\rho = 7,8$  г/см<sup>3</sup>) шарик диаметром  $(25 \pm 0,05)$  мм с высоты  $(500 \pm 1)$  мм. Размеры полученных отпечатков измеряют лупой с погрешностью не более 0,1 мм в направлениях поперек и вдоль волокон. Расстояние между центрами отпечатков должно быть  $(40 \pm 5)$  мм.

Пробу на влажность берут из образца с отпечатками длиной 100 мм и шириной 5 мм.

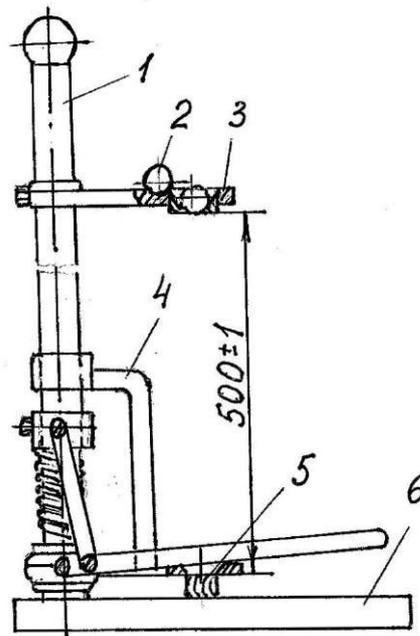


Рис. 18. Схема испытаний древесины на ударную твердость

1 – стойка, 2 – шарик, 3 – держатель,  
4 – устройство для прижима образца, 5 – образец, 6 – опорная плитка

Ударную твердость ( $H_{wy}$ ) образца при влажности ( $W$ ) в момент испытания в Дж/см<sup>2</sup> вычисляют по формуле:

$$H_{wy} = \frac{4mgh}{\pi d_1 d_2}, \quad (66)$$

где  $m$  – масса шарика, кг;

$g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$h$  – высота падения шарика, м;

$d_1$  и  $d_2$  – размеры отпечатков в направлениях поперек и вдоль волокон, см.

Рассчитывают среднее арифметическое результатов трех измерений на одном образце и выражают результат с точностью до 0,01 Дж/см<sup>2</sup>.

При необходимости  $H_{wy}$  приводят к влажности 12 % по формуле (3) при  $\alpha=0,02$  для всех пород. При влажности образца 30 % и выше используют формулу (5).

В этом случае коэффициент К принимают равным; 1,300 – для хвойных пород; 1,335 – для лиственницы; 1,285 – для кольцесосудистых пород; 1,180 – для рассеянососудистых пород.

Вычисляют коэффициент неоднородности ударной твердости ( $\beta$ ) по формуле:

$$\beta = \left( \frac{\overline{d_1}}{\overline{d_2}} \right)^2, \quad (67)$$

где  $\overline{d_1}$  и  $\overline{d_2}$  – среднее арифметическое измерений размеров трех отпечатков по направлению поперек и вдоль волокон соответственно.

Таблица 8

Ударная твердость древесины некоторых пород, Дж/см<sup>2</sup>

Порода	Влажность, %		Порода	Влажность, %	
	12	30 и более		12	30 и более
Лиственница	0,90	0,68	Акация белая	1,21	0,96
Ель	0,73	0,56	Бук	0,96	0,79
Сосна	0,72	0,55	Береза	0,80	0,67
Пихта кавказская	0,65	0,50	Осина	0,73	0,62
Кедр	0,62	0,47	Тополь	0,68	0,57

#### 4.3. Статическая твердость древесины

Статическая твердость – это способность древесины сопротивляться вдавливанию тела из более твердого материала. Испытания проводятся на машине с наибольшей предельной нагрузкой 50 кН. В приспособлении (рис. 19) включающим корпус, пуансон с наконечником в виде полусферы радиусом (5,64±0,01)мм и индикатор с погрешностью измерения не более 0,01 мм [27].

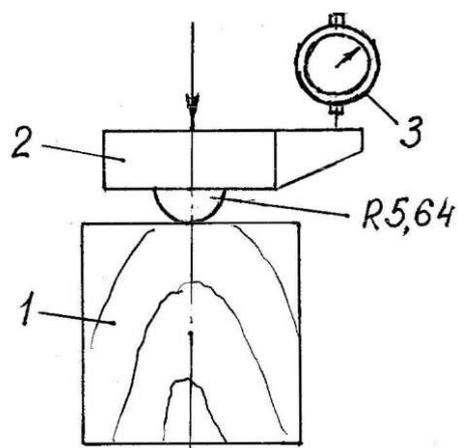


Рис. 19. Схема испытаний древесины на статическую твердость  
 1 – образец, 2 – пуансон с полусферическим наконечником,  
 3 – индикатор часового типа

Пуансон вдавливается в пересечение диагоналей грани образца, имеющего форму прямоугольной призмы 50×50×50 мм со скоростью от 3 до 6 мм/мин или в пределах от 1 до 2 мин после начала нагружения. После достижения глубины вдавливания 5,64 миллиметрового пуансона в образец определяют нагрузку (F) с погрешностью не более 1 %.

Статическую твердость ( $H_w$ ) образца при влажности (W) в момент испытаний и заглублении 5,64 мм вычисляют в Н/мм<sup>2</sup> по формуле:

$$H_w = \frac{F}{\pi r^2}, \quad (68)$$

где F – нагрузка на пуансон, Н;

r – радиус полусферы пуансона. При r = 5,64 мм выражение от 100 мм.

Если заглубление пуансона выполнялось на глубину 2,82 мм, то вычисления ведут по формуле:

$$H_w = \frac{4F}{3\pi r^2}. \quad (69)$$

Результат вычисляют с точностью до 0,1 Н/мм.

