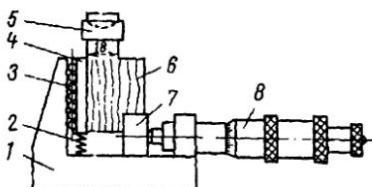


Как и при других видах испытаний определяют влажность образцов (используя в качестве пробы большую часть разрушенного образца); пересчитывают пределы прочности к нормализованной влажности, применяя поправочный коэффициент  $\alpha = 0,03$  для всех пород при скальвании как в радиальной, так и в тангенциальной плоскости.

Рис. 58. Приспособление для испытания на скальвание древесины вдоль волокон:  
1 – корпус; 2 – пружина; 3 – ролики; 4 – подвижная планка; 5 – нажимная призма;  
6 – образец; 7 – подвижная опора; 8 – прижимное устройство



В табл. 35 приведены данные о прочности древесины при скальвании вдоль волокон. Эти данные, полученные путем испытания древесины в приспособлениях старого типа (без подвижной планки) завышены за счет влияния трения примерно на 15 %.

### 35. Прочность древесины при скальвании вдоль волокон

Порода	Предел прочности, МПа, при скальвании в плоскости				Порода	Предел прочности, МПа, при скальвании в плоскости				
	радиальной при влажности, %		тангенциальной при влажности, %			радиальной при влажности, %		тангенциальной при влажности, %		
	12	30 и более	12	30 и более		12	30 и более	12	30 и более	
Лиственница	9,8	6,2	9,1	5,7	Орех грецкий	10,7	5,8	11,4	6,0	
Сосна	7,4	4,2	7,2	4,4	Дуб	9,9	7,4	11,8	8,8	
Ель	6,8	4,0	6,7	4,3	Береза	9,0	5,8	10,9	7,0	
Кедр	6,4	3,8	6,4	4,0	Вяз	8,9	6,4	9,9	7,2	
Пихта сибирская	5,9	3,7	5,7	3,6	Груша	8,6	5,5	13,3	7,9	
Граб	14,7	8,5	18,5	10,7	Липа	8,4	5,5	8,0	4,9	
Ясень	13,4	9,2	13,0	8,6	Ольха	8,0	5,1	9,8	6,2	
Клен	12,0	7,7	13,7	8,5	Осина	6,2	3,5	8,4	4,9	
Бук	12,1	7,3	14,0	8,7	Тополь	6,0	3,3	7,2	4,1	

Прочность древесины при скальвании вдоль волокон у лиственных пород примерно в 1,6 раза выше, чем у хвойных. При тангенциальном скальвании прочность древесины лиственных пород на 10–30 % выше, чем при радиальном; это превышение тем больше, чем лучше развиты в древес-

сine сердцевинные лучи (граб, бук). Для древесины хвойных пород прочность при скальвании в обоих случаях примерно одинакова.

В среднем для всех пород предел прочности при скальвании вдоль волокон составляет примерно 1/5 предела прочности при сжатии вдоль волокон.

Методы испытания на скальвание и перерезание древесины поперек волокон также стандартизованы.

Для испытания на скальвание поперек волокон должен применяться образец, форма и размеры которого показаны на рис. 57, б. При разрушении образца возможен вырыв волокон, поэтому у обоих концов выступающей части образца предусмотрены ограничительные пропилы глубиной 3 мм. До испытания определяют фактическую площадь скальвания  $F$  (основания выступа) как произведение длины выступа (вдоль волокон) и его толщины.

Испытания проводят с помощью приспособления, отличающегося от показанного на рис. 58 только размерами некоторых деталей. Процедура испытаний такая же, как при скальвании вдоль волокон.

Предел прочности  $\tau_w$ , МПа, вычисляют как отношение максимальной нагрузки  $P_{max}$ , Н, к площади скальвания  $F$ , мм<sup>2</sup>.

Испытания на перерезание древесины поперек волокон проводят на образцах в виде пластинки шириной  $b = 20$  мм, толщиной  $a = 5$  мм и длиной 50 мм (рис. 59). Нагрузку передают на образец через подвижный нож. Предел прочности вычисляют с округлением до 0,1 МПа по формуле

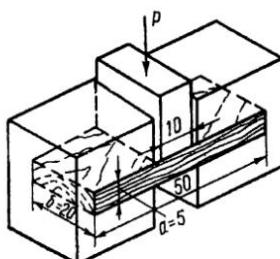
$$\tau_w = \frac{P_{max}}{2ab}, \quad (92)$$

где  $P_{max}$  – максимальная нагрузка, Н;  $a$  и  $b$  – размеры поперечного сечения образца, мм

Последующие операции и расчеты при испытаниях на скальвание и перерезание поперек волокон такие же, как и при скальвании вдоль волокон.

Предел прочности при скальвании поперек волокон в 2 раза меньше, а предел прочности при перерезании поперек волокон в 4 раза больше, чем предел прочности при скальвании вдоль волокон [49].

Рис. 59. Схема испытаний древесины на перерезание поперек волокон



Древесина довольно часто работает в деревянных конструкциях на скальвание вдоль волокон (например, в соединениях

стропильных ферм способом лобовых врубок); реже встречаются случаи работы на скальвание поперек волокон (например, в шпонках и шпунтовых соединениях) и перерезание поперек волокон (например, нагели).

Также очень редко работает древесина на кручение (например, валы). При кручении возникают касательные напряжения в плоскости параллельной оси и в плоскости перпендикулярной оси закручиваемого стержня. Если ось стержня совпадает с направлением волокон, разрушение его при кручении происходит от скальвания вдоль волокон. Однако пределы прочности при кручении в 1,5 раза выше, чем при испытаниях на скальвание вдоль волокон.

Если кручению подвергаются образцы, ось которых направлена не вдоль, а поперек волокон, то и разрушение происходит от скальвания поперек волокон; следовательно, пределы прочности на кручение таких образцов будут соответственно ниже.

В расчетах на прочность элементов деревянных конструкций используются, как указывалось, критерии прочности (67), в которые в числе других характеристик древесины входят и пределы прочности при чистом сдвиге. Согласно данным В.В. Тулузакова (МЛТИ) при испытаниях в условиях, близких к чистому сдвигу, а также данным [56], полученным при испытаниях на кручение круглых полых образцов, пределы прочности для древесины сосны оказались выше, чем при обычном скальвании вдоль волокон на 30–40 %.

## § 25. Деформативность древесины при кратковременных нагрузках

В условиях кратковременного воздействия сравнительно небольших нагрузок древесина ведет себя как упругое тело. Как указывалось ранее (§ 18), древесину в малых объемах можно рассматривать как ортотропное тело. Ниже приводятся методы определения и значения показателей жесткости или так называемых упругих постоянных древесины: модулей упругости, коэффициентов поперечной деформации (коэффициентов Пуассона) и модулей сдвига.

### **Модули упругости древесины.**

Испытания на сжатие вдоль и поперек волокон. Модуль упругости, характеризующий меру жесткости, т. е. способности деформироваться, материала, представляет собой коэффициент пропорциональности в законе Гука и при сжатии (или растяжении) стержня может быть найден из соотношения

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}, \quad (93)$$

где  $\sigma$  – напряжение;

$\varepsilon$  – деформация (относительное укорочение или удлинение).

Модули упругости древесины в трех главных направлениях  $E_a$ ,  $E_r$  и  $E_t$  при сжатии определяют при статических испытаниях на образцах в виде призмы, имеющей размеры  $20 \times 20 \times 60$  мм; причем длинная сторона призмы должна быть соответственно ориентирована вдоль волокон, в радиальном и тангенциальном направлениях – поперек волокон (рис. 60). Методика этих и описываемых далее испытаний рассчитана на использование для измерения деформаций (укоочений) рычажно-стрелочных тензометров с базой 20 мм. Допускается применение и других тензометров с погрешностью измерения деформаций не более 0,001 мм.

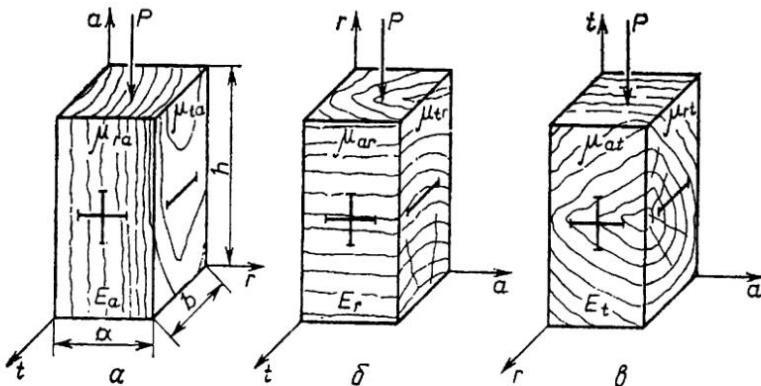


Рис. 60. Образцы для определения модулей упругости и коэффициентов поперечной деформации при сжатии:

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

До начала испытаний посередине длины образца определяют размры его поперечного сечения. На двух противоположных длинных гранях образца, в местах, указанных на рис. 60 вертикальными рисками, укрепляют тензометры.

Для выделения из общих деформаций только упругой их части образец подвергают шестикратному нагружению в пределах  $1 \cdot 10^3 - 4 \cdot 10^3$  Н при определении  $E_a$  и  $1 \cdot 10^2 - 4 \cdot 10^2$  Н при определении  $E_r$  и  $E_t$ . Из трех последних отсчетов по каждому тензометру отдельно для верхнего и нижнего пределов нагрузки вычисляют среднее арифметическое. Разница между ними соответствует укорочению  $\Delta l_1$  и  $\Delta l_2$  по каждой из граней на базе тен-

зометра  $l$ . Укорочение образца  $\Delta l$  вычисляют как среднее из  $\Delta l_1$  и  $\Delta l_2$ . Величину модуля упругости вдоль или поперек волокон  $E_w$  при данной влажности  $W$  вычисляют, округляя результат соответственно до 50 или 5 МПа, по формуле

$$E_w = \frac{Pl}{F\Delta l}, \quad (94)$$

где  $P$  – разница между верхним и нижним пределом нагружения, Н;

$F$  – площадь поперечного сечения образца (нормального к действующей силе), мм<sup>2</sup>

**Испытания на растяжение вдоль и поперек волокон.** Определение модулей упругости можно проводить перед испытанием на прочность тех же образцов (размеры и форма их показаны на рис. 50 и 51). В случае отдельного определения модуля упругости при растяжении вдоль волокон применяют образцы в виде прямоугольной пластинки размером 20×4×300 мм и захваты со скошенными рифлеными контактными поверхностями. Измеряют площадь поперечного сечения  $F$  рабочей части образца и на две противоположные стороны укрепляют тензометры. Пределы нагрузления при определении модуля упругости вдоль волокон составляют  $5 \cdot 10^2 - 15 \cdot 10^2$  Н, а при испытаниях поперек волокон  $1 \cdot 10^2 - 4 \cdot 10^2$  Н.

В остальном процедура испытаний и порядок вычисления модулей упругости такие же, как и при сжатии.

**Испытание на статический изгиб.** Для определения модуля упругости используют такие же образцы, как и для испытания на прочность (20×20×300 мм). Однако нагрузку прикладывают через два ножа, находящихся на расстоянии 120 мм друг от друга, т. е. по схеме, изображенной на рис. 54, а.

Перед испытанием на середине длины образца измеряют фактическую ширину  $b$  и высоту  $h$ . Для измерения прогиба в зоне чистого изгиба используют соответствующее приспособление с индикатором часового типа, которое укрепляют под нажимными ножами на половине высоты образца.

Образец шестикратно циклически нагружают и при последних четырех циклах в момент достижения нагрузки 300 и 800 Н измеряют прогиб  $f$  с погрешностью не более 0,001 мм. Модуль упругости вычисляют с округлением до 100 МПа по формуле

$$E_w = \frac{3Pl^3}{64bh^3f}, \quad (95)$$

где  $P$  – нагрузка, равная разности между верхним и нижним пределами измерения, Н;  $l$  – расстояние между опорами, равное 240 мм;  $b$  и  $h$  – ширина и высота образца, мм;  $f$  – прогиб, равный разности между средними арифметическими результатами измерения прогиба при верхнем и нижнем пределах нагрузления, мм.

Для приведения полученных модулей упругости к нормализованной влажности используют формулу (70) с поправочным коэффициентом  $\alpha$ , равным для всех пород при статическом изгибе 0,01, растяжении и сжатии вдоль волокон – 0,012, растяжении поперек волокон радиальном – 0,028, тангенциальном – 0,035, сжатии поперек волокон радиальном – 0,033, тангенциальном – 0,039.

Средние значения модулей упругости для некоторых пород, полученные Н.Л. Леонтьевым и пересчитанные на влажность 12 %, приведены в табл. 36.

### 36. Модули упругости древесины

Порода	Модуль упругости $E$ , ГПа*					
	при сжатии			при растяжении		
	$E_a$	$E_r$	$E_t$	$E_a$	$E_r$	$E_t$
Сосна	11,9	0,67	0,55	11,9	0,54	0,47
Ель	14,4	0,64	0,40	14,5	0,66	0,46
Дуб	14,2	1,40	1,01	14,2	1,18	0,91
Береза	16,1	0,65	0,50	18,4	0,64	0,46

Приведенные в работе [49] значения модулей упругости при статическом изгибе получены Н.Л. Леонтьевым путем измерения прогиба по всему пролету (а не в зоне чистого изгиба). Из-за влияния поперечной силы на указанный прогиб эти данные, как показали исследования автора и А.Л. Михайличенко, занижены в среднем на 19 %.

Как видно из табл. 36, модуль упругости вдоль волокон примерно в 20–25 раз выше, чем поперек. Модуль упругости в радиальном направлении выше, чем в тангенциальном направлении поперек волокон по средним данным на 20–50 %.

**Коэффициенты поперечной деформации.** Как известно, при приложении нагрузки к стержню кроме продольной деформации  $\varepsilon$  появляется поперечная деформация  $\varepsilon'$ . Коэффициентом поперечной деформации (коэффициентом Пуассона) называется отношение

$$\mu = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon}. \quad (96)$$

У ортотропного тела, как уже отмечалось в § 18, шесть коэффициентов поперечной деформации:  $\mu_{ra}$ ,  $\mu_{ar}$ ,  $\mu_{rt}$ ,  $\mu_{tr}$ ,  $\mu_{rl}$ ,  $\mu_{lr}$ . Каждая пара коэффициентов  $\mu$  с одинаковым вторым индексом, указывающим направление действия силы, может быть определена на одном образце. Определение  $\mu$  проводят при испытаниях на сжатие.

Для этой цели, так же как и при определении  $E$ , используют образцы в виде призмы с  $h = 60$  мм, но с большим поперечным сечением

\* 1 ГПа (гигапаскаль) =  $10^9$  Па =  $10^4$  кгс/см<sup>2</sup>.

( $a = b = 30$  мм). На каждом образце по двум тензометрам, укрепленным на противоположных гранях (рис. 60), последовательно измеряют деформацию сначала в направлении действия силы, а затем в перпендикулярных направлениях. Процедура испытаний примерно такая же, как и для определения модуля упругости при сжатии. Однако пределы нагружения при сжатии вдоль волокон составляют  $2 \cdot 10^3 - 9 \cdot 10^3$  Н, а при сжатии поперек волокон  $2 \cdot 10^2 - 9 \cdot 10^2$  Н. По трем последним показаниям пары тензометров определяют сначала удлинение или укорочение  $\Delta l$ , а затем среднюю деформацию в соответствующем направлении. Коэффициент  $\mu_w$  вычисляют по формуле (96).

Для пересчета показателей к нормализованной влажности используют формулу (70) с поправочным коэффициентом  $\alpha$ , равным для всех пород при сжатии поперек волокон 0,02. Значения коэффициентов поперечной деформации для некоторых наших пород, полученные Н.Л. Леонтьевым при влажности 10–15%, приведены в таблице.

### 37. Коэффициенты поперечной деформации древесины

Порода	Коэффициенты поперечной деформации					
	$\mu_{ra}$	$\mu_{ta}$	$\mu_{ar}$	$\mu_{tr}$	$\mu_{at}$	$\mu_{rt}$
Сосна	0,490	0,410	0,030	0,790	0,037	0,380
Ель	0,440	0,411	0,017	0,480	0,031	0,250
Дуб	0,430	0,410	0,070	0,830	0,090	0,340
Береза	0,580	0,450	0,043	0,810	0,040	0,490

Приведенные в табл. 37 данные, полученные при измерении деформации рычажными тензометрами, следует рассматривать как ориентировочные. Более надежные данные получаются, если на каждом образце определять не только два коэффициента поперечной деформации (допустим,  $\mu_{ra}$  и  $\mu_{ta}$ ), но и соответствующий модуль упругости ( $E_a$ ), используя наклеенные "крестом" тензорезисторы на все четыре грани образца. Определенные таким способом данные [5] для древесины сосны при сжатии приведены в табл. 38. Они в большей мере, чем данные табл. 37, удовлетворяют соотношениям, вытекающим из допущения о существовании упругого потенциала:

$$\frac{\mu_{ra}}{E_a} = \frac{\mu_{ar}}{E_r}; \quad \frac{\mu_{ta}}{E_a} = \frac{\mu_{at}}{E_t}; \quad \frac{\mu_{tr}}{E_r} = \frac{\mu_{rt}}{E_t}. \quad (97)$$

Этим соотношениям лучше соответствуют и данные для древесины березы (табл. 38), полученные А.В. Дорожко (БТИ) при испытаниях на растяжение с использованием тензометров на базе механотронных преобразователей. При испытаниях образцов березы на сжатие было экспериментально установлено существенное влияние приторцовового эффекта, приводящего к завышению поперечных деформаций в зонах, распространяющихся на расстоянии  $1,5 b$  от каждого торца.

### 38. Некоторые характеристики упругости древесины

Порода	Модули упругости, ГПа			Коэффициенты поперечной деформации					
	$E_a$	$E_r$	$E_t$	$\mu_{ra}$	$\mu_{ta}$	$\mu_{ar}$	$\mu_{tr}$	$\mu_{at}$	$\mu_{rt}$
Сосна	11,3	1,74	0,90	0,504	0,463	0,078	0,527	0,045	0,306
Береза	20,37	1,19	0,64	0,341	0,445	0,029	0,566	0,013	0,321

**Модули сдвига древесины.** Модуль сдвига является коэффициентом пропорциональности между касательными напряжениями  $\tau$  и угловой деформацией  $\gamma$ . Для ортотропных тел необходимо располагать данными о трех модулях сдвига –  $G_{ta}$ ,  $G_{ra}$ ,  $G_{rt}$ . Как показал А.Н. Митинский, модули сдвига могут быть определены косвенным путем при испытании на сжатие (или растяжение) образцов, оси которых параллельны одному из главных направлений упругой симметрии и составляют углы  $45^\circ$  с другими главными направлениями. При этом модуль сдвига равен:

$$G = \frac{E^{45}}{2(1 + \mu^{45})}. \quad (98)$$

Эта зависимость была положена в основу детально разработанного Н.Л. Леонтьевым метода определения модуля сдвига, который вошел в действующий ГОСТ.

Для испытаний на сжатие используются образцы сечением  $30 \times 20$  мм и длиной 60 мм. Для определения модулей сдвига  $G_{ta}$  и  $G_{ra}$  образцы должны быть изготовлены таким образом, чтобы их длинная ось составляла угол  $45^\circ$  с направлением волокон, а у образцов для определения  $G_{rt}$  – угол  $45^\circ$  с направлением годичных слоев (рис. 61).

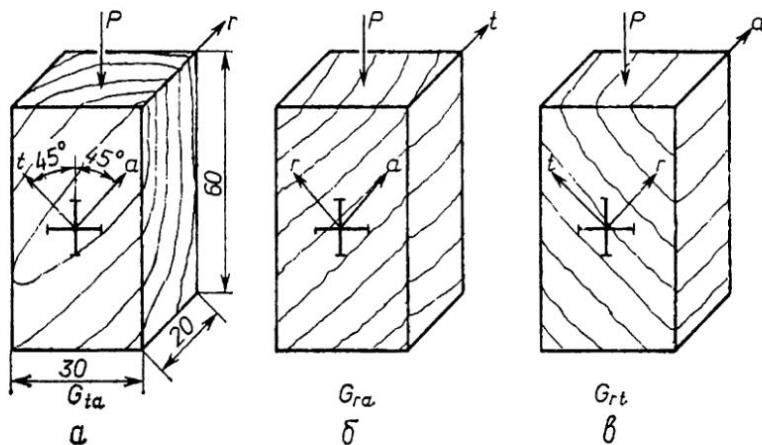


Рис. 61. Образцы и схема расположения тензометров при определении модулей сдвига

Измерение деформаций проводят на двух противоположных поверхностях каждого образца (тангенциальной для определения  $G_{ta}$  радиальной – для  $G_{ra}$  и торцовой – для  $G_r$ ). Деформации измеряют последовательно сначала в направлении действия силы, а затем в поперечном направлении. Образцы подвергают шестикратному нагружению в пределах 150–600 Н. В остальном процедура испытаний такая же, что и при определении модулей упругости и коэффициентов поперечной деформации. По замеренной продольной (в направлении действия силы) деформации, площади сечения образца и нагрузке вычисляют, округляя до 5 МПа, модуль упругости  $E^{45}$  под углом 45° к волокнам или годичным слоям при данной влажности. Вычисление коэффициента  $\mu^{45}$ , округляя до 0,0005, проводят с учетом знака поперечной деформации  $\epsilon'$  ("+" при деформации растяжения и "-" при деформации сжатия). Величину модуля сдвига  $G_w$  при данной влажности вычисляют по формуле (98), округляя результат до 5 МПа для  $G_{ta}$  и  $G_{ra}$  и до 0,5 МПа для  $G_r$ . При подстановке в формулу значений  $\mu^{45}$  необходимо учитывать знак этого коэффициента. Определяют влажность образцов и пересчитывают модуль сдвига к нормализованной влажности по формуле (70), используя поправочный коэффициент  $\alpha = 0,03$ .

В табл. 39 представлены некоторые данные о модулях сдвига, пересчитанные к 12 % влажности.

Кроме описанных выше статических методов определения характеристик упругости древесины в ЦНИИМОде разработан стандартизованный резонансный метод (ГОСТ 16483.31-74). Установка и процедура испытания были описаны в гл. 4 § 16.

### 39. Модули сдвига древесины

Порода	Модули сдвига, ГПа		
	$G_{ra}$	$G_{ta}$	$G_r$
Сосна	1,23	0,80	–
Ель	–	–	0,5
Береза	1,54	0,89	0,23
Дуб	1,41	1,00	0,47

Зная резонансную частоту при продольных колебаниях, согласно соотношениям (59, 60) можно определить модуль упругости вдоль волокон, Па, по формуле

$$E = 4l^2 f_{rp}^2 \rho, \quad (99)$$

где  $l$  – длина образца, м;  $f_{rp}$  – резонансная частота, Гц;  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>.