При необходимости ( $H_w$ ) приводят к влажности 12 % по формуле (3), справедливой для влажности  $(12\pm 3)\%$ , принимая коэффициент  $\alpha=0,03$  для всех пород. Если влажность образца 30 % и более, то пересчет производят по формуле (5). Пересчетный коэффициент ( $K$ ) принимают равным: 2,13 – для хвойных пород и 1,68 – для лиственных.

Статическая твердость торцевой поверхности выше, чем боковых для хвойных пород в среднем на 40 %, для лиственных на 30 %. Данные по твердости некоторых пород приведены в приложении 1.

#### 4.4. Сопротивление древесины раскалыванию

Раскалывание – это разделение древесины вдоль волокон под действием нагрузки, передаваемой через клин, по плоскостям радиального и тангентального разрезов. Форма и размеры образца приведены на (рис. 20). Испытания проводятся на машине с наибольшей предельной нагрузкой 50 кН с использованием приспособления для нагружения образца с подвижными захватами в форме стремян. Образец нагружают равномерно с постоянной скоростью  $(600\pm 100)$  Н/мин при условии разрушения образца через 1–2 мин от начала нагружения. Максимальную нагрузку  $F_{\max}$  измеряют с погрешностью не более 1 %.

В качестве пробы на влажность берут обе части разрушенного образца.

Сопротивление раскалыванию ( $R_w$ ) при влажности ( $W$ ) в момент испытания вычисляют в Н/мм по формуле с точностью до 0,1 Н/мм.

$$R_w = \frac{F_{\max}}{a}, \quad (70)$$

где  $F_{\max}$  – максимальная нагрузка, Н;

$a$  – ширина образца, мм.

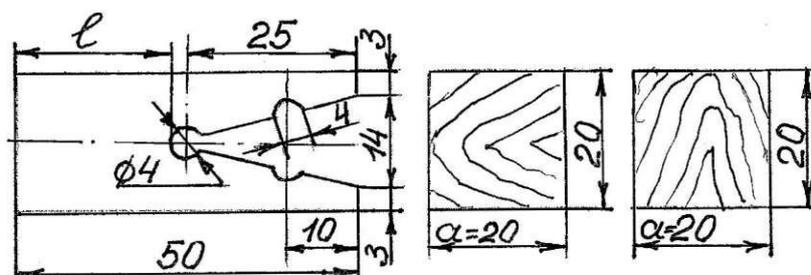


Рис. 20. Образец для испытания древесины на раскалывание

Допускается вычислять сопротивление раскалыванию в Н/мм с точностью до 0,1Н/мм по формуле:

$$R'_w = \frac{F_{\max}}{S}, \quad (71)$$

где  $S=al$  – номинальная площадь раскалывания, мм<sup>2</sup>;

$l$  – длина раскола, мм.

При необходимости значение сопротивления раскалыванию приводят к влажности 12 % по формуле (3), принимая  $\alpha=0,02$  для всех пород древесины.

При влажности образца, равной или большей предела гигроскопичности пользуются формулой (5), где пересчетный коэффициент  $K = 1,660$  для всех пород.

Значения сопротивления древесины раскалыванию используются лишь для сравнительной оценки различных пород по данному показателю (см. табл. 9).

Таблица 9

Средние показатели сопротивления раскалыванию древесины  
некоторых пород, Н/мм

Порода	Плоскость раскалывания			
	радиальная		тангенциальная	
	W=12 %	W=30 %	W=12 %	W=30 %
1	2	3	4	5
Береза	16,5	10,3	20,6	12,8
Бук	16,7	10,4	25,2	15,7
Граб	21,0	13,0	28,2	17,6
Дуб	16,6	10,3	22,5	14,0

1	2	3	4	5
Ель	9,8	6,0	10,9	6,8
Клен	22,6	14,0	27,4	17,0
Липа	14,6	9,0	17,9	11,1
Лиственница	13,4	8,3	13,3	8,2
Осина	11,5	7,2	15,5	9,6
Пихта	7,4	4,6	9,0	5,6
Сосна	11,5	7,2	11,3	7,1
Тополь	10,3	6,3	11,9	7,4
Ясень	22,2	13,8	23,0	14,2

#### 4.5. Сопротивление древесины выдергиванию гвоздей и шурупов

Особо важное практическое значение имеет уникальное свойство древесины удерживать крепежные изделия. Это обуславливается давлением деформированной древесины на боковые стенки внедренных в нее креплений.

Испытания древесины на удельное сопротивление выдергиванию гвоздей и шурупов производится на испытательной машине, оборудованной специальным приспособлением, с погрешностью измерения нагрузки не более 1 %, (рис. 21). Используются гвозди диаметром 2,0 мм и шурупы диаметром 4,0 мм, длиной 50 мм. Отобранные гвозди и шурупы обезжириваются, ржавые и искривленные к использованию на допускаются.

В деревянный образец размерами 50×50×150 мм перпендикулярно поверхностям в радиальном, тангенциальном и продольном направлениях забивают гвозди или ввинчивают шурупы на расстоянии 40 мм от торца и 50 мм один от другого по средней линии грани бруска. Глубина забивания гвоздей (без заострения) – (30+1) мм, ввинчивания шурупов – (20+1) мм. Под шурупы предварительно высверливаются отверстия диаметром 2 мм для пород с плотностью древесины меньшей 600 кг/м<sup>3</sup>, 3 мм – для пород с

плотностью от 600 до 700 кг/мм<sup>3</sup> и 3,5 мм – для пород с плотностью большей 700 кг/мм<sup>3</sup>. Глубина сверления должна быть (16±1)мм.

Гвозди и шурупы выдергиваются не позднее чем через 2-3 часа после их внедрения в образец. Скорость должна быть такой, чтобы время испытаний было в пределах 1–2 мин. Максимальную нагрузку  $F_{max}$  определяют с погрешностью не более 1%. Пробу для определения влажности длиной 5 мм вырезают из средней части образца. Результаты испытаний образцов с влажностью, отличающейся от нормализованной более чем на 2 %, не учитываются.

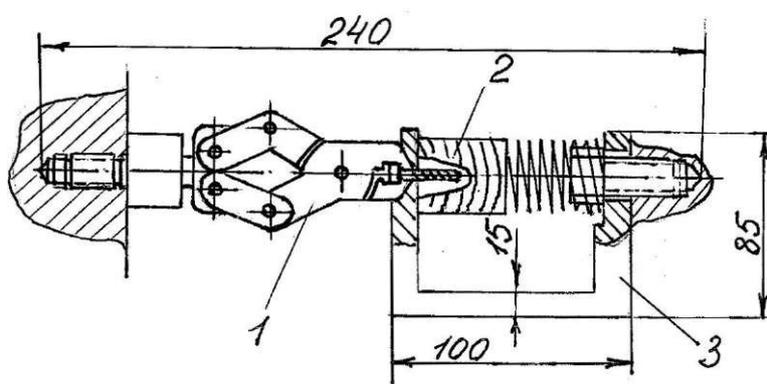


Рис. 21. Приспособление для выдергивания гвоздей и шурупов

- 1 – клещи для захвата головки шурупа (гвоздя);  
 2 – образец с шурупом (гвоздем); 3 – скоба для крепления образца

Удельное сопротивление ( $P_{уд}$ ) древесины выдергиванию гвоздей (шурупов) при влажности ( $W$ ) в момент испытания вычисляют с точностью до 0,1 Н/мм по формуле:

$$P_{уд} = \frac{F_{max}}{l}, \quad (72)$$

где  $F_{max}$  – максимальная нагрузка, Н;

$l$  – глубина внедрения гвоздя (шурупа), мм.

За удельное сопротивление каждого образца древесины принимают среднее арифметическое результатов двух определений.

Этот показатель представляет собой сравнительную характеристику древесины разных пород и различных технологических обработок, но не является абсолютной величиной сопротивления выдергиванию. Некоторые данные приведены в табл. 10.

Таблица 10

Удельное сопротивление выдергиванию гвоздей и шурупов, из древесины некоторых пород при влажности 12 %, Н/мм

Порода древесины	Направление внедрения крепежа					
	Гвозди			Шурупы		
	радиальное	тангентальное	торцовое	радиальное	тангентальное	торцовое
Береза	190,1	159,5	121,2	129	141	80
Ель	127,5	141,3	79,1	96	90	55
Кедр	81,0	104,2	65,9	88	89	58
Лиственница	236,8	231,1	124,3	127	120	90
Пихта	116,2	106,8	66,6	63	65	36
Сосна	117,4	123,7	61,5	93	98	55

#### 4.6. Показатели истирания древесины

На практике процесс истирания древесины встречается довольно часто, особенно в строительных конструкциях (полы, лестницы, настилы).

Определение показателя истирания древесины производится в испытательной машине с подвижным стволом, совершающим 40 возвратно-поступательных движений в минуту при ходе 41 мин, с секторообразным грузом массой 17 кг, приспособлением на диске для закрепления образца и храповым механизмом для периодического поворота диска с частотой вращения 4 об/мин (рис. 22).

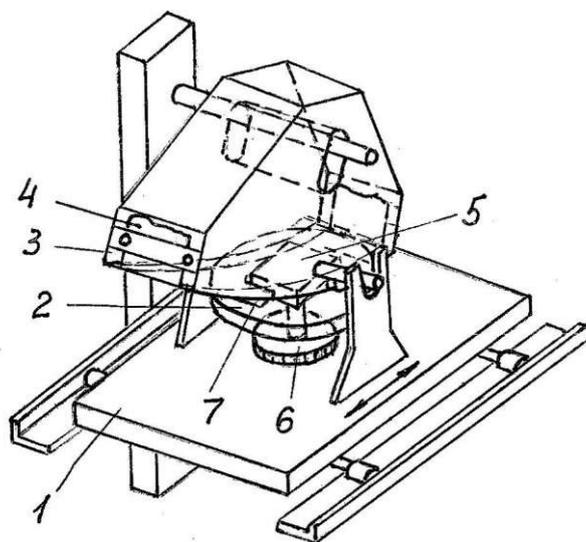


Рис. 22. Схема машины для испытания древесины на истирание  
 1 – подвижный стол, 2 – поворачивающийся диск, 3 – секторообразный груз, 4 – шлифовальная шкурка, 5 – образец, 6 – храповой механизм, 7 – приспособление с упорами для закрепления образца

Испытания на истирание древесины проводят по поверхностям тангентального, радиального, поперечного разрезов. Образцы имеют форму прямоугольной призмы сечением  $50 \times 50$  и высотой 20 мм. Высоту измеряют с погрешностью не более 0,1 мм. Образец взвешивают с погрешностью не более 0,01 г. Затем его закрепляют на поворачивающемся диске машины, поднимая винтом подвижный упор приспособления. На секторном грузе перемещают электрокорундовую шкурку зернистостью 25 на длину изношенного участка с таким расчетом, чтобы каждый образец истирался новым участком шкурки. Секторообразный груз опускают на образец и включают машину. При возвратно-поступательном движении стола подошва груза со шкуркой движется на поверхности образца, который дополнительно поворачивается на 36 градусов. Испытания продолжаются 10 мин. Образец очищают от древесной пыли и взвешивают с погрешностью не более 0,01 г. В качестве пробы на влажность берут весь образец.