По резонансным частотам продольных колебаний основной гармоники и изгибных колебаний второго обертона того же образца в радиальной и тангенциальной плоскостях можно определить модули сдвига  $G_{ra}$  и  $G_{ta}$ .

Исследования, проведенные в ЦНИИМОде, показали, что модуль упругости, определенный резонансным методом, не отличается от этого показателя, полученного при испытании образца статическим методом с измерением прогиба в зоне чистого изгиба. Модуль упругости и сдвига древесины можно получить, измеряя скорость распространения ультразвукового импульса [5].

## § 26. Реологические свойства и гигро(термо)-механические деформации древесины

Реологические свойства древесины проявляются в ее способности деформироваться под нагрузкой и во времени. Наиболее обстоятельно были изучены особенности деформирования древесины вдоль волокон. Ю.М. Иванов установил, что основным носителем реологических свойств древесины является ее анизотропный компонент, высокориентированный полимер – целлюлоза. Воздушно-сухая древесина находится в состоянии естественного застеклования. При нагружении ее можно выделить две области деформирования: первая – область обычной упругости, вторая – область вынужденно эластических деформаций. Эти увеличенные деформации состоят в основном из термообратимых остаточных деформаций. Напряжения, определяющие границу между двумя областями, представляют собой предел вынужденной эластичности древесины. Если напряжения во второй области воздействуют на набухшую древесину, она выходит из состояния естественного застеклования и приобретает высокоэластические свойства. Высокоэластические деформации обратимы и в десятки раз превышают мгновенные упругие деформации натуральной древесины.

Автор [64] провел достаточно широкие исследования деформативности древесины поперек волокон. Типичные закономерности деформирования древесины под постоянной нагрузкой и после ее снятия иллюстрирует рис. 62. Как видим, при разгрузке образца мгновенно возвращается упругая деформация, через некоторое время исчезает эластическая деформация, но даже при длительном выдерживании сохраняются остаточные деформации. Было показано, что для описания обратимых упруго-эластических деформаций применима реологическая модель, изображенная на рис. 45. Путем испытаний образцов при малой скорости нагружения (0,01 МПа/мин) с периодическими разгрузками (для исключения остаточных деформаций) были получены значения мгновенного и длительного модулей упругости, а также времени релаксации древесины основных пород при различных значениях температуры и влажности.

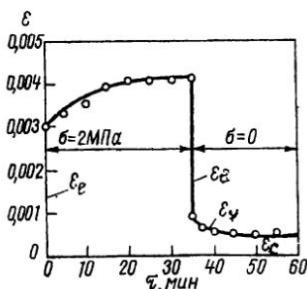


Рис. 62. Деформирование древесины во времени при нагружении и разгрузке (бук, расстояние поперек волокон в радиальном направлении,  $t = 60^{\circ}\text{C}$ ,  $W = 10\%$ ):

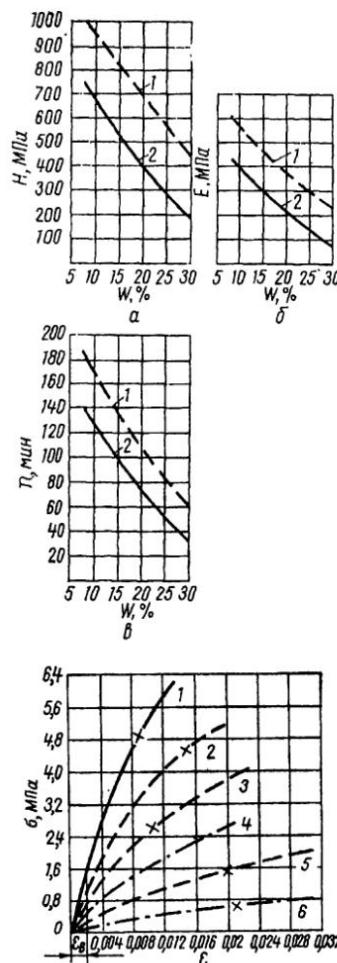
$\varepsilon_e$  – упругая деформация;  $\varepsilon_v$  – эластическая деформация;  $\varepsilon_c$  – остаточная деформация

Методика испытаний и полученные результаты подробно освещены в учебном пособии [63] и монографии [64]. В качестве примера на рис. 63 представлены данные для березы и бука при  $20^{\circ}\text{C}$ . Как видим, повышение влажности приводит к резкому снижению величины реологических коэффициентов. Еще больше снижаются эти коэффициенты, если кроме того увеличивается температура древесины. Величина реологических показателей древесины практически не зависит от вида испытаний (растяжение или сжатие). В радиальном направлении поперек волокон реологические показатели примерно в 1,5 раза выше чем в тангенциальном.

Рис.63. Зависимости реологических коэффициентов древесины при растяжении в тангенциальном направлении от влажности:  
а – мгновенного модуля упругости  $H$ ; б – длительного модуля упругости  $E$ ; в – времени релаксации  $\tau$ : 1 – бук; 2 – береза

Полученные в результате реологических испытаний, т. е. при малой скорости нагружения, зависимости между напряжениями и общими (включая и остаточные) деформациями имеют вид, показанный на рис. 64. Аналогичный характер имеют зависимости и для других пород. Крестиками на каждой кривой отмечены максимальные напряжения и деформации, достигнутые в опытах. Кривые экстраполированы до напряжений, соответствующих пределам прочности. При уменьшении скорости нагружения общие деформации (при одном и том же напряжении) увеличиваются в основном за счет возрастания остаточных и, отчасти, эластических деформаций.

Рис. 64. Зависимости между напряжениями  $\sigma$  и общими деформациями  $\varepsilon$  при растяжении древесины дуба поперек волокон в тангенциальном направлении (скорость нагружения  $v = 0,005 - 0,01 \text{ МПа/мин}$ ):  
1 –  $t = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $W = 12\%$ ; 2 –  $t = 60^{\circ}\text{C}$ ,  $W = 10\%$ ;  
3 –  $t = 60^{\circ}\text{C}$ ,  $W = 15\%$ ; 4 –  $t = 95^{\circ}\text{C}$ ,  $W = 10\%$ ;  
5 –  $t = 60^{\circ}\text{C}$ ,  $W > W_{\text{пп}}$ ; 6 –  $t = 95^{\circ}\text{C}$ ,  $W > W_{\text{пп}}$



Эти экспериментальные диаграммы растяжения удобно аппроксимировать степенной зависимостью вида

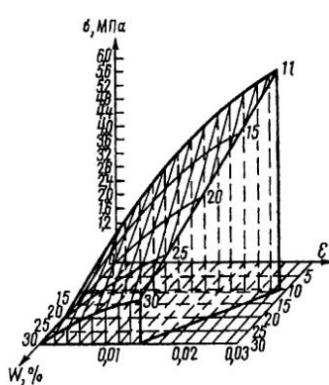
$$\sigma = \sigma_B \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_B} \right)^m, \quad (100)$$

где  $\sigma$  – напряжение;  $\varepsilon$  – деформация;  $\sigma_B$  и  $\varepsilon_B$  – постоянные для данной кривой величины, соответствующей некоторой фиксированной точке  $B$ ;  $m$  – коэффициент.

Для дуба согласно рис.64 при  $\varepsilon_B = 0,002$   $\sigma_B$  у разных кривых имеет значения 0,09–1,42 МПа, а коэффициент  $m$  равен 0,73–0,84.

При  $m=1$  выражение (100) превращается в зависимость между напряжениями и деформациями линейно-упругого тела, в которой отношение  $\frac{\sigma_B}{\varepsilon_B}$  равно модулю упругости.

$$\frac{\sigma_B}{\varepsilon_B}$$



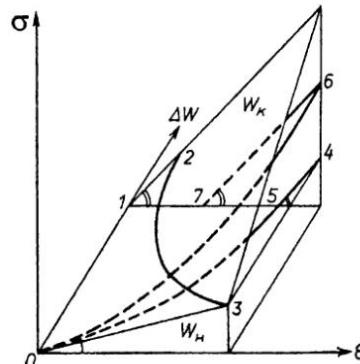
щие более половины величины стесненной усушки. Позднее было показано, что явление перерождения значительной части упругих деформаций в остаточные наблюдается у нагруженных образцов только при снижении влажности или температуры, вызывающих увеличение жесткости древесины, и сделаны соответствующие обобщения [65]. Обнаруженные закономерности удобно проследить на диаграмме деформирования древесины (рис. 66). Здесь для наглядности исходные криволинейные зависимости «напряжение-деформации» при стабильной влажности заменены прямыми как для линейно-упругого тела. Ломаная линия 0 – 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 0 отражает следующую историю развития деформаций: 0 – 1 – сушка древесины от влажности  $W_h$  до  $W_k$ , силовых деформаций нет; 1 – 2 – нагружение сухой (при  $W_k$ ) древесины, силовые деформации достигают величины, соответствующей напряжению  $\sigma_2$ ; 2 – 3 – увлажнение древесины при  $\sigma = \sigma_2 = \text{const}$ , деформации увеличиваются из-за снижения жесткости древесины; 3 – 4 – высыхание древесины при  $\sigma = \text{const}$ , деформации не изменяются, происходит накопление замороженных (остаточных) деформаций; 4 – 5 – разгрузка высушенной древесины, линия разгрузки параллельна линии нагружения 1 – 2 и направлена под углом, соответствующим модулю упругости  $E_k$  при конечной влажности; отрезок 1 – 5 характеризует величину замороженных деформаций; 5 – 0 – увлажнение древесины и снятие задержанной деформации (редеформация).

Если высушенный при  $\sigma = \text{const}$  образец не разгружая подвергнуть увлажнению, это отразится линией 4 – 3; последующая разгрузка образца (во влажном состоянии) должна привести к снятию деформаций.

Рис. 66. Диаграмма деформирования при различных условиях нагружения и изменения влажности (схема)

При сушке закрепленного образца от стеснения усушки, равной  $\varepsilon = K_B \Delta W$ , возникают напряжения. Приняв в исходной зависимости (101)  $m = 1$  и проведя суммирование приращений напряжений при бесконечно малом падении влажности, получим уравнение

$$\sigma = \frac{\sigma_h}{\varepsilon_h} \varepsilon \left( 1 + \frac{1}{2} \gamma \Delta W \right) = K_B \Delta W \left( \frac{E_h + E_k}{2} \right), \quad (102)$$



где  $E_n$  и  $E_k$  – модули упругости при начальной  $W_n$  и конечной  $W_k$  влажности;  $K_\beta$  – коэффициент усушки;  $\Delta W = W_n - W_k$ .

Зависимость, отражающая рост напряжений при таком процессе, изображена на диаграмме кривой 0–6. Как видим, для того чтобы достичь таких же деформаций, как в процессе, отраженном ломаной 0–1–2–3–4, в этом случае требуются значительно большие напряжения. Разгрузка образца, высущенного при стесненной усушке, – отрезок 6–7, обнаруживает весьма большие замороженные деформации, соответствующие отрезку 1–7. Однако они все же меньше тех, которые можно получить при более низких напряжениях, подвергая древесину нагружению во влажном состоянии, последующей сушке и разгрузке. Поэтому именно такая последовательность операций принята в технологических процессах гнутья и прессования древесины.

При нагружении древесины влажностью  $W_1$  (при  $W_n > W_1 > W_k$ ) схема изменений напряжений и деформаций будет иметь вид, показанный на рис. 67, а. Здесь отрезок 0–1 – сушка до  $W_1$ ; 1–2 – нагружение при влажности  $W_1$ , т. е. ( $\Delta W = \Delta W_1$ ) до напряжения  $\sigma_2$ , соответствующего деформации  $\varepsilon_0$ ; 2–3 – сушка при  $\sigma = \sigma_2 = \text{const}$  до влажности  $W_k$ , общая деформация не изменяется и равна  $\varepsilon_0$ ; 3–4 – разгрузка при  $W_k$ . Отрезок 5–4 характеризует замороженную деформацию  $\varepsilon'$  в конце сушки. Зависимость замороженных деформаций от текущих значений  $\Delta W$  имеет вид

$$\varepsilon_f = \begin{cases} \frac{\varepsilon_0 \gamma (\Delta W - \Delta W_1)}{1 + \gamma \Delta W} & \text{при } \Delta W_1 < \Delta W \leq \Delta W_k ; \\ 0 & \text{при } 0 \leq \Delta W \leq \Delta W_1 , \end{cases} \quad (103)$$

где  $\gamma$ ,  $\Delta W$  – см. обозначения к (101).

Если, не разгружая древесину при  $W_k$ , вновь ее увлажнить, то необходимые для поддержания деформации  $\varepsilon_0 = \text{const}$  напряжения определяются уравнением

$$\sigma_R = E_W (\varepsilon_0 - \varepsilon_f), \quad (104)$$

где  $E_W$  – модуль упругости при данной влажности  $W$ .

На диаграмме рис. 67, а напряжения  $\sigma_R$  на участке 3–2 сохраняются неизмененными, поскольку вызванное повышением влажности уменьшение  $E_W$  компенсируется увеличением обратимых (упруго-эластических) деформаций  $\varepsilon_{ev} = \varepsilon_0 - \varepsilon_f$ . Согласно (103) при дальнейшем увеличении влажности деформация  $\varepsilon_f = 0$ , и на участке 2–6 происходит релаксация напряжений  $\sigma_R$ , вызванная снижением  $E_W$ .

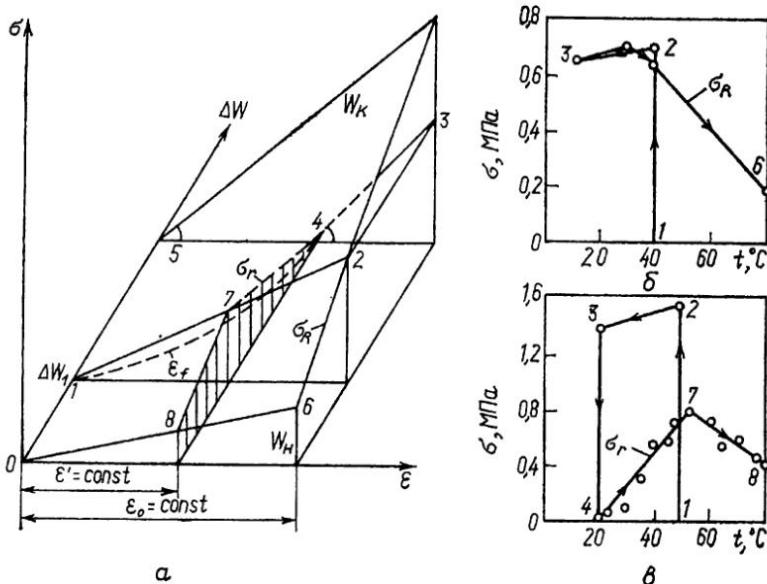


Рис. 67. Закономерности изменения напряжений от увлажнения или нагревания при постоянной деформации:  
 а – схема изменения напряжений  $\sigma_k$  и  $\sigma_r$  при увлажнении древесины; б – влияние температуры на напряжение  $\sigma_k$  при постоянной общей деформации. Кедр, сжатие в тангенциальном направлении,  $\varepsilon_0 = 0,009$ ; в – влияние температуры на напряжение  $\sigma_r$  при постоянной задержанной деформации. Дуб, растяжение в радиальном направлении,  $\varepsilon' = 0,007$

Если разгрузить древесину при  $W_k$  и, поддерживая  $\varepsilon' = \text{const}$ , увлажнить ее, возникнут напряжения  $\sigma_r$ , определяемые выражением:

$$\sigma_r = E_W (\varepsilon' - \varepsilon_f). \quad (105)$$

На рис. 67,а участок 4–7 отражает рост напряжений  $\sigma_r$  от стеснения редеформации, а участок 7–8 – спад напряжений из-за снижения  $E_W$ .

Аналогичные явления происходят и при изменении температуры. На рис. 67,б,в показаны некоторые результаты опытов, проведенных автором совместно с Э.Б. Щедриной, с насыщенной водой (для исключения усушки) древесиной. Как видно, закономерности, определяемые соотношениями (103), (104), (105), подтверждаются экспериментально. На рис. 67,б,в цифрами обозначены те же состояния, что и на рис. 67,а, полагая, разумеется, что изменяется не влажность, а температура древесины. Древесина "запоминает" температуру, при которой происходило ее нагружение, и зависимости  $\sigma_R = f(t)$  и  $\sigma_r = f(t)$  резко изменяют свой характер при нагре-

вании древесины выше указанной температуры. Эффект "памяти" у древесины связан с временной перестройкой ее структуры под управляющим воздействием нагрузки при охлаждении или высыхании. Это проявляется при разгрузке в виде задержанных, "замороженных" деформаций. Нагревание или увлажнение древесины восстанавливает форму и размеры объекта или при стеснении возвращения задержанных деформаций вызывает появление напряжений.

Обобщая уже рассмотренные гигро(термо)-механические деформации и учитывая возможность появления усталостных деформаций при циклических изменениях влажности (температуры) нагруженной древесины можно записать:

$$\varepsilon_{hm} = \varepsilon_e + \varepsilon_v + \varepsilon_{hv} + \varepsilon_c + \varepsilon_{hf}, \quad (106)$$

где  $\varepsilon_{hm}$  – гигро-механическая деформация;  $\varepsilon_e$  – мгновенная, упругая деформация;  $\varepsilon_v$  – кратковременная, эластическая деформация (упругое последействие);  $\varepsilon_{hv}$  – деформация от уменьшения жесткости нагруженной древесины при увлажнении;  $\varepsilon_c$  – длительная деформация ползучести;  $\varepsilon_{hf}$  – деформация гигроусталости.

Рассматривая одноцикловое изменение влажности нагруженной древесины можно выделить два случая.

Случай 1. Увлажнение – нагружение – сушка

$$\varepsilon_{hm} = \varepsilon_e + \varepsilon_v + \varepsilon_c = \varepsilon_{ev} + \varepsilon_c, \quad (107)$$

где  $\varepsilon_{ev}$  – упруго-эластическая деформация.

Случай 2. Нагружение – увлажнение – сушка

$$\varepsilon_{hm} = \varepsilon_{ev} + \varepsilon_{hv} + \varepsilon_c. \quad (108)$$

В обоих случаях сушка не изменяет величину гигро-механических деформаций.

При разгрузке обнаруживается остаточная сет-деформация\* ( $\varepsilon_s$ ), равная:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_f + \varepsilon_r, \quad (109)$$

где  $\varepsilon_f$  – замороженная упруго-эластическая деформация;  $\varepsilon_r$  – остаточная деформация ползучести.

Замороженная и остаточная деформация ползучести соответственно равны:

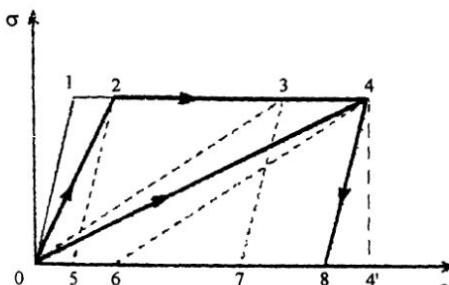
$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_f &= \varepsilon_{ev_1} - \varepsilon_{ev_2} = \varepsilon_{hv}; \\ \varepsilon_r &= \varepsilon_{c_1}, \end{aligned} \right\} \quad (110)$$

\* От термина set, принятого в мировой литературе для обозначения остаточных деформаций, образующихся в результате сушки древесины.

где индексы 1 и 2 означают влажное и сухое состояние древесины.

Рис. 68. Схема деформационных превращений древесины при изменении ее влажности

На рис. 68 показана схема изменения гигро-механических деформаций древесины, когда завершены не только временные, но и влажностные процессы. Здесь 0–1 – линеаризованная



зависимость между напряжениями и упруго-эластическими деформациями  $\varepsilon_{ev_2}$  древесины в сухом состоянии при кратковременном нагружении; 1–2 – деформация ползучести  $\varepsilon_{c_2}$ ; 0–2 – медленное нагружение сухой древесины; 1–3 – кратковременная влажностно-силовая деформация при увлажнении  $\varepsilon_{lw}$ ; 3–4 – деформация ползучести влажной древесины  $\varepsilon_{c_1}$ . Разгрузка образца в сухом (2–5) и влажном (4–6) состоянии обнаруживает остаточные деформации ползучести, соответственно равные отрезкам 0–5 и 0–6.

Если нагруженная влажная древесина (после процесса 0–2–4 или 0–4) подвергается сушке, общая гигро-механическая деформация (0–4') не изменяется. После разгрузки в сухом состоянии возвращаются упруго-эластические деформации  $\varepsilon_{ev_2}$  (8–4') и остаются сет-деформации  $\varepsilon_s$  (0–8). Они включают замороженные деформации  $\varepsilon_f = \varepsilon_{lw}$  (0–7) и остаточные деформации ползучести  $\varepsilon_r$  (отрезок 7–8, равный отрезку 3–4).

Аналогичные закономерности проявляются и при термо-механических деформациях.

При многократных циклических изменениях влажности нагруженной древесины жесткость (и прочность) древесины снижается, т. е. происходит явление гибкости. Это явление было экспериментально исследовано в начале 90-х гг. автором совместно с Н.В. Скуратовым и Л.В. Поповкиной при растяжении в тангенциальном направлении поперек волокон древесины ели. Уже после шести циклов увлажнения–сушки с амплитудой 8 % (от 20 % до 12 %) при напряжениях 1,2 МПа модуль упругости снизился примерно на 30 %.

В 1960 г. австралийские ученые Л. Армстронг и Р. Кингстон обнаружили эффект увеличения прогиба нагруженных образцов древесины при циклических изменениях ее влажности, который позднее был назван "механо-сорбционной ползучестью". На самом деле этот эффект вызван, в основном, гибкостью древесины. Остающиеся после такой "трениров-

ки" древесины сет-деформации включают остаточные деформации ползучести, замороженные деформации от одноциклового изменения влажности и деформации от гигроусталости.

Использование рядом исследователей: А. Ранта-Маунус, Т. Морен и др. понятия о механо-сорбционной ползучести для объяснения механизма развития сушильных напряжений в одноциклических процессах не обосновано. Применяемый ими эмпирический коэффициент, снижающий расчетную величину сушильных напряжений, обусловлен образованием замороженных деформаций.

Реологические свойства древесины и особенности ее деформирования при различной последовательности силовых, влажностных и температурных воздействий учитываются при разработке режимов гидротермической и механической обработки, консервирования, модификации древесины.