Показатель истирания (t) образца вычисляют с точностью до 0,01 мм по формуле:

$$t = h \frac{m_1 - m_2}{m_1} \quad (73)$$

где h – высота образца до испытания, мм;

$m_1$  и  $m_2$  – массы образца до и после испытания, г.

Показатель истирания можно вычислять с точностью до % по формуле:

$$t = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \quad (74)$$

Опытные данные по испытаниям древесины на истирание приведены в табл. 11.

Таблица 11

Истирание древесины некоторых пород, мм

Порода	Направление истирания		
	радиальное	тангентальное	торцовое
Береза	0,40	0,31	0,22
Бук	0,17	0,13	0,14
Ель	0,30	0,32	0,20
Кедр	0,28	0,26	0,28
Лиственница	0,18	0,25	0,13
Пихта	0,26	0,30	0,18
Сосна	0,32	0,33	0,14
Ясень	0,07	0,14	0,09

#### 4.7. Длительная прочность древесины

Использование древесины в строительных конструкциях, действующих длительное время, требует установления величины предела прочности древесины в этих условиях. В результате исследований установлено, что характер изменения прочности древесины в зависимости

от времени действия постоянной нагрузки можно представить кривой (рис. 23) постепенно приближающихся к прямой, параллельной оси времени и пересекающей ось напряжений в точке, значения которой называется пределом долговременного сопротивления.

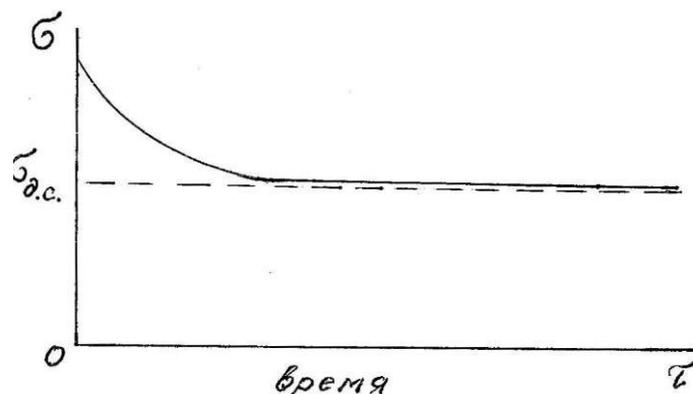


Рис. 23. Зависимость прочности древесины от времени действия постоянной нагрузки

Существует зависимость предела прочности ( $\sigma_\tau$ ) от любой заранее заданной продолжительности нагрузки, в МПа,

$$\sigma_\tau = \sigma_{ст} + \alpha(\lg \tau_{ст} - \lg \tau), \quad (75)$$

где  $\sigma_{ст}$  – предел прочности при стандартных испытаниях, МПа;

$\tau_{ст}$  – время, потребное для разрушения образца при стандартных испытаниях, с;

$\alpha$  – поправочное число, МПа.

Значения  $\sigma_{ст}$  и  $\alpha$  приведены в РТМ для различных пород и видов действия сил [5].

В среднем для всех видов напряженного состояния предел долговременного сопротивления составляет примерно 0,5–0,6 величины предела прочности при кратковременных статических испытаниях [2].

#### 4.8. Усталость древесины

При низкочастотных механических знакопеременных нагрузках (частотой менее 50 Гц) в древесине возникают необратимые остаточные деформации, вызываемые повреждениями древесной ткани на молекулярном уровне, что постепенно приводит к разрушению. Это явление называют усталостью древесины [2].

Испытания на усталость проводят на специальных машинах, настраиваемых на заданный закон нагружения. Определяется по счетчику общее число циклов до момента разрушения. По результатам испытаний нескольких серий образцов строят кривую усталости, аналогичную кривой длительного сопротивления (рис. 23), «только на оси абсцисс откладывается число циклов. Со снижением величины напряжения кривая асимптотически приближается к прямой; параллельной оси абсцисс, ординатой которой является напряжение, называемое пределом выносливости. По данным некоторых исследований [2], средняя величина предела выносливости для древесины составляет примерно 0,2 статического предела прочности.

## 5. УДЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ

Удельные характеристики представляют собой показатели механических свойств древесины, отнесенные к единице плотности. Они имеют особое значение при конструировании изделий высокой прочности и жесткости при малой массе, в производстве музыкальных инструментов и в других случаях. Некоторые данные приведены в табл. 12 [5].

Таблица 12

Показатели механических свойств древесины, при  $W = 12 \%$ ,  
отнесенные к  $1 \text{ кг/м}^3$

Порода	Предел прочности, МПа				Ударная вязкость	Торцовая твердость
	При сжатии вдоль волокон	При растяжении вдоль волокон	При статическом изгибе	При скалывании вдоль волокон		
Береза	0,083	0,256	0,168	0,016	0,146	0,071
Бук	0,079	0,176	0,154	0,019	0,119	0,088
Граб	0,073	0,169	0,160	0,021	0,123	0,110
Дуб	0,074	–	0,117	0,017	–	0,098
Ель	0,101	0,226	0,176	0,015	0,088	0,057
Клен	0,084	–	0,166	0,018	0,110	0,106
Липа	0,092	0,236	0,174	0,016	0,117	0,051
Лиственница	0,093	0,186	0,162	0,014	0,078	0,064
Ольха	0,085	0,185	0,150	0,017	0,098	0,075
Осина	0,087	0,244	0,154	0,015	0,171	0,052
Пихта	0,106	0,176	0,180	0,017	0,077	0,073
Сосна	0,094	0,202	0,167	0,014	0,082	0,055
Тополь	0,088	0,193	0,149	0,014	0,086	0,056
Ясень	0,082	0,205	0,173	0,019	0,130	0,115

По удельным показателям древесина вполне конкурентоспособна с другими современными конструкционными материалами (полимеры, стеклопластики и др.).