### **§ 27. Длительная прочность и сопротивление усталости древесины**

Способность древесины сопротивляться разрушению от длительно действующих и периодически изменяющихся нагрузок явилась предметом многочисленных исследований в связи с применением древесины в строительных конструкциях. Поскольку эти свойства зависят от фактора времени, их также можно считать реологическими.

**Прочность древесины при длительных постоянных нагрузках.** Исследованию прочности древесины при длительно действующих нагрузках и ее связи с возникающими при нагружении деформациями посвящены работы Ф.П. Белянкина, Ю.М. Иванова, Н.Л. Леонтьева, П.Н. Хухрянского, В.Н. Быковского, В.Ф. Яценко, Б.И. Огаркова и других отечественных, а также ряда зарубежных авторов (Л. Армстронг, Г. Христенсен, Р. Кингстон, Р. Эвидсон, Ф. Колман, Р. Пентоней, А. Шнивинд и др.). Целью большинства исследований явилось установление величины предела прочности при длительном действии нагрузок в направлении вдоль волокон. Характер изменения прочности древесины в зависимости от времени действия нагрузки отражает кривая, асимптотически приближающаяся к прямой, соответствующей напряжению, называемому **пределом долговременного сопротивления** (рис. 69). В среднем для всех видов напряженного состояния предел долговременного сопротивления составляет примерно 0,5–0,6 величины предела прочности при кратковременных статических испытаниях.

Рис. 69. Зависимость прочности древесины от продолжительности действия постоянной нагрузки

Н.Л. Леонтьев предложил устанавливать предел прочности при любой заранее заданной продолжительности нагружки по формуле

$$\sigma_t = \sigma_{ct} + \alpha(\lg t_{ct} - \lg t), \quad (111)$$

где  $\sigma_t$  – предел прочности при данной продолжительности действия нагрузки, МПа;  $\sigma_{ct}$  – предел прочности при стандартных испытаниях, МПа;  $t_{ct}$  – время, потребное для разрушения образца при стандартных испытаниях;  $\alpha$  – поправочное число, МПа.

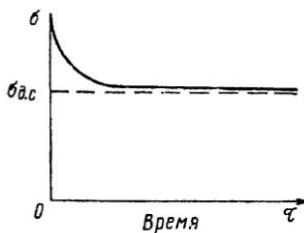
Значения  $\sigma_{ct}$  и  $\alpha$  для различных пород и видов действия сил приведены в РТМ [26]. Расчеты по формуле (111) показывают, что, например, для древесины сосны при изгибе под действием постоянной нагрузки в течение 3 лет предел прочности составит 0,61 предела прочности при кратковременных испытаниях.

Ю.М. Иванов использовал для обобщения имеющихся данных о влиянии времени нагружения на прочность древесины разработанную акад. С.Н. Журковым и его последователями кинетическую теорию прочности твердых тел. Это позволяет объяснить разрушение древесины развивающимся во времени процессом накопления повреждений, происходящих на молекулярном уровне. Снижение прочности древесины при длительном действии нагрузки учитывается при расчете строительных конструкций.

**Прочность древесины при переменных нагрузках.** Некоторые деревянные конструкции во время эксплуатации подвергаются воздействию переменных по величине и направлению, т. е. вибрационных, нагрузок. Частота колебаний при этом обычно менее 50 гц. При таких низкочастотных механических воздействиях состояние древесины изменится из-за повреждений на молекулярном уровне. Вследствие большого количества перемен (циклов) нагрузки эти повреждения накапливаются и приводят к разрушению древесины, даже если величина напряжений сравнительно невелика. Указанное явление называют усталостью древесины.

По характеру изменения величины и знака напряжений циклы могут быть симметричными и асимметричными: знакопеременными и знакопостоянными, в том числе отнулевыми.

Испытания древесины на усталость проводят на специальных машинах, поддерживающих заданный закон нагружения. В момент разрушения образца по счетчику определяют общее число циклов. Испытывают не-



сколько серий образцов при различной величине напряжений цикла и строят кривую усталости, напоминающую кривую длительного сопротивления (рис. 69), только в этом случае по оси абсцисс отложено не время, а число циклов. Со снижением величины напряжения кривая асимптотически приближается к прямой, параллельной оси абсцисс. Ординатой этой прямой является напряжение, носящее название **предела выносливости**.

В опытах К.К. Симинского и др. испытания древесины на усталость проводились на образцах круглого сечения, подвергавшихся переменному изгибу при вращении. По данным акад. Ф.П. Белянкина средняя величина предела выносливости для древесины равна примерно 0,2 статического предела прочности.

Усталостные испытания древесины с учетом ее анизотропии провел А.А. Поздняков на клеенных образцах из березового шпона с параллельным расположением волокон (параллельная фанера). Отношение предела выносливости к пределу прочности при растяжении вдоль волокон параллельной фанеры из березового шпона составляет около 1/3, поперек волокон – примерно 1/2.

Обычно определяют **ограниченный предел выносливости** для заданного числа циклов. Число циклов, или база усталостных испытаний, задается при этом из условий работы материала в той или иной конструкции. Н.М. Фигурнов проводил усталостные испытания древесины для мостов на скальвание вдоль волокон при несимметричном отнулевом цикле. База испытаний равнялась 5 млн. циклов. Отношение ограниченного предела выносливости к статическому пределу прочности при скальвании вдоль волокон (сосна) составляло при 10 %-ной влажности 0,25 и уменьшилось при 42 %-ной влажности до 0,17.

По данным А.Ю. Педдера изменение частоты колебаний от 1 до 50 Гц не отражалось на величине предела выносливости. С повышением частоты колебаний до 100 Гц предел выносливости, как и следовало ожидать, увеличивался.

### **§ 28. Ударная вязкость, твердость и износстойкость древесины**

Показатели указанных технологических и эксплуатационных свойств определяют при механических испытаниях многих материалов. Для древесины методы этих испытаний стандартизованы.

**Ударная вязкость древесины.** Способность древесины поглощать работу при ударе без разрушения определяется при испытаниях на изгиб.

Чем больше величина работы, потребной для излома образца древесины, тем выше его вязкость. Если древесина хрупкая, для разрушения образца необходимо затратить меньшую величину работы.

Испытания проводят, используя такие же образцы, как и на статический изгиб. Однако в этом случае применяют специальную испытательную машину – маятниковый копер с запасом энергии 100 Дж. Схема испытаний показана на рис. 70. Образец располагают так, чтобы он был прижат радиальной поверхностью к горизонтальным опорам и удар маятника пришелся бы на середину длины образца. Опоры и боек маятника имеют закругления радиусом 15 мм.

Рис. 70. Схема испытаний древесины на ударную вязкость при изгибе

В исходном положении маятник обладает запасом энергии, определяемым высотой его подъема  $H_1$ . При падении маятник одним ударом разрушает образец и поднимается на меньшую высоту  $H_2$ . При этом расходуется часть энергии, которую можно определить по разнице высот  $H_1$  и  $H_2$ . По шкале копра отсчитывают работу  $Q$ , затраченную на разрушение образца при изломе.

Ударную вязкость, Дж/см<sup>2</sup>, вычисляют по формуле

$$A_w = \frac{Q}{bh}, \quad (112)$$

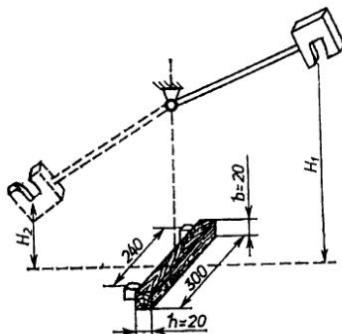
где  $Q$  – работа, затраченная на излом образца при данной влажности, Дж;  $b$  – ширина образца, см;  $h$  – высота образца, см.

Поправочный коэффициент на влажность для всех пород равен  $\alpha = 0,02$ .

Показатели ударной вязкости для расчетов конструкций не используются, они служат лишь для сравнительной оценки качества древесины. Вязкая древесина с высоким сопротивлением ударному изгибу имеет защипистый излом, в то время как хрупкая древесина – раковистый.

Значения показателей ударной вязкости основных пород даны в табл. 40. Древесина лиственных пород имеет ударную вязкость в среднем в 2 раза (мягкие в 1,5, твердые в 2,5 раза) большую, чем древесина хвойных пород.

При радиальном изгибе древесина хвойных и кольцесосудистых пород имеет показатели на 20–50 % больше, чем при стандартизованном тангенциальном изгибе.



## 40. Ударная вязкость древесины

Порода	Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup> , при влажности, %		Порода	Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup> , при влажности, %	
	12	30 и более		12	30 и более
Лиственница	5,3	4,9	Ясень	8,9	7,4
Сосна	4,1	3,5	Осина	8,5	7,2
Ель	3,9	3,3	Бук	7,6	6,5
Кедр	3,1	2,6	Дуб	7,6	6,5
Пихта сибирская	3,2	2,7	Клен	7,6	6,5
Акация белая	19,0	16,1	Орех грецкий	7,4	6,3
Груша	11,6	9,8	Липа	5,8	4,9
Граб	9,9	8,4	Ольха	5,2	4,3
Береза	9,3	7,8	Тополь	3,9	3,3
Вяз	9,3	7,8			

При испытаниях по описанной стандартной методике скорость приложения нагрузки 5–6 м/с. Сопротивление ударному изгибу таких же образцов древесины при значительно более высоких скоростях (до 200 м/с), по данным В.В. Памфилова (БТИ), резко возрастает.

**Твердость древесины.** Это свойство древесины характеризует ее способность сопротивляться вдавливанию тела из более твердого материала. Испытания на статическую твердость проводят на торцовой, радиальной и тангенциальной поверхностях образца древесины путем вдавливания стального индентора (пуансона). Образцы изготавливают в форме прямоугольной призмы сечением 50×50 мм и длиной вдоль волокон не менее 50 мм.

Для испытаний на твердость используют такое же приспособление, как для сжатия поперек волокон, но с пуансоном, полусферический наконечник которого имеет радиус  $r = 5,64$  мм (рис. 71). Вдавливание пуансона проводят за 1–2 мин на глубину 5,64 мм, что устанавливается по показаниям индикатора. В конце нагружения по шкале силоизмерителя машины отсчитывают нагрузку  $P$ . После испытания в древесине остается отпечаток, площадь проекции которого при указанном радиусе полусфера составляет 100  $\text{мм}^2$ .

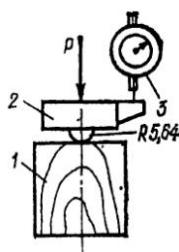


Рис. 71. Схема испытаний древесины на статическую твердость:

1 – образец; 2 – пуансон с полусферическим наконечником; 3 – индикатор часового типа

Статическую твердость образца, Н/мм<sup>2</sup>, определяют по формуле

$$H_w^c = \frac{P}{\pi r^2}. \quad (113)$$

Если наблюдается раскалывание образцов, то пуансон вдавливают на глубину 2,82 мм, и тогда твердость определяют по формуле

$$H_w'c = \frac{4P}{3\pi r^2}. \quad (114)$$

В обоих случаях определяют не давление и не напряжение, измеряемое в Па, а некоторый условный показатель – величину усилий, приходящихся на единицу площади проекции отпечатка. Пересчетный коэффициент на влажность равен 0,03.

Статическая твердость торцовой поверхности выше, чем боковых поверхностей у хвойных пород в среднем на 40 %, а у лиственных – на 30 %. У большинства пород различия между твердостью радиальной и тангенциальной поверхности практически нет. Однако у пород с хорошо развитыми сердцевинными лучами (дуб, бук, ильм) твердость радиальной поверхности на 5–10 % выше твердости тангенциальной поверхности. Средние показатели для основных пород приведены в табл. 41.

#### 41. Статическая твердость древесины

Порода	Твердость, Н/мм <sup>2</sup> , древесины на поверхности					
	торцовой		радиальной		тангенциальной	
			Влажность, %			
	12	30 и более	12	30 и более	12	30 и более
Лиственница	42,0	20,1	31,5	14,8	33,4	15,7
Сосна	28,4	13,2	22,5	10,6	23,2	10,9
Пихта сибирская	27,4	12,9	15,1	7,1	14,2	6,7
Ель	25,3	12,0	17,5	8,2	17,8	8,5
Кедр	21,6	10,3	14,8	7,0	15,4	7,2
Акация белая	94,2	56,2	58,9	39,6	75,9	45,4
Граб	88,4	52,5	75,9	45,2	78,1	46,4
Ясень	78,3	46,8	57,1	34,1	65,1	38,9
Груша	77,0	46,1	57,7	34,5	58,9	35,2
Клен	73,8	44,1	54,1	32,3	57,4	34,3
Дуб	66,5	39,2	54,5	32,6	47,5	28,4
Бук	65,1	38,7	53,2	31,7	49,5	22,5
Вяз	54,7	32,7	41,2	24,6	41,1	24,6
Береза	46,3	27,5	35,9	21,5	32,1	19,2
Ольха	39,2	23,5	26,5	15,9	28,2	16,8
Осина	25,8	15,4	18,7	11,2	19,6	11,7
Тополь	26,7	15,9	18,5	11,0	—	—
Липа	25,0	15,0	16,7	10,0	17,4	10,4

Все отечественные породы по твердости торцовой поверхности древесины при влажности 12 % можно разделить на следующие три группы: мягкие (твердость 40 Н/мм<sup>2</sup> и менее), твердые (41–80 Н/мм<sup>2</sup>) и очень твердые (более 80 Н/мм<sup>2</sup>). К последней группе, кроме указанных в табл. 41 акации и граба, относятся береза железная, глоговина, кизил, самшит, железное дерево, тис, хмелеграб, фисташка.

По СТ СЭВ 1263–78 лиственные породы делятся на мягкие (твердость древесины 49 Н/мм<sup>2</sup> и менее) и твердые (твердость 50 Н/мм<sup>2</sup> и более).

В МЛТИ (В.Г. Санаев) была определена твердость древесины на участках гораздо меньших, чем при стандартных испытаниях. Измерялось давление на древесину при вдавливании индентора радиусом 60 мкм под нагрузкой 0,3 Н в течение 1,5 мин (глубина вдавливания была разная). Некоторые результаты этих исследований приведены в табл. 42. Как и следовало ожидать, поздняя древесина, особенно у хвойных пород, имеет значительно большую твердость, чем ранняя древесина.

#### 42. Микротвердость древесины на радиальной поверхности

Порода, участок измерения	Микротвердость, МПа	Порода, участок измерения	Микротвердость, МПа
Лиственница:		Дуб:	
ранняя зона	20,1	ранняя зона	52,4
поздняя зона	134,2	поздняя зона	92,7
Сосна:		сердцевинные лучи	75,0
ранняя зона	20,6	Бук:	
поздняя зона	105,4	ранняя зона	57,0
Ель:		сердцевинные лучи	84,2
ранняя зона	18,0	Орех грецкий:	
поздняя зона	111,0	ранняя зона	57,0
		поздняя зона	84,1

Для определения ударной твердости применяется стандартизованный метод А.Х. Певцова. Мерой твердости служит величина отпечатка, остающегося на исследуемой поверхности древесины после сбрасывания на нее стального шарика. Образцы изготавливают в виде прямоугольного бруска размером 20×20 мм и длиной 150 мм. Используя установку, описание которой дано в пособии [63], сбрасывают шарик диаметром 25 мм с высоты 500 мм на радиальную поверхность образца в трех точках. Расстояние между центрами отпечатков должно быть примерно 40 мм. Отпечатки имеют овальную форму, больший диаметр  $d_1$  направлен поперек волокон, меньший  $d_2$  – вдоль волокон.

Ударную твердость образца, Дж/см<sup>2</sup>, вычисляют по формуле

$$H_w^y = \frac{4Gh}{\pi d_1 d_2}, \quad (115)$$

где  $G$  – вес шарика, Н;  $h$  – высота падения, м;  $d_1$  и  $d_2$  – диаметры отпечатка, см.

Ударная твердость радиальной поверхности древесины некоторых пород приведена в табл. 43.

#### 43. Ударная твердость древесины

Порода	Ударная твердость, Дж/см <sup>2</sup> , при влажности, %		Порода	Ударная твердость, Дж/см <sup>2</sup> , при влажности, %	
	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

**Износостойкость древесины.** Так называется способность древесины сопротивляться износу, т. е. постепенному разрушению ее поверхностных зон при трении от воздействия абразивных элементов или микронеровностей более твердого тела. Первый вид износа наблюдается под воздействием песка и других абразивных частиц при истирании полов, палуб и т. д.; второй – в трущихся частях машин (вкладыши подшипников, оси и пр.).

Для первого случая износа в ЦНИИМОде разработан стандартный метод (ГОСТ 16483.39–81) испытаний. Используется испытательная машина (рис. 72), обеспечивающая истирание древесины прижимаемой к ней шлифовальной шкуркой при возвратно-поступательном движении образца с одновременным его поворотом. Образцы имеют форму призмы размерами 50×50×20 мм (последний размер по высоте образца). На отдельных образцах испытывают износостойкость поверхностей поперечного, тангенциального и радиального разрезов.

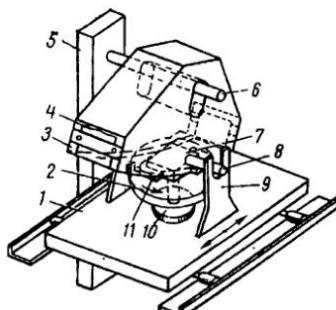
Рис. 72. Схема машины для испытания древесины на истирание:

1 – стол; 2 – диск; 3 – груз; 4 – абразивная шкурка; 5 – стойка; 6 – ось; 7 – образец; 8 – шпилька; 9 – стойка; 10 – храповой механизм; 11 – приспособление для крепления образца

Измеряют высоту и массу после 400 возвратно-поступательных движений образца. Показатель истирания  $t$ , мм, вычисляют по формуле

$$t = h \frac{m_1 - m_2}{m_1}, \quad (116)$$

где  $h$  – высота образца до испытания, мм;  $m_1$ ,  $m_2$  – масса образца соответственно до и после испытания, г.



В табл. 44 приведены данные ЦНИИМОДа об износостойкости древесины некоторых пород.

44. Износостойкость древесины некоторых пород

Порода	Район произрастания	Показатель истирания, мм, поверхности разрезов		
		поперечного	радиального	тангенциального
Лиственница	Иркутская обл.	0,07	0,17	0,14
Сосна	Иркутская обл.	0,12	0,31	0,28
Ель	Иркутская обл.	0,18	0,24	0,24
Пихта	Иркутская обл.	0,18	0,26	0,30
Ясень	Татарстан	0,09	0,17	0,14
Береза	Архангельская обл.	0,13	0,26	0,29

Из табл. 44 следует, что износ с боковых поверхностей значительно больше, чем с поверхности поперечного разреза. С повышением плотности и твердости древесины износ уменьшается. У влажной древесины износ больше, чем у сухой.

Аналогичным образом влияют указанные факторы и на износ древесины в трущихся частях машин. Для определения износостойкости древесины в этом случае можно использовать метод Н.Н. Суродейкина. Неподвижно закрепленный образец древесины подвергается истиранию вращающейся втулкой из закаленной инструментальной стали, прижимаемой к образцу с определенным усилием. Показателем износа служит объем, получающийся в образце лунки после определенного числа оборотов истирающей втулки.

### § 29. Способность древесины удерживать крепления, гнуться и раскалываться

В данную группу входят своеобразные технологические свойства древесины; методы испытаний двух из указанных свойств стандартизованы.

**Способность древесины удерживать крепления.** Уникальное свойство древесины удерживать гвозди, шурупы, скобы, костыли и другие крепления имеет важное практическое значение. При забивании гвоздя в древесину происходит частичное разрушение ее и возникают упругие деформации примыкающих к нему областей. На боковую поверхность гвоздя со стороны деформированной древесины оказывается давление, которое вызывает трение, удерживающее гвоздь.

Согласно разработанному ЦНИИМОДом стандартному методу (ГОСТ 16483.33-77) сопротивление, оказываемое древесиной выдергиванию гвоздя или шурупа, определяют следующим образом. В образец древесины, имеющий форму бруска сечением 50×50 мм и длиной 150 мм, забивают гвозди или ввинчивают шурупы по схеме, показанной на рис. 73, а.

Для испытаний применяют гвозди диаметром 2,0 мм и шурупы диаметром 4,0 мм, длиной не менее 50 мм. Глубина забивания гвоздей  $30 \pm 1,0$  мм, ввинчивания шурупов –  $20 \pm 1,0$  мм. Шурупы ввинчивают в предварительно высушенные на глубину  $16 \pm 1,0$  мм отверстия. Образец с гвоздями (шурупами) размещают в приспособления, как показано на рис. 73,б. Выдергивание гвоздей (шурупов) проводят при равномерной скорости перемещения захвата испытательной машины за 1–3 мин. Зафиксировав максимальную нагрузку  $P_{\max}$ , Н, вычисляют удельное сопротивление выдергиванию гвоздей (шурупов), Н/мм, по формуле

$$P_{\text{уд}} = \frac{P_{\max}}{l}, \quad (117)$$

где  $l$  – глубина забивания (винчивания) гвоздя (шурупа), мм.

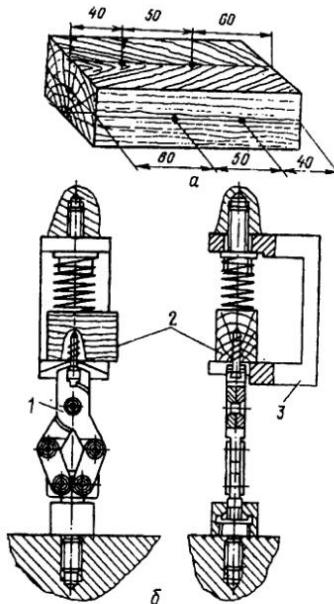
Рис. 73. Испытание древесины на способность удерживать гвозди и шурупы:

*a* – образец; *б* – приспособление для выдергивания гвоздей и шурупов: 1 – клещи для захвата шляпки гвоздя (головки шурупа); 2 – образец с гвоздями (шурупом); 3 – скоба для крепления образца

Сопротивление выдергиванию гвоздей прежде всего зависит от направления. Так, по данным МЛТИ, усилие, необходимое для выдергивания гвоздя, забитого в торец образцов из древесины дуба, сосны, осины, ольхи и ели, на 10–50 % меньше усилия, прилагаемого к гвоздю, забитому поперек волокон; сопротивление выдергиванию гвоздей, забитых в радиальном и тангенциальном направлении, практически одинаково.

С повышением плотности сопротивление древесины выдергиванию гвоздя или шурупа увеличивается; так, вдавливание и выдергивание гвоздей из древесины граба (плотность 730 кг/м<sup>3</sup>) требует усилий примерно в 4 раза больших, чем для древесины сосны (плотность 440 кг/м<sup>3</sup>).

Чем выше влажность древесины, тем меньше усилие для забивания гвоздя. Забитый в сырой образец гвоздь вытащить после высыхания древесины легче, чем гвоздь, забитый сразу в сухую древесину. Это объясняется тем, что в первом случае часть упругих деформаций переходит в замороженные, остаточные и трение, удерживающее гвоздь в древесине, снижается.



Усилия, необходимые для выдергивания шурупов, при прочих равных условиях, больше, чем гвоздей, так как в этом случае к трению присоединяется сопротивление волокон перерезанию и разрыву. Для шурупов одинакового с гвоздями диаметра, но вдвое меньшей длины, это усилие оказалось в 2 раза больше [49].

**Способность древесины гнуться.** Технологическая операция гнутья древесины основана на ее способности сравнительно легко деформироваться при действии изгибающих усилий. Предельная деформация, после достижения которой наступает разрушение древесины, у разных пород различна. Для оценки способности древесины принимать заданную форму при загибе стандартного метода пока нет. Однако известен [49] следующий метод: образец в форме бруска размерами 10×30×500 мм последовательно загибают на сменных шаблонах уменьшающегося радиуса до появление в образце явных следов начала разрушения (отщеп, складка, излом). Радиус последнего шаблона, на котором произошло разрушение образца, характеризует способность древесины к загибу. Более высокой способностью к загибу отличается древесина кольцесосудистых пород – дуба, ясеня и др., а из рассеяннососудистых – бук; хвойные породы обладают меньшей способностью к загибу. Гнутью подвергают древесину, находящуюся в нагретом и влажном состоянии. Это увеличивает ее податливость и позволяет, вследствие образования замороженных деформаций при последующем охлаждении и сушке под нагрузкой, зафиксировать новую форму детали.

**Способность древесины раскалываться.** Раскалыванием древесины принято называть разделение ее вдоль волокон под действием нагрузки, переданной через клин.

Для испытаний древесины на раскалывание используют стандартизованную методику, применяя образец с заранее выпиленным клиновидным вырезом. На рис. 74 изображен образец для раскалывания в тангенциальной плоскости. Такой же образец, но с годичными слоями, направленными на торце вдоль высоты, применяется для раскалывания в радиальной плоскости.

До испытаний измеряют ширину образца на уровне линии раскалывания, затем на образец надевают подвижные захваты (стремена). Образец нагружают с постоянной скоростью так, чтобы разрушение произошло через 1–2 мин.

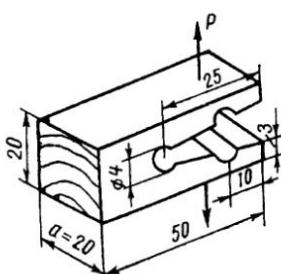


Рис. 74. Образец для испытания древесины на раскалывание

Сопротивление раскалыванию, Н/мм, вычисляют по формуле

$$S_w = \frac{P_{\max}}{a}, \quad (118)$$

где  $P_{\max}$  – разрушающая нагрузка, Н;  $a$  – ширина образца, мм.

Показатели, характеризующие сопротивление раскалыванию древесины некоторых пород, приведены в табл. 45.

Следует заметить, что, как показал Г.А. Вильке, определенные по описанной выше методике показатели условны, в расчетах их применять нельзя. Они пригодны лишь для сравнительной оценки этого свойства древесины у разных пород. Сопротивление раскалыванию у древесины лиственных пород, особенно с хорошо развитыми сердцевинными лучами (дуб, бук), в тангенциальном направлении больше, чем в радиальном. У хвойных пород эта разница меньше (или совсем отсутствует). В среднем сопротивление раскалыванию у древесины лиственных пород больше, чем у хвойных.

#### 45. Сопротивление древесины раскалыванию

Порода	Сопротивление раскалыванию, Н/мм			
	в радиальной плоскости при влажности, %		в тангенциальной плоскости при влажности, %	
	12	30 и более	12	30 и более
Лиственница сибирская	13,4	8,3	13,3	8,2
Сосна	11,5	7,2	11,3	7,1
Ель сибирская	9,7	5,7	9,3	5,8
Пихта сибирская	7,4	4,6	9,0	5,6
Акация белая	20,9	13,0	27,2	16,8
Клен полевой	22,6	14,0	27,4	17,0
Ясень	22,2	13,6	23,0	14,2
Граб	21,0	13,0	28,2	17,6
Бук	16,7	10,4	25,2	15,7
Вяз	16,7	10,4	18,2	11,2
Дуб	16,6	10,3	22,5	14,0
Береза	16,5	10,3	20,6	12,8
Липа	14,6	9,0	17,9	11,4
Ольха	14,1	8,7	17,0	10,6
Осина	11,5	7,2	15,5	9,6
Тополь	10,0	6,1	13,1	8,1

Способность древесины раскалываться рассматривается как положительное свойство при заготовке колотых сортиментов (клепка, гонт, дранка, спицы и пр.) и как отрицательное при забивке гвоздей, костылей, скоб, ввинчивании шурупов.

### § 30. Удельные характеристики механических свойств древесины

Для сравнительной оценки качества древесины применяют удельные характеристики механических свойств, представляющие собой показатели, отнесенные к единице плотности.

В табл. 46 представлены удельные характеристики прочности, жесткости, ударной вязкости и твердости древесины при влажности 12 %. При исчислении удельных характеристик показатели прочности, КПа, и жесткости (модуль упругости при сжатии вдоль волокон), МПа, ударная вязкость при изгибе, Дж/см<sup>2</sup>, и твердость, Н/см<sup>2</sup>, были разделены на плотность, кг/м<sup>3</sup>.

Удельная прочность при сжатии и статическом изгибе у хвойных пород оказывается выше, чем у лиственных. Значительно выше у хвойных пород и удельная жесткость (особенно у древесины ели и пихты). По остальным свойствам удельные характеристики у древесины лиственных пород выше, чем у хвойных.

**46. Удельные характеристики механических свойств древесины**

Порода	Прочность при сжатии вдоль волокон	Прочность при статическом изгибе	Прочность при скальвании вдоль волокон*	Ударная вязкость при изгибе	Твердость торцовой поверхности	Жесткость вдоль волокон
<b>Хвойные:</b>						
Лиственница	98	169	14,7	$81 \cdot 10^{-4}$	6,6	—
Сосна	97	172	14,8	$83 \cdot 10^{-4}$	5,7	24,6
Ель	100	178	15,5	$90 \cdot 10^{-4}$	5,8	33,3
Кедр	97	169	15,6	$74 \cdot 10^{-4}$	5,1	—
Пихта сибирская	104	183	17,1	$80 \cdot 10^{-4}$	7,5	29,3
В среднем	99	176	15,5	$81 \cdot 10^{-4}$	6,1	29,0
<b>Лиственные:</b>						
Дуб	83	156	16,2	$113 \cdot 10^{-4}$	9,8	21,0
Ясень	87	181	20,0	$132 \cdot 10^{-4}$	11,8	22,8
Бук	82	162	17,2	$122 \cdot 10^{-4}$	9,1	—
Береза	87	174	16,2	$151 \cdot 10^{-4}$	7,5	26,1
Липа	92	177	17,0	$119 \cdot 10^{-4}$	5,2	—
Ольха	85	155	17,2	$102 \cdot 10^{-4}$	7,7	25,8
Осина	86	157	15,2	$174 \cdot 10^{-4}$	5,3	26,3
В среднем	86	166	17,0	$130 \cdot 10^{-4}$	8,1	24,5

\* Средняя для радиального и тангенциального направлений.

Удельные характеристики древесины имеют особое значение, когда от изделия или конструкции требуется высокая прочность и жесткость при малой массе (например, в транспортном машиностроении, авиа- и судо-

строительстве и т. д.), при отборе древесины для производства музыкальных инструментов и в других случаях.

По удельной прочности древесина вполне конкурентоспособна с другими современными материалами, а по удельной жесткости (вдоль волокон) во много раз превосходит полимеры. Так, например, удельная прочность при растяжении древесины сосны равна 206, а дюралюминия 150–175, стеклопластика 263; удельная жесткость древесины сосны (вдоль волокон) 24,6, а полиакрилатов 3,3, капрома 1,3.

### § 31. Характеристики древесины как конструкционного материала

Рассмотренные в предыдущих параграфах показатели механических свойств относились к малым образцам чистой древесины. Элементы деревянных конструкций и детали изделий имеют обычно значительно большие размеры и содержат пороки древесины. Исследованиями отечественных (Е.М. Знаменский, А.Н. Флаксерман, Л.М. Перелыгин, А.Б. Губенко, В.Н. Быковский, Е.И. Савков, Ю.С. Соболев [56] и др.) и зарубежных [59] ученых установлено существенное снижение показателей прочности с увеличением размеров образцов. При проектировании деревянных конструкций согласно строительным нормам и правилам СНиП II-25-80 в расчетах используют не пределы прочности малых образцов древесины, а в несколько раз меньшие показатели – расчетные сопротивления. Они учитывают большие размеры элементов конструкций, наличие пороков древесины, изменчивость ее свойств, длительность действия нагрузки и другие факторы.

В табл. 47. приведены значения расчетных сопротивлений для древесины сосны и ели. В СНиП указаны требования к прочности конструкционной древесины каждого сорта.

47. Расчетные сопротивления древесины сосны и ели

Вид напряженного состояния	Расчетные сопротивления, МПа, для сортов древесины		
	1	2	3
Изгиб, сжатие вдоль волокон	14–16	13–15	8,5–15
Растяжение вдоль волокон	10	7	–
Сжатие поперек волокон	1,8	1,8	1,8
Местное смятие поперек волокон	3–4	3–4	3–4
Скалывание вдоль волокон	1,8–2,4	1,6–2,1	1,6–2,1
Скалывание поперек волокон	1,0	0,8	0,6

Базисные показатели, представленные в таблице, умножают на ряд коэффициентов, учитывающих породу, состояние материала и условия его работы в конструкциях.

Если нагрузка приложена к элементу конструкции, находящейся в условиях повышенной влажности, то расчетное сопротивление  $R$  умножают на снижающие коэффициенты 0,75–0,9, а влияние повышенной температуры учитывают коэффициентами 0,8–1. В том случае, когда действуют кратковременные (ветровая, сейсмическая) нагрузки, расчетное сопротивление умножают на коэффициенты больше единицы (1,2–1,6); совместное действие постоянных и временных длительных нагрузок учитывают коэффициентом 0,8.

Модули упругости вдоль и поперек волокон древесины всех пород принимают равными соответственно 10 ГПа и 400 МПа. Модуль сдвига в плоскости вдоль волокон 500 МПа, коэффициенты поперечной деформации при действии усилий вдоль  $\mu_{\perp,\parallel}$  и поперек волокон  $\mu_{\parallel,\perp}$  соответственно 0,5 и 0,2.

## ГЛАВА 6. ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ВЗАИМОСВЯЗИ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ

### § 32. Изменчивость свойств древесины

Даже в пределах одной породы наблюдается изменчивость свойств древесины, обусловленная возрастными изменениями дерева, влиянием окружающей среды и наследственными факторами. Особенности строения отражаются на величине плотности древесины. Чем толще клеточные стенки, длиннее волокна и больше содержание поздней древесины в годичных слоях, тем выше значения плотности древесины в целом.

С другой стороны, плотность тесно связана с большинством физических и механических свойств древесины. Поэтому, рассматривая закономерности изменения плотности, можно получить представление об изменчивости и других свойств.

**Изменчивость свойств древесины в отдельном дереве.** По радиусу ствола плотность периодически меняется, что особенно заметно у хвойных и кольцесосудистых лиственных. Современные способы исследования плотности древесины, например, с помощью радиоактивных излучений, позволяют проследить закономерности изменения этого свойства как в пределах каждого годичного слоя, так и на протяжении всего радиуса ствола.

На рис. 75 показано изменение плотности древесины, установленное по поглощению  $\beta$ -лучей (источник излучения – углерод-14) в древесине сосны смолистой. Поперечный срез взят из ствола ниже области живой кроны. Как видим, значения плотности в поздних зонах выше, чем в ранних, в 2–3 раза. Плотность ранних зон по мере удаления от сердцевины несколько уменьшается, затем на протяжении значительной доли радиуса остается постоянной и лишь у самой коры возрастает. У поздних зон характер изменения плотности другой – она возрастает в направлении от сердцевины к коре.

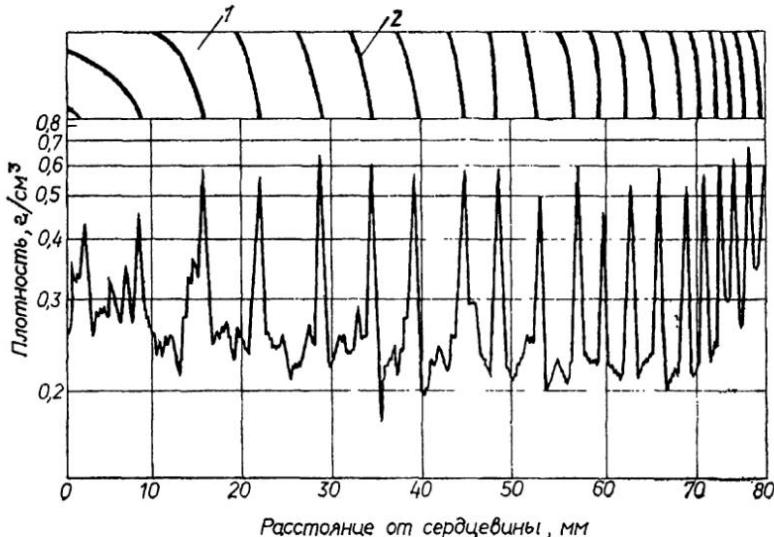


Рис. 75. Изменение плотности древесины по радиусу ствола сосны смолистой (*Pinus resinosa Ait.*). Измерено методом поглощения  $\beta$ -лучей [по 88]  
1 – ранние зоны; 2 – поздние зоны годичных слоев

В отношении закономерностей изменения усредненных показателей плотности по радиусу ствола различных пород существуют несколько противоречивые мнения. При объединении результатов испытаний образцов, взятых на разных уровнях ствола, было установлено [49], что у хвойных пород (сосна, кедр, лиственница) в возрасте спелости плотность древесины вначале возрастает по направлению от сердцевины к коре, достигает максимума примерно на 2/3 радиуса, после чего вновь начинает снижаться. В ствалах деревьев ели из древостоев более высоких бонитетов (II бонитета) наблюдается непрерывное увеличение плотности древесины по направлению от сердцевины к коре, в ствалах деревьев из древостоев III – IV бонитетов закономерность оказалась такой же, как для сосны. В ствалах пихты

сибирской происходит увеличение плотности по направлению от сердцевины к коре. В стволах кольцесосудистых лиственных пород (дуба, ясеня) плотность древесины снижается, а рассеяннососудистых – повышается в указанном направлении.

У дальневосточных пород, как следует из данных ВИАМ, изменение плотности (и прочности) подчиняется общей для всех трех групп (хвойных, кольцесосудистых, рассеяннососудистых) пород закономерности: по направлению от сердцевины к коре плотность сначала возрастает, достигает максимума, а затем вновь уменьшается.

В отношении сибирских пород исследования ИЛД показали, что плотность у сосны непрерывно увеличивается от сердцевины к коре; у лиственницы максимальное значение плотности наблюдается на половине радиуса, а у ели здесь отмечается минимальное значение плотности. У березы плотность по направлению от сердцевины к коре повышается, а у осины снижается.

Для сосны, ели, березы и осины, произрастающих на Северо-Западе европейской части страны, получены [50] общие закономерности, свидетельствующие об увеличении плотности по мере удаления от сердцевины. Исключение составила лишь древесина осины, у которой в вершинной части ствола была обнаружена обратная зависимость. В качестве иллюстрации на рис. 76 показано изменение плотности древесины сосны и березы

по радиусу ствола на трех уровнях его высоты.

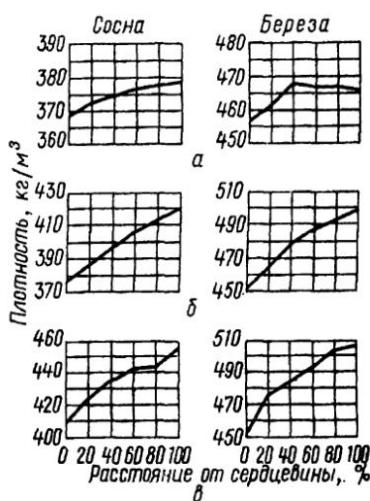


Рис. 76. Изменение плотности древесины сосны и березы по радиусу ствола [по 50]:  
а – вершинная часть ствола; б – средняя;  
в – комлевая

По данным зарубежных исследователей, обобщенным в работе [88], для хвойных пород характерно увеличение плотности по направлению к коре либо начиная от самой сердцевины, либо несколько отступая от нее. Для березы и тополя также отмечается повышение плотности в направлении от сердцевины к коре, а для дуба и бук – уменьшение плотности в указанном направлении.

По последним данным, полученным Н.Е. Косиченко для хвойных пород, произрастающих в Европейской части России, ширина поздней зоны

годичных слоев во время роста дерева изменяется мало, тогда как ширина ранней зоны уменьшается. Поэтому плотность древесины хвойных пород увеличивается по радиусу ствола. У кольцесосудистых пород, наоборот, сокращается ширина поздней зоны и плотность древесины при удалении от сердцевины падает.

Следует отметить, что у хвойных пород, особенно у сосны, выделяется примыкающая к сердцевине зона так называемой ювенильной (незрелой) древесины. Формирование ювенильной древесины происходит в первые 5–20 лет жизни дерева и связано с деятельностью апикальной меристемы (верхушечной образовательной ткани). У ювенильной древесины тонкие клеточные стенки и низкая плотность поздних зон годичных слоев. Ювенильная древесина отличается от зрелой меньшим содержанием целлюлозы, большой продольной усушкой и другими особенностями. Свойства ювенильной древесины наших пород изучены недостаточно. Размеры этой зоны оказывают влияние на характер распределения плотности по радиусу ствола. Различия в плотности древесины по радиусу ствола у разных пород колеблются в пределах 5–20 %.

По высоте ствола также наблюдается изменение плотности. Ранее полагали [49], что для всех пород характерно уменьшение плотности от комля к вершине и лишь у некоторых пород плотность незначительно повышается в зоне живой кроны.

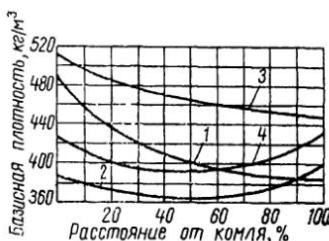
По данным ИЛД для сибирских пород: сосны, лиственницы, березы и осины плотность действительно уменьшается по высоте ствола, но у ели она увеличивается. Отмечается большая изменчивость плотности по высоте ствола, чем по радиусу.

Зависимости, показанные на рис. 77, дают представление об изменении плотности древесных пород, произрастающих в северо-западных районах европейской части страны. Общность характера изменения плотности у ели и осины объясняется тем, что деревья этих пород (в отличие от сосны и березы) имеют низкоопущенную крону.

Рис. 77. Изменение плотности древесины по высоте ствола [по 50]:  
1 – сосна; 2 – ель; 3 – береза; 4 – осина

**Изменчивость свойств древесины в пределах породы.** Влиянию различных лесоводственных факторов на физико-механические свойства древесины в пределах породы посвящено много работ, результаты которых были обобщены Л.М. Перельгиным [49].

Этим вопросам посвящены работы В.Е. Вихрова, М.Д. Данилова, А.Б. Жу-



кова, А.И. Калниньша, И.С. Мелехова и др. Однако пока еще очень трудно выделить наиболее общие закономерности изменчивости свойств в зависимости от влияния многих взаимодействующих факторов.

В работе [50] рассмотрено влияние ряда факторов на изменчивость средней плотности древесины стволов в пределах породы. Изменчивость плотности древесины наблюдается в одновозрастных насаждениях. Так, коэффициент изменчивости базисной плотности деревьев 90–100 летних одновозрастных древостоев ели (Ленинградская обл.) для двух типов леса – ельника-кисличника и ельника-черничника составлял соответственно 5–8 и 10–11%. Значительно больше изменчивость в разновозрастных насаждениях. Например, для типа леса ельник сфагновый базисная плотность деревьев колебалась в пределах 350–475 кг/м<sup>3</sup>.

Влияние в возрасте оказывается в повышении плотности древесины у наиболее старых деревьев. У хвойных пород для деревьев одного возраста наблюдается обратная связь между диаметром ствола и плотностью древесины. Плотность древесины стволов зависит от их формы. У сосны, ели, березы с увеличением сблизистости ствола средняя плотность уменьшается. На плотность древесины, по-видимому, оказывает влияние характер развития кроны дерева. У хвойных пород деревья, произрастающие в более густом древостое, имеют более высокую плотность.

В отношении влияния положения дерева в древостое нет единого мнения. Как уже отмечалось, обычно принято различать пять классов роста деревьев (к первому классу относятся наиболее развитые, господствующие экземпляры). Однако для практических целей можно выделять лишь три категории деревьев: крупные (господствующие), средние (согосподствующие) и мелкие (слабо развитые или угнетенные). В таблице 48 представлены данные о зависимости плотности древесины ели от указанных трех категорий [50]. Как видно, наиболее плотная древесина оказалась у менее развитых деревьев. В ряде работ также наблюдалась указанная закономерность, однако в других работах было обнаружено, что хвойные деревья средних классов роста имеют наиболее высокую плотность древесины. У лиственных пород плотность наиболее крупных деревьев выше, чем отставших в росте [49]. С увеличением густоты насаждения средняя плотность древесины, как следует из табл. 48, увеличивается.

#### 48. Влияние категории деревьев и густоты насаждения на плотность древесины ели

Насаждение	Средняя базисная плотность древесины, кг/м <sup>3</sup> , по категориям деревьев		
	господствующим	согосподствующим	угнетенным
Редкое	353	370	379
Густое	370	382	390

Широкий комплекс факторов, характеризующих влияние внешней среды, входит в понятие *условия произрастания*. Эти условия включают качество и состояние почвы, климатические особенности, тип леса, высоту над уровнем моря, географическое положение древостоя и др. Существенную роль играют и условия роста каждого дерева. Проводившиеся исследования были преимущественно направлены на выяснение связей между условиями произрастания и продуктивностью лесных насаждений, выражаящейся в объеме выращенной древесины. Более сложно установить влияние многообразных и взаимосвязанных условий произрастания на качество и, в частности, на плотность древесины. Поэтому степень влияния каждого фактора в отдельности на плотность древесины до конца не выяснена и имеющиеся данные противоречивы. По мнению большинства исследователей у хвойных пород при худших условиях произрастания образуется более плотная древесина. Для лиственных пород (березы, осины) на Северо-Западе европейской части страны наблюдается тенденция к увеличению плотности с улучшением почвенных условий.