## 6. ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ

О влиянии температуры и влажности древесины на ее механические свойства можно судить по данным [5], на основании которых построен график зависимости прочности древесины сосны на сжатие вдоль волокон от температуры и влажности (рис. 24).

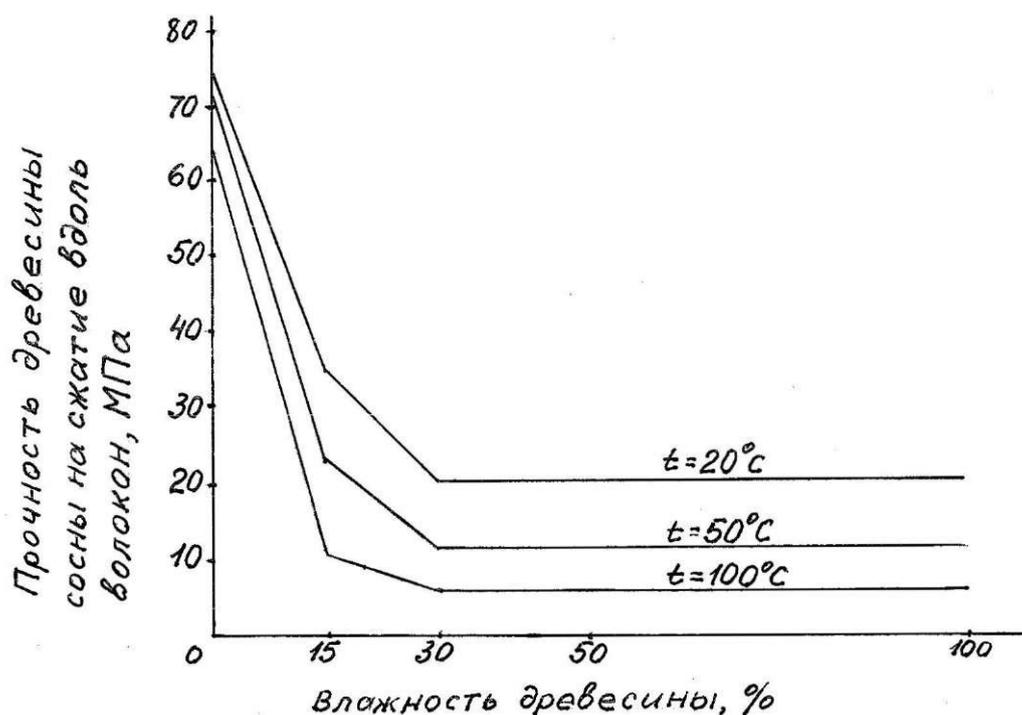


Рис. 24. Зависимость прочности древесины от температуры и влажности

Если при повышении влажности до предела насыщения клеточных стенок прочность резко снижается, а при дальнейшем повышении остается практически постоянной, то повышение температуры от 0 до 100 °С ведет к непрерывному снижению прочности.

При высокотемпературных режимах сушки наблюдается резкое снижение прочности. При правильно выбранных мягких режимах или при использовании поля ТВЧ механические свойства древесины остаются равноценными с древесиной, высушенной в естественных условиях, т. е. при атмосферной сушке.

При отрицательных температурах показатели отдельных механических свойств древесины (сжатие, статический изгиб, скалывание, модули упругости) выше. Исключение составляет ударная вязкость.

Малые дозы ионизирующих излучений ( $\gamma$  – радиации) существенного влияния на механические свойства не оказывают, но древесина может приобрести буроватую окраску. С повышением дозы облучения до 10 Мрад (мегарад) наблюдается снижение показателей механических свойств, (1Мрад=10кДж/кг).

Действие кислот, щелочей и газов приводит к снижению прочности древесины.

Пребывание древесины в речной воде в течение 10–30 лет прочностных показателей не снижает, но при дальнейшем хранении наблюдается резкое снижение механических свойств по причине выщелачивания и гидролиза наружных слоев. Морская вода постепенно заметно снижает прочность и ударную вязкость древесины.

## 7. ИЗМЕНЧИВОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ

На механические свойства древесины оказывают влияние порода, возраст дерева, условия произрастания, расположение сортимента по высоте и радиусу ствола.

Каждая древесная порода обладает комплексом особенностей строения древесины, влияющим на ее механические свойства. Поэтому при изучении последних в первую очередь учитывается порода древесины.

У наиболее старых деревьев повышается плотность древесины за счет уменьшения прироста по диаметру, возрастания количества годичных слоев в 1 см и увеличения процента поздней древесины. Это приводит к некоторому повышению механических свойств. В пределах одного ствола эти свойства изменяются по высоте и радиусу. По высоте ствола более высокие показатели наблюдаются в комлевой части, и по мере поднятия до начала живой кроны они снижаются. По радиусу ствола механические свойства возрастают от сердцевины к коре, достигают максимума, а затем вновь начинают уменьшаться.

В практике различие свойств по высоте и радиусу ствола принимают в расчет только при изготовлении единичных бытовых изделий, так как в промышленных условиях невозможно определить, из какой части ствола по высоте и радиусу выпилена заготовка.

## Средние показатели механических свойств основных древесных пород

Порода	Предел прочности, МПа					Ударная вязкость при изгибе, кДж/м <sup>2</sup>	Твердость, Н/мм <sup>2</sup>		
	При статическом изгибе	При сжатии вдоль волокон	При растяжении вдоль волокон	При скалывании вдоль волокон			Торцовая	Радиальная	Тангенциальная
				Радиальный	Тангенциальный				
Береза бородавчатая	<u>109,5</u> 64,5	<u>54,0</u> 26,3	<u>109,5</u> 64,5	<u>109,5</u> 64,5	<u>109,5</u> 64,5	<u>109,5</u> 64,5	<u>109,5</u> 64,5	<u>109,5</u> 64,5	
Бук	<u>104</u> 62,9	<u>52,9</u> 26,8	<u>124</u> 92,6	<u>12,1</u> 7,30	<u>14,0</u> 8,70	<u>76,3</u> 69	<u>65,1</u> 40,5	<u>53,2</u> 29,8	<u>49,5</u> 30,5
Граб	<u>127,7</u> 93,8	<u>60,9</u> 36,4	<u>128,5</u> 96,3	<u>14,7</u> 8,50	<u>18,5</u> 10,7	<u>99,0</u> 84	<u>88,4</u> 52,5	<u>75,9</u> 45,2	<u>78,1</u> 46,4
Дуб восточный	<u>82,4</u> 53,3	<u>52,0</u> 28,7	–	<u>11,8</u> 8,90	<u>12,6</u> 9,50	–	<u>69,3</u> 41,4	<u>54,5</u> 32,6	<u>60,0</u> 35,9
Ель	<u>78,6</u> 43,0	<u>45,0</u> 19,2	<u>101</u> 77,2	<u>6,83</u> 4,00	<u>6,72</u> 4,30	<u>39,2</u> 33	<u>25,3</u> 12	<u>17,5</u> 8,20	<u>17,8</u> 8,50
Клён	<u>115</u> 66,0	<u>58,5</u> 28,1	–	<u>12,0</u> 7,70	<u>13,7</u> 8,50	<u>76,3</u> 59	<u>73,8</u> 44,1	<u>54,1</u> 32,3	<u>57,4</u> 34,3
Липа	<u>86,4</u> 53,1	<u>45,8</u> 23,7	<u>117</u> 89,4	<u>8,42</u> 5,50	<u>8,00</u> 4,90	<u>57,8</u> 49	<u>25,0</u> 15,0	<u>16,7</u> 10,0	<u>17,4</u> 10,4
Лиственница	<u>108,8</u> 60,5	<u>61,5</u> 24,8	<u>124</u> 94,5	<u>9,78</u> 6,20	<u>9,11</u> 5,70	<u>53,1</u> 43	<u>42,0</u> 20,1	<u>31,5</u> 14,8	<u>33,4</u> 15,1
Ольха	<u>78,9</u> 48,4	<u>44,5</u> 23,1	<u>97,3</u> 74,3	<u>7,97</u> 5,10	<u>9,80</u> 6,20	<u>51,6</u> 43	<u>39,2</u> 23,5	<u>26,5</u> 15,9	<u>28,2</u> 16,8
Орех грецкий	<u>108</u> 59,5	<u>55,4</u> 23,3	–	<u>10,7</u> 5,80	<u>11,4</u> 6,00	<u>74,3</u> 63	<u>62,0</u> 38,0	–	–
Осина	<u>76,4</u> 44,5	<u>43,1</u> 18,8	<u>121</u> 92,7	<u>6,15</u> 3,50	<u>8,42</u> 4,90	<u>84,6</u> 72	<u>25,8</u> 15,4	<u>18,7</u> 11,2	<u>19,6</u> 11,7
Пихта сибирская	<u>67,9</u> 295	<u>40,0</u> 17,2	<u>66,3</u> 50,5	<u>5,87</u> 3,70	<u>5,71</u> 3,60	<u>31,8</u> 25	<u>27,4</u> 12,9	<u>15,1</u> 7,1	<u>14,2</u> –
Сосна кедровая	<u>69,2</u> 36,3	<u>40,0</u> 16,4	<u>89,2</u> 68,0	<u>6,36</u> 3,80	<u>6,36</u> 4,00	<u>30,9</u> 25	<u>21,6</u> 11,6	<u>14,8</u> –	<u>15,4</u> –
Сосна обыкновенная	<u>84,5</u> 48,5	<u>46,3</u> 20,8	<u>102</u> 77,6	<u>7,44</u> 4,20	<u>7,23</u> 4,40	<u>41,3</u> 35	<u>28,4</u> 13,2	<u>22,5</u> 10,6	<u>23,2</u> 10,9
Тополь	<u>68,0</u> 39,5	<u>40,0</u> 17,4	<u>87,8</u> 67,0	<u>5,96</u> 3,30	<u>7,15</u> 4,10	<u>39,2</u> 33	<u>26,7</u> 15,4	<u>18,5</u> 11,1	–
Ясень обыкновенный	<u>118</u> 72,8	<u>56,2</u> 31,8	<u>140</u> 107	<u>13,4</u> 9,20	<u>13,0</u> 8,60	<u>88,7</u> 74	<u>78,3</u> 46,8	<u>57,1</u> 34,1	<u>65,1</u> 38,9

Примечание: Числитель – при влажности 12 %, знаменатель – при 30 % и более.