Географическое положение насаждения находит отражение в различии почвенных условий, количестве осадков, продолжительности сезона вегетации и т. д., что, в свою очередь, влияет на плотность древесины. Многочисленные данные о плотности чистой древесины из разных районов произрастания сосредоточены в РТМ [26]. В СПБЛТА (О.И. Полубояринов, В.Н. Крылов) проведены обширные исследования плотности древесины как сырья для целлюлозно-бумажной промышленности.

Лесохозяйственные мероприятия (рубки ухода, осушение, удобрение и т. д.) также оказывают влияние на плотность древесины. Так, по данным Института леса КНЦ РАН и др., при внесении удобрений в почву происходит увеличение прироста древесины, но снижается плотность древесины для сосны примерно на 15 %.

По другим данным у сосны и ели в северной части Европы после внесения удобрений плотность снижается на 5 %. Следует полагать, что и другие лесохозяйственные мероприятия, направленные на получение максимального прироста, будут вызывать некоторое снижение плотности, а также увеличение неоднородности древесины.

Влияние времени рубки на плотность и другие физико-механические свойства древесины экспериментально не было обнаружено. Необходимо иметь лишь в виду, что древесина, срубленная в течение вегетационного периода, имеет тенденцию к снижению стойкости против гниения.

Окорение на корню и подсочка, как следует из довольно противоречивых экспериментальных данных, не оказывает существенного влияния на плотность.

### § 33. Связи между свойствами древесины. Неразрушающие методы контроля прочности древесины

Для определения качества древесины в практике используются описанные в гл. 4 § 10 показатели макроструктуры древесины: ширина годичных слоев и процент поздней древесины, которые имеют корреляционную связь с плотностью древесины. Наиболее тесная прямая связь, как уже отмечалось, существует между содержанием поздней древесины в годичных слоях и плотностью древесины в целом.

Средняя ширина годичных слоев (или число их в 1 см) также имеет корреляционную, но менее тесную связь с физико-механическими свойствами древесины. Исследования хвойных пород показали, что для каждой породы существует свой минимум и максимум числа годичных слоев в 1 см, ниже и выше которого физико-механические свойства снижаются. Так, пределы изменения этого показателя у высококачественной древесины сосны и пихты кавказской составляют от 3 до 25, у ели обыкновенной и аянской – до 20, а у лиственницы сибирской – до 30.

В древесине кольцесосудистых лиственных пород (дуб, ясень) ширина годичных слоев увеличивается за счет большего развития поздней древесины; отсюда ясно, что физико-механические свойства древесины этих пород должны возрастать с увеличением средней ширины годичных слоев. Наиболее высокое качество древесины наблюдается, если число годичных слоев в 1 см у дуба не больше 12, у ясения обыкновенного не больше 9, у ясения маньчжурского не больше 10. У рассеяннососудистых лиственных пород не обнаруживается четко выраженной связи между шириной годичных слоев и свойствами древесины.

Связь между плотностью и прочностью, вообще говоря, описывается степенной функцией. Однако в большинстве случаев, не допуская больших погрешностей, можно пользоваться корреляционными уравнениями прямой линии [49], которые, например для древесины сосны (при 15% влажности) с территории России (не считая Юга), имеют следующий вид:

$$\sigma_{\text{сж}} = 0,11\rho_{15} - 10,5; \quad (119)$$

$$\sigma_{\text{изг}} = 0,2\rho_{15} - 19,5, \quad (120)$$

где  $\sigma_{\text{сж}}$  – предел прочности при сжатии, МПа;

$\sigma_{\text{изг}}$  – предел прочности при статическом изгибе, МПа.

Существует тесная связь между отдельными механическими свойствами, например прочностью при сжатии вдоль волокон и прочностью при статическом изгибе. В свою очередь, прочность при сжатии вдоль волокон довольно тесно связана с твердостью торцовой поверхности. Между ударной твердостью и износостойкостью также наблюдается прямая связь, на-

личие связей между различными механическими свойствами позволяет при контрольных испытаниях ограничиваться лишь определением плотности и прочности при сжатии вдоль волокон, а в случае необходимости, кроме того, определять предел прочности при статическом изгибе, при скалывании вдоль волокон и ударную вязкость древесины.

Во всех отраслях техники развиваются неразрушающие испытания материалов. Особенno велико значение этой проблемы для древесины – материала с большой изменчивостью свойств, поскольку при неразрушающих испытаниях можно осуществить сплошной поштучный контроль пиломатериалов. Определить прочность древесины по косвенным признакам, не подвергая ее разрушению, можно, используя показатели ее макроструктуры, а также плотность. Наиболее тесную связь с пределами прочности при основных видах действия сил имеет плотность. Однако плотность может служить достаточно надежным признаком прочности для древесины без пороков. Такие пороки, как трещины, сучки и др., существенно снижают прочность древесины, вовсе не влияют на плотность, а некоторые даже увеличивают ее. Поэтому более надежны неразрушающие испытания, основанные на связи пределов прочности с показателями жесткости древесины (модулями упругости при статических или динамических нагрузках). Динамический модуль упругости удобно определять при ультразвуковых испытаниях. По скорости распространения ультразвуковых импульсов в древесине также можно оценить ее прочность.

Работы по созданию эффективных методов неразрушающих испытаний проводятся применительно к сортировке пиломатериалов по прочности. Разработаны машины, через которые пропускают контролируемые доски на лесопильных заводах. Доски подвергаются изгибу, это дает возможность непрерывно измерять модуль упругости, который связан с пределом прочности соответствующим корреляционным уравнением. В справочнике [10] приведены разработанные ЦНИИМОД уравнения регрессии, позволяющие получить пределы прочности пиломатериалов по модулям упругости при изгибе досок на пласт и кромку. Эти уравнения даны для основных пород и сечений досок, выпиленных из древесины разных районов насаждений. Применение сортировки конструкционных пиломатериалов и заготовок по прочности позволяет сократить неоправданную отбраковку или перевод в низкие сорта значительной части материала.

### **§ 34. Изменение свойств древесины под воздействием физических и химических факторов**

**Влияние сушки.** В процессе сушки происходит воздействие на сырую древесину пара, нагретого сухого или влажного воздуха, токов высокой частоты и других факторов, приводящих в конечном результате к снижению содержания свободной и связанной воды.

Правильно, при соответствующих режимах, проведенная камерная сушка древесины дает материал, вполне равнозначенный получаемому в ре-

зультате атмосферной сушки. Но если высушивать древесину в камерах слишком быстро и при высокой температуре, то это не только может привести к растрескиванию и значительным остаточным напряжениям, но и оказывать влияние на механические свойства древесины.

Согласно данным ЦНИИМОДа (Н.Л. Леонтьев, И.В. Кречетов и др.) при высокотемпературной сушке с конечной температурой в камере 105–110 °С продолжительность сушки сокращается в 1,5–2 раза, но прочность древесины сосны (в досках толщиной 30–60 мм) снижается: при сжатии вдоль волокон на 0,8–8,7 %, радиальном скальвании на 1–12 % и ударная вязкость на 5–10,5 %.

Влияние высокотемпературной сушки в перегретом паре и расплавленном петролатуме изучалось многими исследователями. Несмотря на противоречивость выводов, вызванную разным подходом к истолкованию результатов исследований, эти работы также показали, что высокотемпературная сушка приводит к снижению механических свойств древесины. В меньшей степени снижается прочность при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе, в большей мере – при тангенциальном скальвании и весьма существенно уменьшается ударная вязкость древесины.

Резко сокращается продолжительность сушки при использовании электромагнитных колебаний СВЧ. Однако степень специфического влияния этого фактора на свойства древесины пока еще не установлена.

**Влияние повышенных температур.** Повышение температуры вызывает снижение показателей прочности и других физико-механических свойств древесины. При сравнительно непродолжительных воздействиях температуры до 100 °С эти изменения, в основном, обратимы, т. е. они исчезают при возвращении к начальной температуре древесины.

Влияние температуры при разной влажности древесины сосны на ее прочность при сжатии характеризуют данные Н.Л. Леонтьева (ЦНИИМОД), приведенные в табл. 49.

#### 49. Влияние температуры и влажности на прочность древесины сосны при сжатии вдоль и поперек волокон

Показатели свойств	Температура, °С	Влажность древесины, %				
		0	15	30	50	100
Предел прочности при сжатии вдоль волокон, МПа	20	74,0	35,4	20,1	20,0	20,0
	50	73,2	23,9	12,5	12,7	12,0
	100	64,4	11,4	6,3	6,0	7,3
Условный предел прочности при сжатии поперек волокон, МПа	20	3,7*	2,3	1,5	1,3	1,2
		7,7	4,1	2,2	2,1	2,0
	50	2,5	1,7	1,2	1,3	1,1
		5,4	2,8	1,3	1,4	1,4
	100	2,3	1,5	0,8	0,6	0,6
		5,0	1,7	0,8	0,7	0,7

\*В числителе приведены данные для радиального сжатия, в знаменателе – для тангенциального.

Эти данные показывают, что прочность при сжатии вдоль и поперек волокон понижается как с повышением температуры, так и с повышением влажности древесины. Одновременное действие обоих факторов вызывает большее снижение прочности по сравнению с суммарным эффектом от их изолированного воздействия. Влияние влажности наблюдается до предела насыщения клеточных стенок, дальнейшее увеличение влажности практически не отражается на прочности, хотя ряд исследователей отмечали ее снижение (на 10–15 %) и в этом диапазоне изменения влажности. Проведенные в МЛТИ [64] широкие исследования прочности древесины при растяжении поперек волокон также подтвердили закономерности, отмеченные выше для сжатия. В табл. 50 показано влияние температуры и влажности древесины на ее прочность при растяжении поперек волокон в условиях медленного нагружения (реологические испытания).

#### 50. Влияние температуры и влажности на прочность древесины при растяжении поперек волокон в тангенциальном направлении

Порода	Предел прочности, МПа, при температуре, °C											
	20				60				95			
	и влажности, %											
	10	11	12	13	>W <sub>n,n</sub>	10	15	>W <sub>n,n</sub>	9	10	15	>W <sub>n,n</sub>
Лиственница	4,9	—	—	—	2,0	3,6	3,2	1,1	—	2,7	—	—
Дуб	—	—	5,9	—	2,7	5,2	4,1	1,9	—	2,7	—	0,8
Бук	—	—	—	6,8	2,0	5,2	3,7	1,1	3,3	—	1,1	0,4
Береза	—	6,3	—	—	1,3	4,4	—	0,6	—	3,4	—	0,4

При достаточно длительном воздействии повышенной температуры (более 50 °C) в древесине происходят необратимые остаточные изменения, которые зависят не только от уровня температуры, но и от влажности.

Первые исследования Н.Н. Чулицкого [по 49], проведенные на древесине сосны, ясения и дуба в абсолютно сухом состоянии, показали, что под действием температуры 80–100 °C в течение 16 сут. предел прочности при сжатии вдоль волокон снижается на 5–10 %, а ударная вязкость – на 15–30 % (наибольшее снижение обнаружилось для дуба, наименьшее – для сосны). Снижение происходит главным образом в течение первых 2–4 сут. Позднее исследования К.Ф. Дьяконова (ЦНИИМОД) последствий воздействия высоких температур в диапазоне 80 – 140 °C на механические свойства древесины сосны, лиственницы, березы показали, что механические свойства снижаются с увеличением температуры, продолжительности ее воздействия и влажности древесины.

В последнее время Н.В. Скуратов (МГУЛ), используя результаты исследований Н.Н. Чулицкого, К.Ф. Дьяконова, Дж. Маклина установил некоторые общие закономерности влияния каждого из указанных факторов на эксплуатационную прочность древесины сосны и ели при статическом изгибе. На рис. 78. показан характер этих закономерностей.

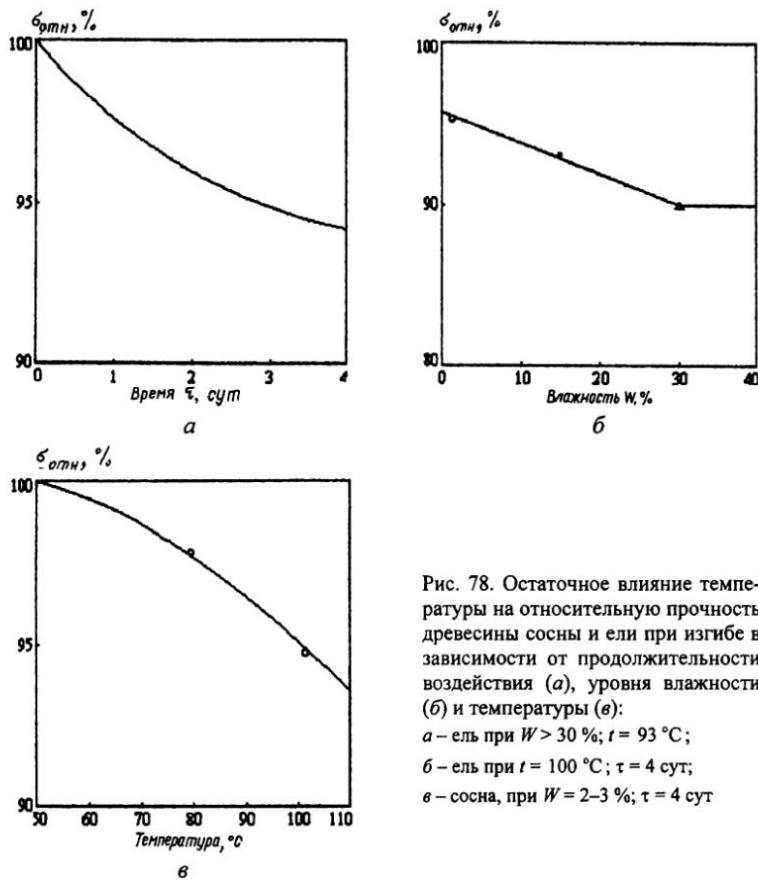


Рис. 78. Остаточное влияние температуры на относительную прочность древесины сосны и ели при изгибе в зависимости от продолжительности воздействия (*a*), уровня влажности (*b*) и температуры (*c*):

*a* – ель при  $W > 30 \%$ ;  $t = 93^{\circ}\text{C}$ ;

*b* – ель при  $t = 100^{\circ}\text{C}$ ;  $t = 4$  сут;

*c* – сосна, при  $W = 2-3 \%$ ;  $t = 4$  сут

Ударная вязкость древесины с низкой влажностью уменьшается с повышением температуры, а при высокой влажности, наоборот, увеличивается (испытывалась древесина в нагретом состоянии).

Нагреванием древесины можно достичь известного снижения гигроскопичности и способности к последующему разбуханию и усушке. Однако такая обработка неизбежно связана со снижением прочности и особенно – ударной вязкости. Повышение формостабильности древесины и снижение прочности тем больше, чем выше температура и продолжительность нагрева.

Воздействие высоких температур приводит к тому, что древесина становится хрупкой. Более сильное снижение ударной вязкости при нагреве древесины лиственных пород некоторые исследователи связывают с по-

вышенным (в 2–3 раза) содержанием пентозан, которые весьма чувствительны к воздействию высоких температур.

Воздействие повышенной температуры происходит в операциях пропаривания или проваривания в воде. Они предпринимаются для увеличения податливости древесины при гнутье, прессовании и т.д. Однако при этом происходит снижение прочности древесины, тем большее, чем выше температура и продолжительнее ее воздействие. Имеются данные [59] о том, что пропаривание древесины хвойных пород снижает прочность при изгибе примерно на 10–20 % больше, чем проваривание.

**Влияние низких температур.** Проведенные А.А. Солнцевым [по 49] испытания увлажненной до насыщения и затем замороженной древесины сосны, дуба и березы показали, что ее прочность больше при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе в среднем на 35 %, при скальвании и раскалывании на 75 %; в то же время ударная вязкость понизилась для замороженной древесины сосны почти вдвое, а для дуба – на 9 %.

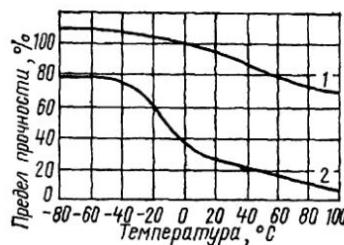
Влияние температур в пределах ее изменения от +100 до –80 °C на прочность при сжатии вдоль волокон древесины сосны в абсолютно сухом и насыщенном водой состоянии показано на рис. 79; для области положительных температур использованы данные Ф.П. Белянкина, а для отрицательных температур – данные М.Д. Бойко (за 100 % принята прочность при влажности 0 % и температуре 0 °C).

Рис. 79. Влияние температуры на прочность при сжатии вдоль волокон древесины сосны с разной влажностью:

1 – в абсолютно сухом состоянии; 2 – в насыщенном состоянии

Характер влияния положительных температур одинаков для абсолютно сухой и мокрой древесины. В то же время при отрицательных температурах прочность абсолютно сухой древесины плавно увеличивается, а мокрой древесины резко возрастает с понижением температуры до –25 ... –30 °C, после чего повышение прочности замедляется. При указанных температурах образуется столько ледяных включений, что они обеспечивают достаточную устойчивость стенок клеток. Модули упругости древесины при ее замораживании возрастают.

**Влияние ионизирующих излучений.** Гамма-облучение, по данным А.С. Фрейдина, оказывает наименьшее влияние на сопротивление древесины сжатию. Значительно больше снижается прочность на скальвание и еще сильнее падает сопротивление статическому изгибу. Для двух последних видов испытаний древесины сосны резкое снижение прочности (на



20 – 24 %) наблюдается уже при дозе 50 Мрад\*. При дозе облучения в 100 Мрад прочность снижается вдвое. Прочность при статическом изгибе после дозы облучения в 500 Мрад составляет немногим более 10 %. Прочность на сжатие вдоль волокон при такой дозе снижается примерно на 30 %, а доза облучения 100 Мрад практически не оказывает влияния на прочность. Наиболее сильно влияет облучение на ударную вязкость древесины. У древесины сосны после облучения дозой в 50 Мрад ударная вязкость снизилась более, чем в два раза.

Наиболее легко разлагаются гемицеллюлозы (в первую очередь пентозаны), более радиационно стойким веществом является целлюлоза. Однако устойчивость лигнина еще выше; он защищает полисахариды от радиолиза. Поскольку лигнин лучше, чем целлюлоза сопротивляется сжимающим нагрузкам, облучение меньше снижает прочность древесины именно при сжатии вдоль волокон.

При использовании радиоактивных изотопов для контроля технологических процессов обработки древесины доза облучения в миллионы раз меньше той, которая приводит к заметному снижению прочности. Лучевая стерилизация древесины (смертельной дозой для грибов и насекомых является примерно 1 Мрад) также практически не снижает ее механические свойства.

**Влияние кислот и щелочей.** Воздействие на комнатно сухую древесину в малых образцах серной, соляной и азотной кислоты концентрацией 10 % при температуре 15–20 °С приводит к снижению прочности при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе, ударной вязкости и твердости в среднем на 48 % для ядра лиственницы и сосны и на 53–54 % для ели (сплава древесина), бука и березы.

При воздействии на древесину в течение четырех недель щелочей были получены следующие данные: 2%-ный раствор аммиака почти не оказал влияния на прочность при статическом изгибе лиственницы, сосны, ели, но прочность дуба и букса снизилась на 34 %, а липы – почти вдвое; 10%-ный раствор аммиака снизил прочность лиственницы на 8 %, сосны и ели – на 23 %, а лиственных пород – почти втрое. Едкий натрий оказывает более сильное влияние.

Таким образом прочность древесины лиственных пород снижается под влиянием кислот и щелочей в значительно большей степени, чем хвойных.

**Газы**  $SO_2$ ,  $SO_3$ ,  $NO$ ,  $NO_2$  при длительном воздействии на древесину изменяют цвет и постепенно разрушают ее. При увлажнении древесины разрушение происходит интенсивнее. Смолистость уменьшает вредное влияние газов, а синева способствует поражению.

---

\* Рад – единица измерения поглощенной дозы излучения; 1 Мрад (мегарад) = 10 кДж/кг.

**Влияние речной и морской воды.** Испытания тополяковой древесины из бревен сосны, ели, березы и осины показали [по 49], что после пребывания в речной воде 10–30 лет прочность древесины практически не изменилась. Однако более длительное пребывание в воде вызывает снижение прочности наружных слоев древесины (толщиной 10–15 мм). В то же время в более глубоких слоях прочность древесины оказалась не ниже норм, допускаемых для здоровой древесины. Пребывание в воде на протяжении нескольких сотен лет в сильной мере изменяет древесину. В зависимости от времени нахождения под водой цвет древесины дуба меняется от светло-коричневого до угольно-черного вследствие соединения дубильных веществ с солями железа. Древесина, образующегося таким образом "моренного" дуба, пластичная в насыщенном водой состоянии, становится хрупкой после высушивания, усушка ее в 1,5 раза больше, чем обычной древесины; при сушке склонна к растрескиванию; прочность при сжатии, статическом изгибе и твердость снижаются примерно в 1,5 раза, а ударная вязкость – в 2–2,5 раза. Эти выводы были, в основном, подтверждены результатами последних исследований МГУЛ (совместно с Я.Н Станко, Л.В Поповкиной) тополяковой древесины при сравнительно кратковременном (15–20 лет) пребывании в воде (лиственница и береза) и длительном – до 1000 лет (дуб). "Возраст" моренного дуба определяют по повышению зольности древесины или радиоуглеродным анализом. Увеличение усадки древесины моренного дуба объясняется сморщиванием (коллапсом) клеток с уменьшенной толщиной стенок. Точно определить как изменяются показатели свойств древесины из-за пребывания в воде нельзя, т. к. неизвестны свойства древесины до затопления. Для установления возможности использования тополяковой древесины проводят ее испытания и определяют степень отклонения полученных данных от справочных.

Исследования В.Н Быковского показали, что прочность заболонной древесины сосны после пребывания в течение года в растворе морских солей снизилась: при сжатии вдоль волокон на 15 %, растяжении вдоль волокон на 10 %, скальвании на 5 %, а ударная вязкость на 26 %. Механические свойства ядровой древесины после пребывания в растворе солей не изменились.

У древесины отрезков сосновых свай, взятых из сооружений морских портов в Баку и Махачкале и прослуживших в воде около 30 лет, показатели механических свойств оказались существенно снижены по сравнению с нормальной древесиной. Хотя такое сопоставление условно, в работе С.И. Ванина [16] отмечено снижение прочности при растяжении вдоль волокон на 40–60 %, при статическом изгибе на 60–70 %. Можно, таким образом, заключить, что морская вода через сравнительно короткое время оказывает заметное влияние на прочность и ударную вязкость древесины.

## ГЛАВА 7. ПОРОКИ ДРЕВЕСИНЫ

Изменения внешнего вида древесины, нарушения правильности строения, целостности ее тканей и другие недостатки, снижающие ее качество и ограничивающие возможности практического использования, называются пороками древесины.

Значение порока зависит от области применения древесины, а также от уровня науки и техники в данный период. Это находит отражение в содержании стандартов на пороки древесины. После разработки первого стандарта в 1931 г. он пересматривался в 1934, 1943, 1961, 1971 и в 1981 гг. Изменения в стандартах сводились главным образом к уменьшению числа пороков, а также к уточнению и унификации наименований.

Следует подчеркнуть, что ГОСТ на пороки древесины – один из важнейших документов, широко используемый в практике. На основании этого ГОСТа сформированы требования к качеству сырья и изделий, отраженные в многочисленных стандартах и технических условиях на отдельные виды продукции лесной и деревообрабатывающей промышленности.

Важную роль играет стандартизация пороков древесины и в международной торговле лесными товарами. Поэтому уже в ГОСТ 2140-71, разработанном ЦНИИМОДом (С.Н. Горшин, И.К. Черкасов) и ЦНИИМЭ (Н.Л. Леонтьев и М.В. Акиндинов), были учтены рекомендации по стандартизации ИСО (Международной организации по стандартизации) и других организаций.

В действующем с 1982 г. ГОСТ 2140-81 "Пороки древесины" были полностью учтены соответствующие стандарты ИСО. Позднее, в 1988 – 89 гг. появились стандарты ИСО на видимые пороки пиловочных бревен. В разработанных Европейским комитетом по стандартизации (CEN), начиная с 1995 г., Европейских стандартах EN 844-1...12 на круглые и пиленые лесоматериалы также содержатся сведения о пороках древесины. В русской версии этих стандартов и разработанном на их основе Центром "Лесэксперт" ОАО "ЦНИИМЭ" (А.К. Курицын) проекте терминологического стандарта ИСО использованы некоторые термины, определения и способы измерения пороков, принятые в международной торговле, но отличающиеся от традиционных, отечественных. Поэтому при толковании понятий о пороках древесины, содержащихся в получившей распространение справочной литературе [28, 57] следует руководствоваться сведениями, которые приводятся ниже применительно к ГОСТ 2140-81.

Этот стандарт охватывает широкую номенклатуру пороков, которые разделены на девять групп: 1 – сучки, 2 – трещины, 3 – пороки формы ствола, 4 – пороки строения древесины, 5 – химические окраски, 6 – грибные поражения, 7 – биологические повреждения, 8 – инородные включения, механические повреждения и пороки обработки, 9 – покоробленности.

В каждую группу входит несколько видов пороков, для некоторых пороков указаны их разновидности. Часть пороков характерна только для круглых лесоматериалов (брёвна и др.), другие пороки свойственны только пилопродукции (доски, брусья, заготовки) или шпону. Есть пороки, встречающиеся у двух или всех трех групп сортиментов.

### § 35. Сучки

Наиболее распространенный порок — сучки представляют собой основания ветвей, заключенные в древесине сортимента.

По степени застарелости сучки различают только в круглых лесоматериалах, выделяя две разновидности: открытыe, т. е. выходящие на боковую поверхность сортимента, и заросшие, обнаруживаемые по вздутиям и другим следам застарелости на боковой поверхности.

По форме разреза сучки (в пилопродукции и шпоне) делятся на круглые, овальные и продолговатые. Круглый сучок образуется в том случае, если основание ветви разрезается под большим углом к продольной оси так, что отношение большего диаметра сучка к меньшему не превышает  $2^*$  (рис. 80, а). Круглый сучок может быть обнаружен на тангенциальной поверхности сортимента. Овальный сучок образуется в том случае, когда основание ветви разрезается под углом к ее продольной оси так, что отношение большего диаметра сучка к меньшему находится в пределах 2–4 (рис. 80, б).

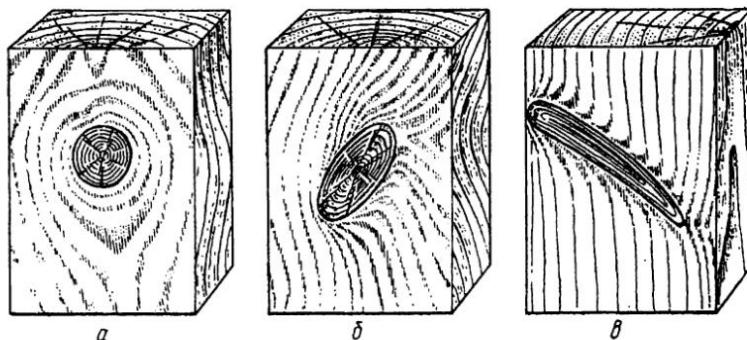


Рис. 80. Сучки различной формы:  
а — круглый; б — овальный; в — продолговатый

Продолговатый сучок образуется при разрезании основания ветви вдоль или под малым углом к ее оси так, что отношение большего диаметра к меньшему превышает 4 (рис. 80, в). Продолговатый сучок в ви-

\* По стандарту ЕН 844-1 это отношение должно быть не менее 1,5.

де суживающейся к сердцевине полосы или сильно вытянутого овала может быть обнаружен на радиальном или близком к нему разрезе.

По положению в пиленом сортименте различают сучки пластевые, кромочные, ребровые, торцовые и спивные. Пластевые сучки выходят на широкую сторону (пласть), кромочные – на узкую (кромку), ребровые – одновременно на смежные пласть и кромку, торцовые – на короткую сторону (торец) сортимента.

Если сучок пронизывает всю пласть или кромку и выходит на два ребра, его называют спивным (рис. 81, а). Кроме того, в пилопродукции выделяют сучки: односторонние, выходящие на одну или две смежные стороны сортимента и сквозные, выходящие на две противоположные стороны сортимента.

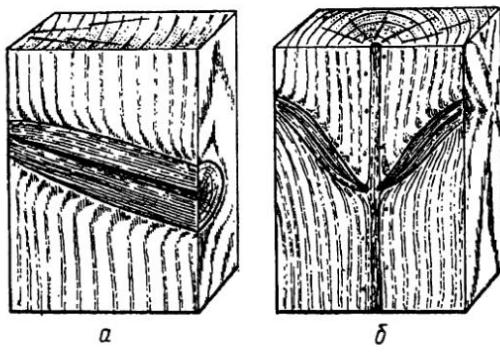


Рис. 81. Сучки:  
а – спивной; б – разветвленный

По взаимному расположению в пиленом сортименте различают разбросанные, групповые и разветвленные сучки. Разбросанными называются любые одиночные

сучки, отстоящие друг от друга по длине сортимента на расстоянии большем, чем его ширина. У широких сортиментов (ширина более 150 мм) расстояние между сучками должно быть не менее 150 мм. Группами называются два или более круглых, овальных или ребровых сучка, расположенных на отрезке длины сортимента, равном его ширине. У широких сортиментов этот отрезок должен быть равен 150 мм.

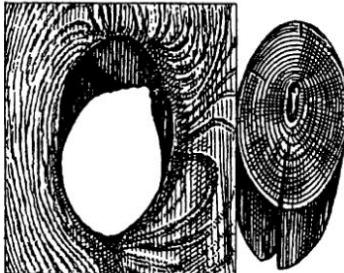
При мутовчатом расположении ветвей, особенно характерном для сосны и лиственницы, образуются разветвленные (старое название – лапчатые) сучки. Они обнаруживаются на радиальных или близких к ним разрезах и включают два продолговатых сучка одной мутовки (рис. 81, б) или один продолговатый в сочетании с овальным или ребровым сучком одной мутовки (между ними может быть и третий – круглый или овальный сучок).

По степени срастания с окружающей древесиной в пилопродукции и шпоне различают три разновидности сучков. Сросшиеся, частично сросшиеся и несросшиеся называют сучками, у которых годичные слои не срослись с окружающей древесиной на протяже-

нии соответственно: менее 1/4; более 1/4, но менее 3/4; более 3/4 периметра разреза сучка. Среди несросшихся сучков выделяют выпадающие (рис. 82).

Рис. 82. Выпадающий сучок

По состоянию древесины сучки во всех видах лесоматериалов делятся на здоровые, загнившие, гнилые и табачные. Здоровыми называются сучки, у которых древесина не имеет признаков гнили. Среди этой разновидности сучков в пилопродукции и шпоне выделяют: светлые, окрашенные слегка темнее окружающей древесины; темные, древесина которых пропитана смолой, дубильными и ядовыми веществами и поэтому значительно темнее окружающей древесины; здоровые сучки с трещинами.



При загнивании древесина сучка изменяет окраску, а в дальнейшем сильно размягчается и утрачивает нормальную структуру. Загнившие и гнилые называются сучки, у которых зона гнили занимает соответственно менее или более 1/3 площади разреза. Табачными называются сучки, древесина которых полностью или частично превратилась в рыхлую массу ржаво-бурового (табачного) или белесого цвета, легко растирающуюся в порошок.

Характеристика сортиментов по сучковатости включает в себя указание разновидностей, размера и количества сучков.

В круглых лесоматериалах при установлении разновидностей открытых сучков по состоянию древесины иногда трудно отличить табачные сучки от других пораженных гнилью сучков. В этом случае применяют зондирование щупом. Если зона разрушения распространяется на глубину не более 3 см, такие сучки, в зависимости от площади поражения относят к загнившим или гнилым; если же зона разрушения распространяется на большую глубину (часто до сердцевины), то это табачные сучки.

Открытые сучки измеряют по их наименьшему диаметру (рис. 83, а), при этом присучковый наплыв в размер сучка не включают. Заросшие сучки оценивают по высоте прикрывающих их вздутий над боковой поверхностью сортиментов. У лиственных лесоматериалов диаметр заросшего сучка можно определить по размеру раневого пятна или усам бровки. Хорошо заметное на гладкой коре некоторых пород (бересы, бук, граба, осины) образование — бровка — в виде двух направленных под углом темных полосок — усов возникает от давления разрастающейся ветви на дре-

весину ствола. После отмирания и опадения ветви на месте заросшего сучка возникает **раневое пятно**, чаще всего правильной эллипсовидной формы (рис. 83, б).

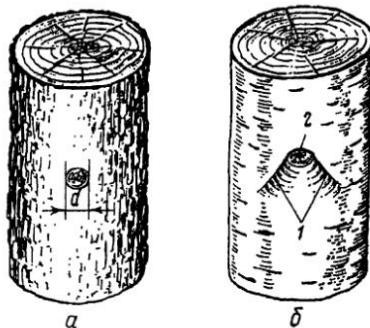


Рис. 83. Измерение сучков в круглых лесоматериалах:  
а – открытых сучков; б – заросших сучков: 1 – по бровке; 2 – по раневому пятну

Размер наиболее толстой части заросшего сучка в сортиментах из березы, бук, липы, ольхи и ясения равен 0,9, из осины – 0,6 максимального диаметра раневого пятна. В некоторых круглых сортиментах, например в фанерных кряжах, важно знать глубину залегания заросших

сучков. Это позволяет установить величину бессучковой зоны, из которой может быть получен шпон высокого качества. Глубина залегания сучков в сортиментах из указанных пород может быть определена по соотношению между высотой и шириной раневого пятна и диаметру сортимента в месте зарастания сучка. С уменьшением этого отношения при данном диаметре сортимента глубина залегания вершины заросшего сучка увеличивается. При постоянном соотношении размеров раневого пятна залегание сучка тем глубже, чем больше диаметр сортимента. Таблицы для определения глубины залегания заросших сучков приведены в ГОСТ 2140-81.

В сортиментах из березы глубину залегания сучка можно определить также по величине угла между усами бровки. Заросший сучок при постоянном диаметре сортимента расположен тем глубже, чем больше угол между усами. При одной и той же величине угла между усами глубина залегания больше у сортиментов большего диаметра. По длине уса можно ориентировочно судить о размере заросшего сучка. Длина уса, измеренная в сантиметрах, примерно соответствует размеру сучка в миллиметрах.

В пилопродукции и строганом шпоне размеры сучков определяют одним из двух способов: 1) по расстоянию между двумя касательными к контуру сучка, проведенными параллельно продольной оси сортимента; 2) по наименьшему диаметру сечения сучка. Круглые, овальные и продолговатые (или разветвленные) не выходящие на ребро сучки измеряют, как показано на рис. 84, первым (размеры  $a_1$ ;  $a_2$ ;  $a_3$ ) или вторым (размеры  $b_1$ ;  $b_2$ ;  $b_3$ ) способом\*. Сшивные и выходящие на ребро

\* Согласно стандарта ЕН 1310 основной метод – определение размера сучка как полусуммы большей и меньшей оси его сечения.

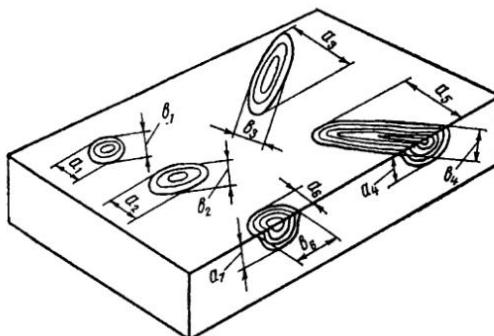
продолговатые (или разветвленные) сучки измеряют в пилопродукции первым способом на той стороне сортимента, на которую выходит попечное сечение сучка (размер  $a_4$ ) или вторым способом по продольному сечению (размер  $b_4$ ). В отдельных случаях допускается измерять сучки двух последних разновидностей на продольном разрезе и первым способом (размер  $a_5$ ). Выходящие на ребро продолговатые и разветвленные сучки измеряют первым способом (размер  $a_5$ ) и вторым способом (размер  $b_4$ ). Ребровые сучки измеряют первым способом (размеры  $a_6$  и  $a_7$ ) и вторым способом по протяженности сучка на ребре (размер  $b_6$ ). Размер разветвленных сучков допускается определять как сумму размеров составляющих сучков. Таким же образом определяют размеры и групповых сучков.

Рис. 84. Измерение сучков в пилопродукции и строганом шпоне

В лущеном шпоне все сучки измеряют по наибольшему диаметру их сечения. Размеры сучков выражают в миллиметрах или в долях размера сортимента и подсчитывают их количество в круглых лесоматериалах и пилопродукции – на 1 м или всю длину сортимента, в шпоне – на 1  $m^2$  или всю площадь листа.

Количество, размеры и расположение сучков зависят от породы дерева, условий его роста и зоны ствола. Стволы теневыносливой породы – ели имеют больше сучков, чем стволы сосны; деревья, выросшие в сомкнутых древостоях, очищаются от сучков раньше и выше, чем дерево, выросшее на свободе; комлевая часть ствола имеет меньшую сучковатость, чем вершинная. Размеры одних и тех же сучков и состояние их древесины изменяются по радиусу ствола. По мере продвижения от коры в глубь ствола и к сердцевине размеры сучков уменьшаются, несросшиеся сучки переходят в сросшиеся, уменьшается количество загнивших и гнильных сучков.

При использовании древесины сучки в большинстве случаев оказывают отрицательное влияние. Они обычно ухудшают внешний вид древесины, нарушают ее однородность и вызывают искривление волокон и горючих слоев, что приводит к снижению показателей многих механических свойств древесины. Вследствие большей твердости по сравнению с окружающей древесиной здоровые и особенно темные (роговые) сучки за-



трудняют обработку древесины режущими инструментами. Табачные сучки в круглых сортиментах сопровождаются скрытой ядровой гнилью. Степень влияния сучка на механические свойства зависит от его относительных размеров, разновидности и характера напряженного состояния нагруженной детали изделия или конструкции. Наименьшее отрицательное влияние оказывают здоровые, круглые, вполне сросшиеся сучки, а наибольшее – сшивные и групповые. Особенно сильно снижается прочность древесины при растяжении вдоль волокон, меньше всего – при сжатии вдоль волокон. При изгибе степень влияния существенно зависит от положения сучка по длине и высоте детали. Наибольшее отрицательное влияние оказывают сучки, расположенные в растянутой зоне опасного сечения изгибаемой детали, особенно, если сучок выходит на кромку.

По данным Н.Л. Леонтьева (ЦНИИМОД) для заготовок из древесины сосны наблюдается близкая к пропорциональной зависимость между относительным размером сучка (в долях ширины или толщины заготовки) и прочностью при статическом изгибе и сжатии вдоль волокон (в % от прочности чистой древесины). Следовательно, при размере сучка 0,3 и 0,5 прочность снизится соответственно на 30 и 50 %. Аналогичная зависимость была обнаружена А.Л. Михайличенко при изгибе древесины березы и бука. У древесины дуба влияние размера сучков на прочность выражено слабее.

Сучки увеличивают прочность при сжатии и растяжении древесины в радиальном направлении поперек волокон, когда ось сучка совпадает с направлением усилия. Сучки повышают прочность и при скальвании вдоль волокон в тангенциальном направлении, когда они расположены перпендикулярно плоскости скальвания.

В отверстия, остающиеся после выпавших сучков при необходимости вставляют деревянные пробки (на клее или без него). Иногда специально высверливают сучки, и отверстия также заделывают пробками. Однако прочность древесины при этом не повышается, так как искривления волокон вокруг пробок по-прежнему остаются.

Модули упругости с увеличением размера сучков при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе снижаются, а при растяжении и сжатии поперек волокон в радиальном и тангенциальном направлениях – сильно возрастают в связи с большей жесткостью древесины самих сучков.

В.П. Левченко (УСХА) исследовал влияние сучков на прочность сосновых круглых лесоматериалов при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе и показал, что снижение этих свойств меньше, чем у пиломатериалов. На модуль упругости сучки в круглых лесоматериалах, так же как и в пиломатериалах, влияют меньше, чем на прочность.

### § 36. Трещины

Трещины представляют собой продольные разрывы древесины, образующиеся под действием внутренних напряжений, достигающих предела прочности древесины на растяжение поперек волокон.

По типу трещины в круглых лесоматериалах и пиломатериике делятся на метиковые, отлупные и морозные, появляющиеся в растущем дереве, и трещины усушки, возникающие в срубленной древесине. М е т и к о в ы е т р е ч ь и н ы представляют собой одну или несколько внутренних радиальных трещин, возникающих в стволах деревьев всех пород, особенно часто у сосны, лиственницы, букка преимущественно в перестойных древостоях. Трещина начинается от комля, идет вверх по стволу и иногда доходит до зоны живой коры. Протяженность ее по стволу достигает 10 м и более. В круглых лесоматериалах метиковые трещины наблюдаются только на торцах (лучше на комлевых), так как, начинаясь от сердцевины, они до коры не доходят и на боковой поверхности не видны. В пиломатериалах они обнаруживаются как на торцах, так и на боковых поверхностях. В зависимости от расположения в круглых сортиментах различают простые и сложные метиковые трещины. П р о с т о й метиковой трещиной называется трещина (или две трещины, направленные по одному диаметру торца), расположенная в одной плоскости по длине сортимента (рис. 85, а). С л о ж н о й называются две или несколько трещин, направленных на торце под углом друг к другу, а также одна или две трещины, направленные по одному диаметру, но из-за спирального расположения волокон (порок — "наклон волокон" см. ниже), находящиеся не в одной плоскости (рис. 85, б, в). Метиковые трещины возникают в процессе роста дерева. Существует мнение, что трещины образуются и при валке дерева от ударов о землю. При высыхании древесины размеры трещины увеличиваются. Метиковые трещины представляют собой прерывистые разрывы по длине сортимента.

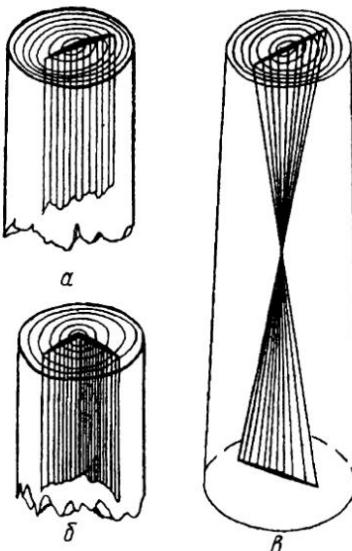


Рис. 85. Схема расположения метиковых трещин в круглых лесоматериалах:  
а – простая метиковая трещина; б и в – сложные метиковые трещины

Отлупные трещины – это отслоения (по годичному слою) древесины внутри ядра или спелой древесины стволов растущих деревьев всех пород. Отлуп можно обнаружить в круглых лесоматериалах только на торцах в виде дугообразных (не заполненных смолой) или кольцевых трещин (рис. 86, а, б), в пиломатериалах – на торцах в виде трещин-луночек, а на боковых поверхностях в виде продольных трещин или желобчатых углублений (рис. 86, в).

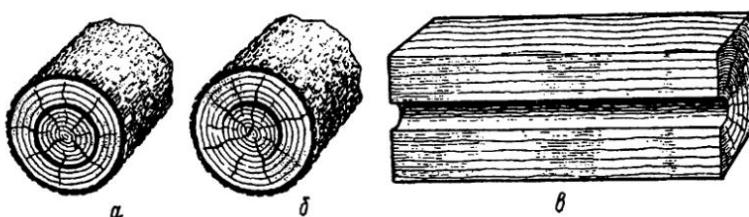
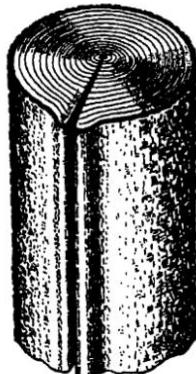


Рис. 86. Схема расположения отлупных трещин:  
а и б – в круглых сортиментах; в – в пиломатериалах

До сих пор причина появления отлупных трещин точно не установлена. Они наблюдаются в местах резкого перехода мелкослойной древесины в крупнослойную. Возникновение отлупа может быть связано [15] с образованием внутренней гнили, а у осины и других лиственных – водослоя (см. ниже).

Рис. 87. Морозная трещина



Морозные трещины представляют собой наружные продольные разрывы древесины стволов растущих деревьев лиственных (реже хвойных) пород; распространяются в глубь ствала по радиальным направлениям (рис. 87). Морозные трещины образуются при резком снижении температуры зимой. На них похожи старые трещины, возникшие от удара молний. На поверхности ствала этот порок имеет вид длинной открытой трещины, часто с валиками или гребнями разросшейся древесины и коры по краям. Морозные трещины обычно располагаются в комлевой части ствала.

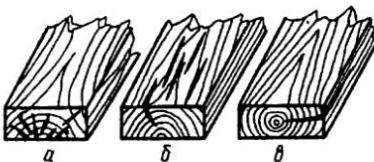
В круглых лесоматериалах морозные трещины хорошо заметны на боковой поверхности и торцах; снаружи они имеют наибольшую ширину, уходят в глубь древесины (часто до сердцевины), постепенно суживаясь. В

пиломатериалах обнаруживаются в виде длинных радиальных трещин с уширенными около них годичными слоями. Стенки трещин темные или засмоленные (у хвойных пород).