## Средние модули упругости некоторых древесных пород, ГПа

Порода	Сжатие			Растяжение			Статический изгиб	Сдвиг		
	$E_a$	$E_r$	$E_t$	$E_a$	$E_r$	$E_t$		$E_{изг}$	$E_{га}$	$E_{га}$
Береза	16,1	0,65	0,50	18,4	0,64	0,46	15,2	1,56	0,86	0,22
Граб	12,4	–	–	14,8	–	–	12,2	–	–	–
Дуб	14,2	1,40	1,01	14,2	1,18	0,91	15,3	1,42	0,98	0,47
Ель	14,4	0,64	0,40	14,5	0,66	0,46	11,0	0,05	–	–
Кедр	13,4	–	–	10,7	–	–	10,7	–	–	–
Лиственница	14,2	–	–	14,7	–	–	15,3	–	–	–
Ольха	13,0	–	–	12,1	–	–	11,0	–	–	–
Осина	12,8	–	–	15,6	–	–	11,1	–	–	–
Пихта	12,7	–	–	12,7	–	–	10,5	–	–	–
Сосна	11,9	0,67	0,55	11,9	0,54	0,47	12,6	1,23	0,76	–
Тополь	13,9	–	–	12,4	–	–	15,0	–	–	–
Ясень	15,2	1,06	–	14,2	–	–	13,0	–	–	–

Примечание: При  $E$  индексы а, r, t обозначают направление силы (а – вдоль волокон, r – радиальное, t – тангенциальное).

Ориентировочные коэффициенты поперечной деформации некоторых древесных пород при влажности 10–15 %

Порода	$\mu_{ra}$	$\mu_{ta}$	$\mu_{ar}$	$\mu_{tr}$	$\mu_{at}$	$\mu_{rt}$
Бук	0,410	0,330	0,030	0,730	0,020	0,360
Береза	0,580	0,450	0,043	0,810	0,040	0,490
Дуб	0,430	0,410	0,070	0,830	0,090	0,340
Ель	0,440	0,411	0,017	0,480	0,031	0,250
Сосна	0,420	0,410	0,030	0,790	0,037	0,380
Ясень	0,430	0,260	0,043	0,740	0,043	0,600

Примечание: В индексе при  $\mu$  первая буква обозначает направление поперечной деформации, вторая – направление силы, вызвавшей поперечную деформацию (a – направление вдоль волокон, r – радиальное направление, t – тангенциальное).

## Библиографический список

1. Койков, П. М. Классификация механических свойств древесины [Текст] / П. М. Койков // Ежегодная научно–техническая конференция «Наука – производство – технология – экология» : сб. материалов. Т. 1. – Киров : Изд-во ВятГТУ, 1999 – С. 90–91.

2. Уголев, Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения [Текст] / Б. Н. Уголев. – Москва : Лесная промышленность, 1986. – 365 с.

3. Ашкенази, Е. К. Анизотропия древесины и древесных материалов [Текст] / Е. К. Ашкенази. – Москва : Лесная промышленность, 1978. – 224 с.

4. Леонтьев, Н. Л. Техника испытаний древесины [Текст] / Н. Л. Леонтьев. – Москва : Лесная промышленность, 1970. – 160 с.

5. Боровиков, А. М. Справочник по древесине [Текст] / А. М. Боровиков, Б. Н. Уголев. – Москва : Лесная промышленность, 1989. – 294 с.

6. Древесина. Показатели физико–механических свойств [Текст] : РТМ. – Москва : Комитет стандартов при СМ СССР, 1962. – 48 с.

7. ГОСТ 16483.7–71 Древесина. Методы определения влажности [Электронный ресурс] : с Изменениями № 1, 2, 3. – Действ. с 01.01.1973. – Москва : Изд-во стандартов, 1999. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

8. ГОСТ 16483.0-85 (СТ СЭВ 6470-88) Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям [Электронный ресурс]. – Действ. с 01.07.1990. – Москва : Изд-во стандартов, 1989. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

9. ГОСТ 16483.10-73 Древесина. Методы определения предела прочности при сжатии вдоль волокон [Электронный ресурс] : с Изменениями № 1, 2, 3. – Действ. с 01.07.1974. – Москва : Изд-во стандартов, 1999. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

10. ГОСТ 16483.11-72 Древесина. Метод определения условного предела прочности при сжатии поперек волокон [Электронный ресурс] : с Изменениями № 1, 2, 3. – Действ. с 01.01.1973. – Москва : Изд-во стандартов, 1999. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

11. ГОСТ 16483.2-70 Древесина. Метод определения условного предела прочности при местном смятии поперек волокон [Электронный ресурс] : с Изменениями № 1, 2, 3. – Действ. с 01.01.1971. – Москва : Изд-во стандартов, 1999. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

12. ГОСТ 16483.28-73 Древесина. Метод определения предела прочности при растяжении поперек волокон [Электронный ресурс] : с Изменениями № 1, 2. – Действ. с 01.01.1975. – Москва : Изд-во стандартов, 1999. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

13. ГОСТ 16483.3-84 (СТ СЭВ 390-76) Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе [Электронный ресурс]. – Действ. с 01.07.1985. – Москва : Изд-во стандартов, 1984. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

14. ГОСТ 16483.5-73 Древесина. Метод определения предела прочности при скалывании вдоль волокон [Электронный ресурс] : с Изменениями № 1-4. – Действ. с 01.07.1974. – Москва : Изд-во стандартов, 1986. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

15. ГОСТ 16483.12-85 Древесина. Метод определения предела прочности при скалывании поперек волокон [Электронный ресурс] : с Изменением № 1. – Действ. с 01.01.1973. – Москва : Изд-во стандартов, 1999. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

16. ГОСТ 16483.13-72 Древесина. Метод определения предела прочности при перерезании поперек волокон [Электронный ресурс] : с Изменением № 1. – Действ. с 01.01.1973. – Москва : Изд-во стандартов, 1986. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

17. ГОСТ 16483.24-73 Древесина. Метод определения модуля упругости при сжатии вдоль волокон [Электронный ресурс] :

с Изменением № 1. – Действ. с 01.01.1975. – Москва : Изд-во стандартов, 1999. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