Трещины усушки возникают в лесоматериалах под действием сушильных напряжений. Трещины распространяются от боковой поверхности в глубь сортимента по радиальным направлениям. От метиковых и морозных трещин отличаются меньшим протяжением по длине сортимента (обычно не более 1 м) и меньшей глубиной. Трещины появляются на торцах круглых сортиментов и пиломатериалов из-за неравномерности просыхания их по длине. В конечной стадии сушки пиломатериалов крупного сечения (чаще лиственных пород), как уже отмечалось в гл. 4, иногда образуются внутренние трещины (свищи), обнаруживаемые при раскрое сортиментов.

В зависимости от расположения в сортименте трещины делятся на торцовые и боковые. Торцовые трещины расположены на торцах и на боковые стороны сортимента не выходят (рис. 88, а). Боковые трещины расположены на боковых сторонах сортимента, могут выходить на торцы. Среди боковых трещин в пиленых сортиментах различают пластевые (рис. 88, б) и кромочные (рис. 88, в).

Рис. 88. Схемы расположения трещин в сортиментах:  
а – торцовые; б – пластевые; в – кромочные



Если трещины распространяются на глубину менее  $1/10$  толщины сортимента (но не более 7 см для круглых лесоматериалов и 5 мм для пилопродукции) они называются неглубокими, если на большую глубину – глубокими. Сквозные называются трещины, выходящие на две боковые стороны или на два торца сортимента. Сюда же относятся и отлупные трещины, выходящие в двух местах на одну сторону сортимента (могут образовать желобок). В шпоне трещины шириной менее 0,2 мм называются сомнительными, а более широкие – разошедшимися.

Боковые трещины измеряют по глубине сортимента в миллиметрах и длине в сантиметрах или соответственно в долях толщины и длины сортимента. Для измерения глубины пользуются тонким стальным щупом. Торцовые метиковые, отлупные и морозные трещины в круглых лесоматериалах измеряют по наименьшей толщине сердцевинной доски или диаметру круга, в которые они могут быть вписаны, или же по наименьшей ширине неповрежденной периферической зоны торца. Торцовые трещины усушки в круглых лесоматериалах измеряют по глубине. В пилопродукции торцовые трещины измеряют по протяженности на торце в миллиметрах или в

долях той стороны сортимента, на который их проекция больше. Отлупные торцовые трещины в пилопродукции измеряют по хорде или диаметру в зависимости от того, менее или более половины окружности годичного слоя занимает трещина. В шпоне трещины измеряют по длине, а у разошедшихся трещин измеряют и ширину; учитывают количество трещин на 1 м ширины листа.

Наименьшее снижение прочности из-за трещин наблюдается при сжатии вдоль или поперек волокон; наибольшее – при растяжении поперек волокон, если трещина расположена в плоскости, перпендикулярной действующему усилию, а также при скальвании, если трещина совпадает с плоскостью скальвания. При изгибе наибольшее отрицательное влияние оказывает трещина, перпендикулярная изгибающему усилию, расположенная в нейтральной плоскости. Здесь нормальные напряжения отсутствуют, но касательные напряжения максимальны и величина снижения прочности оказывается пропорциональной уменьшению площади, работающей на скальвание. По данным Н.Л Леонтьева, трещины не влияют на модуль упругости при растяжении и сжатии вдоль волокон, но сильно снижают модуль упругости при изгибе в том случае, когда плоскость трещины перпендикулярна изгибающему усилию. Трещины способствуют проникновению влаги и спор грибов в глубь сортимента.

Кроме трещин, включенных в ГОСТ 2140-81, встречаются параллельные разрывы древесины от действия сжимающих напряжений [15, 59]. Они возникают при чрезмерном изгибе тонких и малообежистых стволов растущих деревьев. Разрывы можно обнаружить на строганных радиальных поверхностях пиломатериалов в виде прерывистых трещин, почти перпендикулярных волокнам. Этот порок существенно снижает механические свойства древесины, особенно прочность при растяжении и ударную вязкость. Пиломатериалы с большим количеством таких трещин непригодны для конструкционных целей.

### § 37. Пороки формы ствола

**Сбежистость.** Для всех стволов деревьев характерно постепенное уменьшение диаметра в направлении от комля к вершине (сбег). Если на каждый метр высоты ствола (длины сортимента) диаметр уменьшается более чем на 1 см, такое явление признается ненормальным и считается пороком – сбежистостью. Степень сбежистости определяется измерением разности между комлевым и вершинным диаметром круглого сортимента (в комлевых бревнах нижний диаметр измеряют на расстоянии 1 м от комлевого торца), а у необрезных пиломатериалов – между шириной комлевого и вершинного конца. Полученная разность относится к общей длине сортимента и выражается в сантиметрах на 1 м или в процентах.

Стволы лиственных пород более сбежисты, чем хвойных. Сильно сбежистые стволы у деревьев, выросших на свободе или в редком стоянии. Чем выше бонитет насаждения, тем стволы полнодревеснее, т. е. менее сбежисты. Наименьшая сбежистость характерна для сортиментов, выпиленных из средней части ствала, наибольшая – из вершинной. Сбежистость увеличивает количество отходов при распиловке сортиментов и их лущении и косвенным образом влияет на прочность, так как является причиной появления в пиломатериалах порока – радиального наклона волокон (см. ниже).

**Закомелистость.** Резкое увеличение диаметра в нижней части ствала, встречающееся у всех пород, называется з а к о м е л и с т о с т ью . Закомелистость представляет собой частный случай сбежистости, когда диаметр круглых лесоматериалов или ширина необрезной пилопродукции у комлевого торца более чем в 1,2 раза превышает диаметр (ширину) сортимента на расстоянии 1,0 м от этого торца.

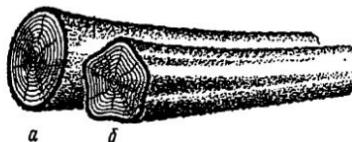
О к р у г л о й закомелистостью называется в том случае, если поперечное сечение комлевой части имеет форму, близкую к окружности (рис. 89,а). Ребристая закомелистость характеризуется многолопастной формой поперечного сечения. На боковой поверхности сортимента видны продольные углубления (рис. 89,б).

Рис. 89. Закомелистость:  
а – округлая; б – ребристая

Закомелистость измеряется разностью диаметров (для необрезных пиломатериалов – ширин) комлевого торца и сечения на расстоянии 1 м от него. При ребристой закомелистости допускается определять разницу между максимальным и минимальным диаметрами комлевого торца.

**Овальность.** Элипсовидность формы торца круглых лесоматериалов, при которой наибольший диаметр не менее чем в 1,5 раза превышает меньший, называется о в а л ь н о с т ью . Порок измеряют разностью значений указанных диаметров. Овальность сопровождает кренъ или тяговую древесину (см. ниже).

**Наросты.** Это местные утолщения ствала разной формы. Они могут быть с гладкой или бугристой поверхностью и свилеватым строением древесины (капы). Измеряют длину и ширину нароста. Наросты образуются в результате разрастания тканей под влиянием различных раздражений или повреждений ствала, которые вызываются действием грибов, мороза, механическими причинами, пожарами и др.



Гладкие нарости наиболее часто образуются на стволах сосны и бересклета. На их продольном разрезе годичные слои повторяют наружные очертания нарости и имеют изогнутую форму (рис. 90, а). Древесина наростов имеет более высокую плотность, большую усушку вдоль волокон (0,5–1 %), отличается низким модулем упругости и малой прочностью при сжатии вдоль волокон.

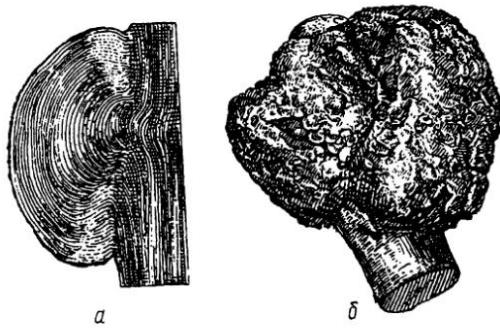


Рис. 90. Нарости:  
а) гладкий нарост на со-  
сне; б) бугристый нарост  
на карельской бересклетке

Капы образуются особенно часто на стволах бересклета и грецкого ореха, встречаются и у ряда других лиственных по-

род. Свилеватое строение древесины связано с формированием большого количества спящих почек, появляющихся при повреждениях ствола.

Капы карельской бересклетки имеют форму округлых вздутий ствола (рис. 90, б). Древесина наростов имеет неправильное строение, характеризующееся свилевато-волнистым направлением волокон, с включением темноокрашенных образований в виде коротких черточек, небольших пятен и точек, благодаря чему на разрезах получается красавая текстура, которая высоко ценится в мебельном производстве. На стволах грецкого ореха капы образуются обычно в нижней части ствола, они иногда достигают очень больших размеров и имеют также свилеватое строение. Нарости затрудняют использование круглых лесоматериалов и осложняют их переработку. Однако древесина капов высоко ценится как материал для художественных поделок и сырье для облицовочного строганого шпона.

**Кривизна.** Искривление ствола по длине – к р и в и з н а встречается у всех древесных пород. Вследствие потери верхушечного побега и замены его боковой ветвью, из-за наклона дерева в сторону лучшего освещения, при росте на горных склонах и по другим причинам ствол дерева может оказаться искривленным. Различают простую и сложную кривизну, характеризующуюся соответственно одним или несколькими изгибами сортимента.

Простую кривизну измеряют по величине стрелы прогиба сортимента в месте его искривления (в процентах от протяженности искривленного участка сортимента). При раскряжевке длинного сортимента на короткие кривизна их окажется меньшей примерно во столько раз, на сколько разных частей был разрезан длинный сортимент. Сложную кривизну характе-

ризуют величиной наибольшего искривления, измеряемого так же, как в случае простой кривизны.

Кривизна затрудняет применение круглых лесоматериалов по назначению, снижает выход пиломатериалов и шпона, служит причиной образования радиального наклона волокон.

### § 38. Пороки строения древесины

Все пороки этой группы можно разделить на семь подгрупп.

#### 1. Неправильное расположение волокон и годичных слоев.

**Наклон волокон.** Так называется отклонение волокон от продольной оси сортимента. Этот порок, который раньше назывался косослоем, встречается у всех пород. В круглых лесоматериалах он обусловлен природным спиральным расположением волокон. Обнаруживается этот порок на боковой поверхности по направлению бороздок коры, а в окоренных сортиментах по винтовым трещинам (рис. 91,а). В пилопродукции и шпоне различают две разновидности этого порока. Тангенциальный наклон волокон обнаруживается на тангенциальном разрезе по отклонению от продольной оси сортимента направления смоляных ходов, сосудов, сердцевинных лучей, трещин и полосок грибных поражений (рис. 91,б). Радиальный наклон волокон обнаруживается на радиальном разрезе по отклонению от продольной оси сортимента направления смоляных ходов, сосудов, сердцевинных лучей, трещин и полосок грибных поражений (рис. 91,в).

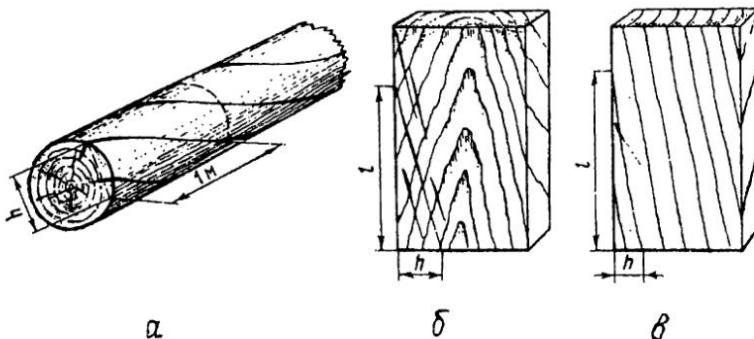


Рис. 91. Разновидности наклона волокон и способы его измерения:  
а – тангенциальный наклон в круглых лесоматериалах; б и в – тангенциальный и радиальный наклон волокон в пилопродукции

Если указанные признаки выражены недостаточно четко, следует прочертить риски тонким, но не острым инструментом или провести пробное раскалывание вдоль волокон; отклонение риски от продольной оси сортимента или неплоскость поверхности радиального раскола укажут на наличие порока.

Сpirальное расположение волокон в растущем дереве связано с делением камбимальных клеток косорадиальными перегородками. Волокна могут быть направлены по левым или правым спиралям. Главная причина наклона волокон – наследственность. Как правило, с возрастом степень наклона увеличивается и на периферии ствола она больше, чем у сердцевины. У хвойных пород в сердцевине и ювенильной древесине волокна расположены по левым спиралям, а ближе к периферии – по правым.

Тангенциальный наклон волокон может образоваться в результате распиловки прямоволокнистой доски (брюса) на мелкие детали при направлении резов под углом к продольной оси исходного сортимента. Отличить указанный вид порока от природного тангенциального наклона волокон можно по одинаковой величине угла наклона на противоположных сторонах сортимента.

**Радиальный наклон** волокон наблюдается при перерезании годичных слоев на радиальной или близкой к ней поверхности пиломатериала. Указанная разновидность наклона волокон (по старой терминологии – искусственный косослой) получается при распиловке сильно сбежистых, закомелистых и кривых бревен. Если резы пилы проходят параллельно продольной оси бревна, то годичные слои и, следовательно, волокна на радиальной поверхности пиломатериала оказываются расположеными под углом к ребру сортимента (рис. 91,в). В этом случае на тангенциальной поверхности пиломатериалов, а также на лущеном шпоне, видны близко расположенные границы годичных слоев.

Наклон волокон измеряют в месте наибольшего проявления порока на боковой поверхности круглых лесоматериалов по отклонению волокон от линии, параллельной продольной оси сортимента, на протяжении 1 м и выражают в процентах или сантиметрах. В комлевых бревнах наклон волокон измеряют, отступая на 1 м от нижнего торца\*. Допускается измерять порок на верхнем торце по хорде  $h$  (рис. 91,а) в сантиметрах или долях диаметра торца. В пилопродукции наклон волокон измеряют по величине отклонения  $h$  (рис. 91,б,в) на длине  $l$ , равной не менее двойной ширины сортимента (в процентах от длины этого участка продольной оси). В шпоне тангенциальный наклон измеряют так же, как в пилопродукции, а радиальный наклон – по средней ширине перерезанных годичных слоев, которые подсчитываются на отрезке длиной 100 мм в том участке тангенциальной поверхности листа, где эти слои расположены наиболее тесно.

Наибольшее снижение прочности от этого порока наблюдается при растяжении вдоль волокон, заметно снижается прочность при статическом изгибе; наименьшее влияние – при сжатии вдоль волокон. По данным Н.Л. Леонтьева наклон волокон, равный 12 %, вызывает снижение предела

---

\* Такой метод измерения и по стандарту ЕН 1310

прочности сосны при сжатии вдоль волокон на 3 %, при статическом изгибе на 11 %, а при растяжении вдоль волокон на 14 %.

Модуль упругости также существенно снижается при увеличении наклона волокон, особенно при сжатии вдоль волокон.

Наклон волокон увеличивает усушку сортиментов в продольном направлении и служит причиной образования винтовой покоробленности (крыловатости) пиломатериалов, скручивания столбов. Кроме того, наклон волокон затрудняет механическую обработку древесины и снижает ее способность к изгибу.

**Свилеватость.** Так называется извилистое или беспорядочное расположение волокон, встречающееся чаще всего у лиственных пород. В о л и с т а я свилеватость выражается в более или менее упорядоченном расположении волнообразно изогнутых волокон, образует характерную струйчатую текстуру (рис. 92). Наблюдается преимущественно в комплевой части ствола, особенно в местах перехода ствола в корни. Волнистая свилеватость наблюдается у березы, осины, клена, ясеня и других пород.

Рис. 92. Волнистая свилеватость у березы

Путаная свилеватость характеризуется беспорядочным расположением волокон; встречается главным образом в древесине наростов типа капов. Обычно свилеватость представляет собой местный порок, но иногда может обнаружиться на большом протяжении ствола, например в карельской березе (см. рис. 22,в).

Согласно исследованиям Н.О. Соколова, А.Я. Любавской и др. строение древесины карельской березы отличается от строения обычной березы повислой, кроме отмеченной особенности расположения волокон, наличием крупных ложношироких сердцевинных лучей, содержащих скопления мелких паренхимных клеток. Своеобразный, коричневатый узорчатый рисунок обусловливается бурым пигментом, находящимся в клетках сердцевинных лучей и паренхимы. Причины образования такой аномальной древесины рассматриваются в работах В.В. Коровина, Н.Е. Косиченко, Л.Л. Новицкой и др.

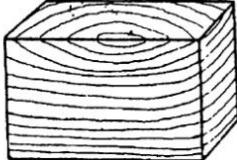
Измеряют ширину и длину свилеватой части поверхности в сантиметрах или долях ширины и длины сортимента, устанавливают процент площади поверхности сортимента занятой пороком. Свилеватость снижает



прочность при растяжении, сжатии и изгибе, но повышает прочность при скалывании, увеличивает ударную вязкость и сопротивление раскалыванию. Механическая обработка свилеватой древесины затруднена. Вместе с тем свилеватость (особенно путаная) создает красивую текстуру, которая высоко ценится при использовании древесины в качестве декоративного материала. Поэтому свилеватость следует считать условным пороком.

**Завиток.** Это местное искривление годичных слоев у сучков и простей (см. ниже). На боковых поверхностях пилопродукции и в шпоне заметны скобообразные, изогнутые или замкнутые концентрические контуры искривленных годичных слоев. Односторонним называется завиток, выходящий на одну или две смежные стороны сортимента (рис. 93). Сквозным называется завиток, выходящий на две противоположные стороны сортимента.

Рис. 93. Завиток односторонний



На боковых поверхностях пилопродукции и в шпоне измеряют ширину и длину завитка в линейных мерах или в долях ширины и длины поверхности, а также подсчитывают количество завитков на 1 м или всю длину сортимента (в пиломатериалах и заготовках) и

на 1 м<sup>2</sup> или всю поверхность листа (в шпоне). Завитки, окружающие сучки, допустимые в данном сортименте, не учитываются.

Наибольшее снижение прочности наблюдается при наличии сквозных завитков, находящихся под действием растягивающих напряжений. Завитки снижают также ударную вязкость. Особенно опасны завитки для мелких сортиментов.

## 2. Реактивная древесина.

В наклонных и изогнутых стволах и ветвях образуется особая древесина, получившая в мировой ботанической литературе название *реактивной*. Такая древесина образуется под воздействием силы тяжести, вызывающей перераспределение гормонов (ауксина и др.), стимулирующих или подавляющих ростовые процессы; ветровой нагрузки; напряжений роста; осмотического давления и других факторов.

**Крень.** Этот порок строения древесины хвойных пород выражается в кажущемся увеличении ширины поздней зоны годичных слоев. Креневая древесина лишь по цвету напоминает позднюю древесину. Крень образуется преимущественно в сжатой зоне наклоненных или изогнутых стволов, т. е. на нижней, обращенной к земле, стороне.

**Сплошная крень** (рис. 94,а) обнаруживается на торцах стволов, длительно подвергавшихся изгибу, в виде темноокрашенного участка,

занимающего иногда более половины сечения, имеющего овальную форму и эксцентрично расположенные годичные слои. Сердцевина смешена в сторону, противоположную креневой зоне. В креневой древесине годичные слои значительно шире, а в пределах каждого годичного слоя переход от светлой к темной зоне менее резкий, чем в нормальной древесине. Обычно поверхность креневой древесины более гладкая, чем у нормальной. Сплошная крень чаще наблюдается в комлевой части ствола, а в искривленных участках ствола может быть в растянутой зоне. Встречается также в нижней (сжатой) зоне ветвей.

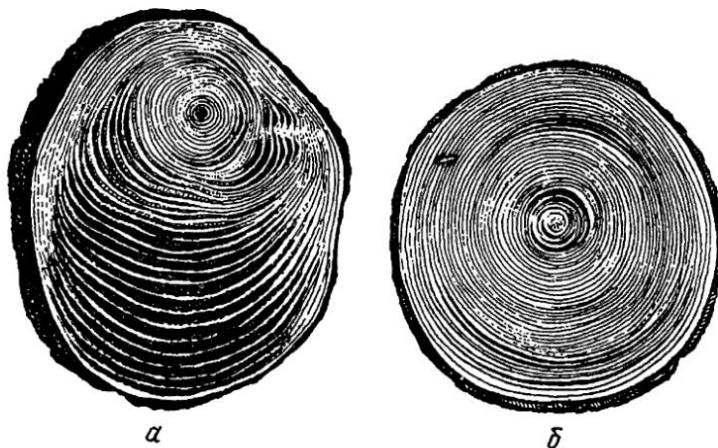


Рис. 94. Крень:  
а – сплошная; б – местная

**Местная крень** (рис. 94,б) возникает при кратковременном изгибе ствола или действии других факторов. На торце ствола заметна в виде дугообразных участков, захватывающих один или несколько годичных слоев.

На боковых поверхностях пилопродукции и шпона сплошная и местная крень видны как тусклые темные полосы различной ширины. Особенно часто встречается и хорошо заметна крень у ели и пихты; в темно-окрашенной ядровой зоне лиственницы, сосны, кедра крень видна хуже.

Крень измеряют по ширине и длине зоны, занятой этим пороком (в линейных мерах или в долях соответствующих размеров сортимента); можно также определять долю (в процентах) площади стороны сортимента, занимаемую пороком.

Креневые трахеиды имеют округлую форму поперечного сечения; поэтому видны крупные межклеточные пространства. Толщина стенок в 2

раза больше, чем в нормальных трахеидах. Слой  $S_3$  в стенках отсутствует, а в слое  $S_2$  микрофибриллы наклонены под углом  $45^\circ$ , т. е. значительно большим, чем обычно. Длина трахеид в креневой зоне, так же как и на других участках быстрого роста, на 10–40% меньше, чем у нормальной древесины.

У креневой древесины снижается примерно на 10% содержание целлюлозы и увеличивается содержание лигнина. Плотность, торцовая твердость, прочность при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе повышаются. В то же время предел прочности при растяжении вдоль волокон и ударная вязкость снижаются. Модули упругости вдоль волокон падают, а модули сдвига и модули упругости при сжатии поперек волокон возрастают.

Усушка поперек волокон у креневой древесины примерно в 2 раза меньше, чем у нормальной. Однако усушка вдоль волокон, из-за большого угла наклона микрофибрилл, значительно увеличивается (в 10 и более раз). Это вызывает продольное коробление и растрескивание пилопродукции.