18. ГОСТ 16483.25-73 Древесина. Метод определения модуля упругости при сжатии поперек волокон [Электронный ресурс] : с Изменением № 1. – Действ. с 01.01.1975. – Москва : Изд-во стандартов, 1999. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

19. ГОСТ 16483.26-85 Древесина. Метод определения модуля упругости при растяжении вдоль волокон [Электронный ресурс] : с Изменениями № 1, 2. – Действ. с 01.01.1975. – Москва : Изд-во стандартов, 1999. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

20. ГОСТ 16483.27-85 Древесина. Метод определения модуля упругости при растяжении поперек волокон [Электронный ресурс] : с Изменениями № 1, 2. – Действ. с 01.01.1975. – Москва : Изд-во стандартов, 1999. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

21. ГОСТ 16483.30-73 Древесина. Метод определения модулей сдвига [Электронный ресурс] : с Изменениями № 1, 2. – Действ. с 01.01.1975. – Москва : Изд-во стандартов, 1999. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

22. ГОСТ 16483.29-73 Древесина. Метод определения коэффициентов поперечной деформации [Электронный ресурс] : с Изменениями № 1, 2. – Действ. с 01.01.1975. – Москва : Изд-во стандартов, 1999. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

23. ГОСТ 16483.31-74 (СТ СЭВ 1143-78) Древесина. Резонансный метод определения модулей упругости и сдвига и декремента колебаний [Электронный ресурс] : с Изменениями № 1, 2. – Действ. с 01.01.1975. – Москва : Изд-во стандартов, 1999. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

24. ГОСТ 16483.4-73 (СТ СЭВ 815-77) Древесина. Методы определения ударной вязкости при изгибе [Электронный ресурс] :

с Изменениями № 1, 2, 3. – Действ. с 01.07.1974. – Москва : Изд-во стандартов, 1986. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

25. ГОСТ 16483.16-81 (СТ СЭВ 2367-80) Древесина. Метод определения ударной твердости [Электронный ресурс] : с Изменением № 1. – Действ. с 01.01.1983. – Москва : Изд-во стандартов, 1999. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

26. ГОСТ 16483.17-81 Древесина. Метод определения статической твердости [Электронный ресурс] : с Изменением № 1. – Действ. с 01.01.1983. – Москва : Изд-во стандартов, 1999. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

27. ГОСТ 16483.22-81 (СТ СЭВ 2365-80) Древесина. Метод определения сопротивления раскалыванию [Электронный ресурс] : с Изменением № 1. – Действ. с 01.01.1983. – Москва : Изд-во стандартов, 1999. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

28. ГОСТ 16483.33-77 Древесина. Метод определения удельного сопротивления выдерживанию гвоздей и шурупов [Электронный ресурс] : с Изменениями № 1, 2. – Действ. с 01.01.1978. – Москва : Изд-во стандартов, 1999. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

29. ГОСТ 16483.39-81 (СТ СЭВ 2363-80) Древесина. Метод определения показателей истирания [Электронный ресурс] : с Изменением № 1. – Действ. с 01.01.1983. – Москва : Изд-во стандартов, 1986. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 ПОКАЗАТЕЛИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ .....	4
1.1 Основные понятия о механических свойствах древесины. ....	4
1.2 Приведение показателей механических свойств древесины к нормализованной влажности.....	7
1.3 Методы отбора образцов и общие требования при механических испытаниях .....	10
2 ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ .....	23
2.1 Прочность древесины при сжатии вдоль волокон .....	23
2.2 Прочность древесины при сжатии поперек волокон .....	24
2.3 Прочность древесины при местном смятии поперек волокон.....	28
2.4 Прочность древесины при растяжении вдоль волокон .....	30
2.5 Прочность древесины при растяжении поперек волокон .....	32
2.6 Прочность древесины при статическом изгибе .....	34
2.7 Прочность древесины при скалывании вдоль волокон .....	36
2.8 Прочность древесины при скалывании поперек волокон .....	38
2.9 Прочность древесины при перерезании поперек волокон .....	40
3 ПОКАЗАТЕЛИ ДЕФОРМАТИВНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ .....	42
3.1 Упругость древесины при сжатии вдоль волокон .....	42
3.2 Упругость древесины при сжатии поперек волокон .....	44
3.3 Упругость древесины при растяжении вдоль волокон.....	45
3.4 Упругость древесины при растяжении поперек волокон.....	46
3.5 Сдвиг древесины .....	47
3.6 Поперечные деформации древесины .....	50
3.7 Реологические свойства древесины .....	53
3.8 Резонансный метод определения модулей упругости и сдвига и декремента колебаний.....	55
4 ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ .....	59
4.1 Ударная вязкость при изгибе древесины .....	59
4.2 Ударная твердость древесины .....	60
4.3 Статическая твердость древесины.....	62
4.4 Сопротивление древесины раскалыванию .....	64

4.5 Соппротивление древесины выдергиванию гвоздей и шурупов .....	66
4.6 Показатели истирания древесины .....	68
4.7 Длительная прочность древесины .....	70
4.8 Усталость древесины .....	72
5 УДЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ...	73
6 ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ.....	74
7 ИЗМЕНЧИВОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ.....	76
Приложение 1 Средние показатели механических свойств основных древесных пород	77
Приложение 2 Средние модули упругости некоторых древесных пород .....	78
Приложение 3 Ориентировочные коэффициенты поперечной деформации некоторых древесных пород при влажности 10–15 %.....	79
Библиографический список.....	80

Учебное издание

Папулова Ирина Евгеньевна

# МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ИСПЫТАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Учебное пособие

Подписано в печать 25.09.2014. Заказ № 1463.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вятский государственный университет».

610000, г. Киров, ул. Московская, 36, тел.: (8332) 64-23-56, <http://vyatsu.ru>