Предел гигроскопичности у креневой древесины ниже, снижается также проницаемость древесины для жидкости и газов, что связано с меньшими размерами полостей трахеид и окаймленных пор; падает водопоглощение.

Присутствие крени в балансах снижает выход химически чистой целлюлозы, увеличивает расходы на ее отбелку. Из-за крени ухудшается качество древесной массы, используемой в бумажном производстве.

**Тяговая древесина.** Так называется порок строения древесины лиственных пород, родственный по происхождению крени. Однако в отличие от крени этот порок образуется в верхней (растянутой) зоне искривленных или наклоненных стволов и ветвей некоторых пород (бука, тополя и др.). У буков после валки дерева тяговая древесина может быть обнаружена по более светлой окраске с серебристым или перламутровым оттенком. Под действием света, воздуха, а так же при сушке тяговая древесина окрашивается в более темный коричневатый цвет.

На торцах лесоматериалов тяговая древесина имеет вид дугообразных участков, отличающихся цветом и структурой (пушисто-бархатистая поверхность) от нормальной древесины. На радиальной поверхности и в шпоне с хорошо видимыми годичными слоями (дуб, ясень) наблюдается в виде узких полосок – тяжей. В лесоматериалах со слабо выраженными годичными слоями (береза, клен) распознавание порока затруднено. У буков рекомендуется обработать торцовую поверхность сортимента, имеющую влажность 30–40 %, водным раствором хлорцинкюода, при этом тяговая древесина окрасится в сине-фиолетовый цвет. Способы измерения тяговой древесины такие же, как и для крени.

Содержание волокон либриформа увеличивается, они имеют меньший диаметр, но большую длину и значительно утолщенные стенки. В стенках волокон либриформа имеется мощный желатинозный слой, выстилающий внутреннюю поверхность (со стороны полости). Этот слой богат

целлюлозой и не одревесневает. Общее содержание целлюлозы и золы выше, а лигнина и гемицеллюлоз ниже, чем у нормальной древесины.

Плотность тяговой древесины примерно на 10–30 % выше. Усушка тяговой древесины вдоль волокон примерно в 2 раза больше, чем у нормальной древесины; однако снижение усушки поперек волокон меньше, чем у креневой. Прочность при сжатии вдоль волокон меньше, а прочность при растяжении вдоль волокон и ударная вязкость больше, чем у нормальной древесины.

Тяговая древесина затрудняет механическую обработку пиломатериалов, приводя к образованию ворсистых и мшистых поверхностей. Отделяющиеся при резании волокна забивают межзубные впадины пил, и процесс пиления замедляется.

Следует отметить, что у нас этот порок изучался мало. В связи с использованием низкосортной древесины лиственных пород предстоит провести более широкие исследования влияния этого порока на качество древесины.

### *3. Нерегулярные анатомические образования.*

**Ложное ядро.** Такое название получила темноокрашенная внутренняя зона древесины лиственных пород с нерегулярным ядрообразованием (береза, бук, ольха, осина, клен, граб, липа и др.). Граница ложного ядра обычно не совпадает с годичными кольцами. От заболони оно отделено чаще темной, реже светлой (например, у березы) каймой. Иногда темная кайма делит ядро на секции.

На поперечном разрезе ствола в зависимости от формы различают округлое, звездчатое или лопастное ложное ядро (рис. 95). Оно окрашено в темно-бурый или красно-бурый цвет, иногда с лиловым, фиолетовым или темно-зеленым оттенком. На продольных разрезах заметна широкая полоса одного или нескольких из указанных цветов.

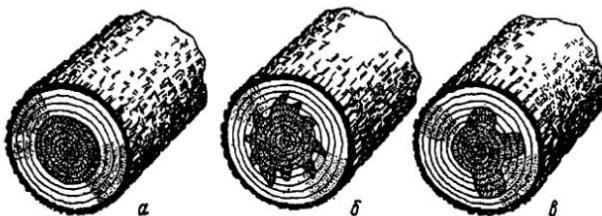


Рис. 95. Ложное ядро:  
а – округлое; б – звездчатое; в – лопастное

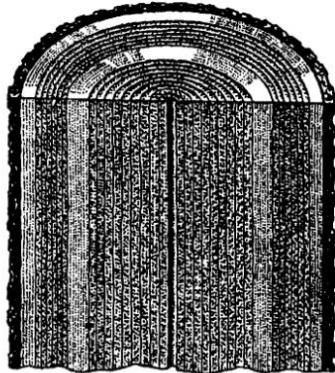
Причинами образования порока могут быть: возрастная дифференциация тканей, раневая реакция дерева, воздействие грибов, влияние сильных морозов.

В круглых лесоматериалах ложное ядро измеряют по наименьшему диаметру круга, в который оно может быть вписано; в фанерном сырье (чураках) измеряют наименьшую ширину свободной от порока периферической зоны (в линейных мерах или долях диаметра торца). В пилопродукции и шпоне измеряют размеры зоны, занятой пороком.

Ложное ядро ухудшает внешний вид древесины. Эта зона древесины имеет пониженные проницаемость, прочность при растяжении вдоль волокон, ударную вязкость. При наличии ложного ядра уменьшается способность древесины к загибу. У березы ложное ядро легко растрескивается. По стойкости к загниванию ложное ядро часто превосходит заболонь.

**Внутренняя заболонь.** В древесине дуба, ясения (иногда и у других лиственных пород) в зоне ядра образуется несколько смежных годичных слоев, похожих по цвету и другим свойствам на заболонь. Этот участок древесины называется в нутренней заболонью. В круглых сортиментах на торцах среди темно-окрашенной древесины ядра заметно одно или несколько колец светлого цвета разной ширины (рис. 96). В пиломатериалах на радиальных или близких к ним поверхностях заметны ровные светлые полосы. На тангенциальных поверхностях внутренняя заболонь наблюдается в виде более или менее широкой полосы, которая при перерезании годичных слоев выклинивается. Внутренняя заболонь образуется вследствие нарушения нормальной деятельности камбия, вызванного морозами.

Рис. 96. Внутренняя заболонь



В круглых сортиментах измеряют наружный диаметр кольца внутренней заболони, а также ширину кольца. В пилопродукции и шпоне измеряют ширину и длину или площадь зоны, занятой пороком.

Внутренняя заболонь, как и нормальная, имеет значительно меньшую стойкость против загнивания, чем ядро; легко пропускает жидкости. Усушка древесины внутренней заболони несколько меньше, чем ядерной древесины.

**Пятнистость.** В древесине растущих деревьев лиственных пород вследствие раневой реакции, воздействия химических факторов, грибов и

насекомых образуются сравнительно небольшие по размеру темноокрашенные участки древесины, по цвету напоминающие ядро и сердцевину.

**Тангенциальная пятнистость** чаще всего встречается у бука и заметна на торцах в виде вытянутых по годичному слою пятен шириной, примерно равной ширине годичного слоя и длиной до 2 см, а иногда и более. На тангенциальных разрезах видны продольные широкие полосы коричневатого или серо-коричневого цвета без красноватого оттенка, на радиальном разрезе – узкие полосы с резко выделяющимися на темном фоне сердцевинными лучами.

**Радиальная пятнистость** встречается у лиственных пород (чаще у березы), обычно ближе к центральной части ствола; на торцах сортиментов заметна в виде небольших пятен темно-бурового, коричневого или темно-серого цвета, вытянутых преимущественно по радиальному направлению, т. е. вдоль сердцевинных лучей. На продольных разрезах пятнистость наблюдается в виде продольных полос, суживающихся по концам. Возникает под воздействием грибов и насекомых, в результате повреждений коры птицами.

**Прожилки**, или сердцевинные повторения, как уже отмечалось, постоянно встречаются в древесине березы (служат для нее диагностическим признаком), а также у других лиственных пород (ольхи, рябины и др.). Прожилки хорошо заметны на радиальном разрезе в виде коричневых черточек, расположенных обычно у границ годичного слоя, на тангенциальном разрезе они имеют петлеобразную форму. В шпоне различают разбросанные и расположенные скученно, в виде переплетающихся полосок, групповые прожилки.

**Сердцевинные повторения**, по мнению ряда исследователей, представляют собой заросшие рыхлой паренхимной тканью следы повреждений камбионального слоя дерева личинками насекомых. Н.Е. Косиченко недавно показал, что это слаборазвитые зоны аномалий древесины, характерных для карельской березы.

В круглых лесоматериалах пятнистость не учитывается. В пилопродукции и шпоне измеряют длину и ширину или площадь зоны пятнистости в процентах от площади соответствующей поверхности сортимента. На механические свойства крупных сортиментов пятнистость существенного влияния не оказывает. Однако в шпоне в местах крупных пятен радиальной пятнистости происходит растрескивание. Большое количество прожилок может снизить прочность шпона при растяжении.

#### *4. Сердцевина, смещенная и двойная сердцевина.*

**Сердцевина**, представляющая собой часть ствола, описана ранее (см. гл. 1 и 2). В круглых сортиментах присутствие сердцевины неизбежно и поэтому пороком не считается. В пилопродукции измеряется глубина залегания сердцевины в миллиметрах или долях толщины, считая от бли-

жайшей пласти или кромки. Сердцевина и примыкающая к ней ювенильная древесина существенно снижают прочность сортиментов малого сечения. В крупных пиленых сортиментах присутствие сердцевины нежелательно из-за многочисленных заросших сучков вокруг нее. Кроме того, при сушке сортименты, выпиленные таким образом, что в них оказывается сердцевина, как правило, растрескиваются вследствие анизотропии усушки. Сердцевина легко загнивает.

**Смешенная сердцевина.** Порок выражается в эксцентричном расположении сердцевины; затрудняет использование круглых лесоматериалов, указывает на наличие реактивной древесины.

**Двойная сердцевина.** В сортиментах, выпиленных из ствола вблизи его разделения на отдельные вершины, могут быть обнаружены две, иногда и более, сердцевины. Каждая сердцевина имеет свою систему годичных слоев и по периферии ствола окружена общей системой годичных слоев. Сечение ствола принимает овальную форму. (рис. 97).

Рис. 97. Двойная сердцевина в стволе сосны




---

В пилопродукции и шпоне измеряют длину участка с двойной сердцевиной, а в круглых лесоматериалах только отмечается наличие этого порока. Пиленные сортименты с двойной сердцевиной сильнее коробятся и растрескиваются. Механическая обработка круглых сортиментов (распиловка и лущение) затрудняется и сопровождается увеличением количества отходов.

##### 5. Пасынок и глазки.

В эту подгруппу включены очень крупные или, наоборот, крайне малые сучки.

**Пасынок** представляет собой отставшую в росте или отмершую вторую вершину ствола, которая пронизывает сортимент под острым углом к его продольной оси на значительном протяжении (рис. 98). В круглых лесоматериалах пасынок имеет вид сильно вытянутого овала, в пилопродукции и шпоне – полосы или овала с самостоятельной системой годичных слоев. Порок измеряют по наименьшему диаметру его сечения. Пасынок нарушает однородность строения древесины, а в пилопродукции – и целостность, снижает прочность, особенно при изгибе и растяжении.



Рис. 98. Пасынок

---

**Глазки** – это следы неразвившихся в побег спящих почек\*, которые обнаруживаются в пилопродукции и шпоне. Диаметр глазков не более 5 мм. Различают глазки\*\* разбросанные и групповые (три и более глазка на расстоянии друг от друга, меньшем 10 мм). Кроме того, в шпоне выделяют светлые, почти не отличающиеся по цвету от окружающей древесины, и темные глазки.

Разбросанные глазки измеряют по количеству их, а групповые – по ширине и длине занимаемой ими зоны. В мелких сортиментах глазки, особенно находящиеся в растянутой зоне опасного сечения, снижают прочность при статическом изгибе и ударную вязкость.

#### 6. Раны.

**Сухобокость.** Так называется наружное одностороннее омертвление ствола. Лишенный коры участок обычно вытянут по длине ствола и углублен по отношению к остальной поверхности, по краям имеет наплывы в виде валиков (рис. 99). Этот порок встречается в древесине всех пород; образуется вследствие обдира, ушиба, ожога или перегрева коры растущего дерева. У хвойных пород сухобокость сопровождается повышенной смолистостью. В области сухобокости часто появляется заболонная грибная окраска, а также ядовитые окраски и гнили, которые смешены в наружные зоны древесины.

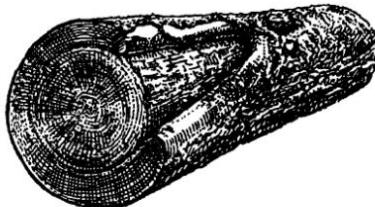
Рис. 99. Сухобокость

Сухобокость измеряют в круглых лесоматериалах по глубине, ширине и длине.

Сухобокость изменяет правильную форму круглых сортиментов, вызывает местное искривление годичных слоев и обычно нарушает целостность древесины у мест наплывов; снижает выход пиломатериалов и шпона.

**Прорость** – это зарастающая или заросшая рана, содержащая кору и омертвелую древесину. При частичном зарастании рана легко обнаруживается на боковой поверхности ствола. В случае полного зарастания прорость заметна только на поперечном разрезе, как отлуповидная щель и внутренняя радиальная трещина, заполненная остатками коры (рис. 100,б).

Различают прорость открытую (рис. 100,а), выходящую только на боковую поверхность сортимента или на боковую поверхность и торец, и закрытую, обнаруживаемую на торцах круглых лесоматериалов



\* Из этих почек образуются так называемые "водяные побеги"

\*\* По стандарту ЕН 844-1 глазки входят в порок "булавочные сучки", а их совокупности называются "кошачья лапа".

(рис. 100,*б*) и пилопродукции. Открытая прорость имеет ширину обычно менее 2 см, что позволяет отличать ее от более широкой раны – сухобокости.

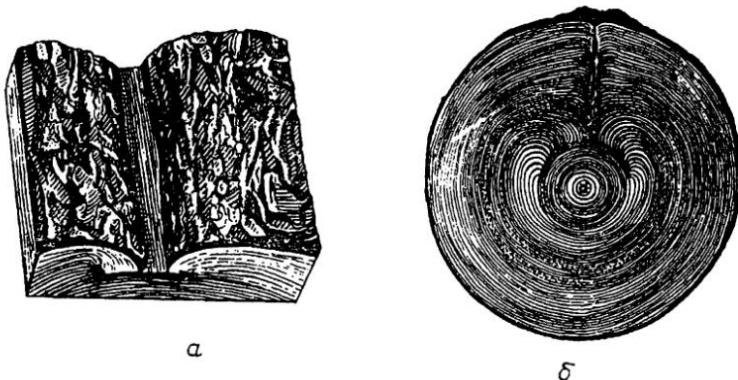


Рис. 100. Прорость:  
а – открытая; б – закрытая

В пилопродукции и шпоне среди открытых проростей выделяют одностороннюю, выходящую на одну или две смежные боковые стороны сортимента, и сквозную, выходящую на две противоположные боковые стороны сортимента.

Кроме того, в шпоне могут быть еще такие разновидности проростей: сросшаяся – след от закрытой прорости в виде вытянутого участка (шва) свилеватой древесины; светлая – близкая по цвету к окружающей древесине, и темная, содержащая включение коры или значительно отличающаяся по цвету от окружающей древесины.

В круглых лесоматериалах открытую и закрытую прорость измеряют по наименьшей толщине сердцевинной вырезки (доски), в которую она может быть вписана.

В пиломатериалах прорость измеряют по глубине, ширине, длине и количеству в штуках на 1 м длины или всю сторону сортимента, в шпоне – по длине и количеству в штуках на 1 м<sup>2</sup> или всю площадь листа.

Прорость нарушает целостность древесины и сопровождается искривлением годичных слоев. Степень влияния проростей на качество древесины зависит от их разновидности, размеров, местоположения, количества, а также от характера сортимента.

**Рак.** Этот порок представляет собой рану, возникающую на поверхности ствола растущего дерева в результате деятельности грибов и бактерий. Рак может быть открытой в виде незаросшей раны с плоским или неровным дном, ступенчатыми краями и напльвами у периферии, или закрытым в виде заросшей раны с ненормальными утолщениями тка-

ней коры и древесины возле пораженных мест. Встречается у лиственных и хвойных пород. У хвойных пород сопровождается сильным смолотечением и засмолением древесины (рис. 101). Открытый рак измеряют по ширине, длине и глубине раны, закрытый — по длине и толщине вздутия в линейных мерах или долях размера сортимента.

Рис. 101. Рак сосны

При этом пороке нарушается правильная форма круглых сортиментов. В связи с изменением строения и повышенной смолистостью древесины у хвойных пород затрудняется использование сортиментов по назначению.

#### *7. Ненормальные отложения в древесине.*

**Засмолок.** Так называется обильно пропитанный смолой участок древесины, образующийся вследствие ранения стволов хвойных пород<sup>\*</sup>, содержащих смоляные ходы и смоляные клетки в древесине. Чаще всего засмолки встречаются у сосны. На круглых сортиментах обнаруживаются по наличию ран и скоплению смолы. Засмоленные участки темнее окружающей нормальной древесины и в тонких сортиментах просвечивают.

Порок измеряют по длине, ширине и глубине или площади засмоленного участка. Засмоленная древесина имеет значительно меньшие водопроницаемость, влаго- и водопоглощение, но большую плотность и пониженную ударную вязкость; теплота сгорания пропитанной смолой древесины, по данным С.И. Ванина, увеличивается (на 30 % при смолистости в 45 %). Засмоленная древесина имеет повышенную стойкость к загниванию, но плохо отделяется и склеивается.

**Кармашек.** Этот порок, который назывался ранее смоляным кармашком, представляется собой полость внутри или между годичными слоями, заполненную смолой или камедями. Такие смоловместилица встречаются у хвойных пород, содержащих смоляные ходы в древесине, особенно часто у ели. На торцах видны дугообразные трещины — луночки, плоской стороной обращенные к центру ствола, а выпуклой — к его периферии (рис. 102). На тангенциальной поверхности кармашки представляют собой углубления в виде овала, вытянутого в продольном направлении, на радиальном разрезе они заметны в виде коротких щелей.



Рис. 102. Кармашки



\* У лиственных пород европейский стандарт предусматривает возможность наличия подобного порока в виде участка с повышенным содержанием камеди.

В пилопродукции различают кармашки: односторонний, выходящий на одну или две смежные стороны сортимента, и сквозной, выходящий на две противоположные стороны. Размеры кармашков у ели сибирской могут колебаться от нескольких миллиметров до 10–15 см. Кармашки возникают в результате подкорового повреждения камбия при нагревании отдельных участков ствола солнечными лучами в морозный период. Мелкие кармашки могут образовываться и от повреждения насекомыми. Для улучшения добычи живицы из ели можно создавать кармашки искусственным путем, нанося специальным инструментом крупные подкоровые повреждения камбия.

Кармашки измеряют по глубине, ширине и длине, а также учитывают их количество в штуках: в пилопродукции – на 1 м длины или всю длину сортимента, в шпоне – на 1 м<sup>2</sup> или всю площадь листа. Вытекающая из кармашков смола препятствует отделке и склеиванию деталей изделий. В мелких деталях кармашки могут существенно снизить прочность древесины.

**Водослой.** Так называются участки ядра или спелой древесины с повышенной влажностью в свежесрубленном состоянии. Этот порок встречается в комплевой части ствола как у хвойных пород (сосны, кедра и особенно часто – ели и пихты), так и у лиственных пород (осины, ильма, тополя и др.).

На торцах лесоматериалов видны темные пятна различной формы, а на продольных разрезах – полосы. После высыхания пятна водослоя бледнеют и на этих участках древесины появляются мелкие трещинки. Зимой водослой заметен в виде мерзлых стекловидных пятен. По высоте ствола водослой распространяется от комля на 3–5 м, а иногда и на 10–11 м. Влажность сосны и ели в зоне водослоя в 3–4 раза превышает влажность здоровой древесины (ядра или спелой древесины).

В круглых лесоматериалах водослой измеряют по наименьшей толщине сердцевинной вырезки (доски), по наименьшему диаметру круга, в которые он может быть вписан, или же по наименьшей ширине свободной от порока периферической зоны торца; по площади зоны, занятой пороком. В пилопродукции измеряют ширину и длину или площадь зоны, занятой пороком.

Причины образования водослоя пока еще окончательно не установлены. Некоторые исследователи считают, что этот порок в древесине ильма, тополя, пихты и других пород вызывается деятельностью бактерий. В ряде работ возникновение водослоя связывают с проникновением дождевой воды через незаросшие сучки.

О.И. Полубояринов высказывает предположение о грибной природе водослоя у осины. По данным указанного автора появление водослоя в осине приводит к снижению механических свойств в среднем на 10%; особенно заметно падает ударная вязкость. Водослойная древесина отличается от здоровой повышенной усушкой и разбуханием. Замечено повышение предела гигроскопичности. Водослой затрудняет пропитку древеси-

ны антисептиками. Повышенная способность к водопоглощению может служить причиной утопа при сплаве. По исследованиям ЦНИИМОДа (В.Д. Дышловая и А.П. Поцелуйко) образование водослоя у ели и сосны связано с перенасыщенностью почвы влагой. Отмечается значительная хрупкость водослойной древесины указанных пород. Наличие трещин в центральной зоне водослоя у растущих деревьев и образование трещин при подсыхании срубленной древесины снижает выход высококачественных пиломатериалов.

### § 39. Химические окраски

Окраски этой группы возникают на свежесрубленной или сплавной древесине в результате химических и биохимических процессов. От красок грибного происхождения химические окраски отличаются большей равномерностью и расположением в поверхностных слоях древесины (на глубине 1–5 мм). После просыхания древесины окраски в большей или меньшей мере выцветают.

Продубина представляет собой красновато-коричневую или синевато-бурую окраску глубиной до 5 мм у сплавной древесины, появляющуюся в результате окисления дубильных веществ. Желтизна наблюдается на сплавной древесине хвойных пород в виде сплошной поверхностной окраски лимонно-желтого цвета. Окраска возникает вследствие химических изменений в содержимом живых клеток заболони при недостатке кислорода. При этом образуются желтого цвета вещества, которые в результате интенсивной сушки выносятся к поверхности и окрашивают древесину.

В шпоне химические окраски в зависимости от цвета и способности маскировать текстуру делят на светлые и темные. Химические окраски не влияют на физико-механические свойства древесины, лишь ухудшая ее внешний вид. Наличие этого порока учитывают в шпоне и других облицовочных материалах.

### § 40. Грибные поражения

Грибы относятся к низшим споровым растениям; их тело не делится на стебель и листья, как у высших растений\*. Характерное отличие грибов – отсутствие у них хлорофилла. Поэтому они нуждаются в готовых органических веществах. Различают грибы сапротрофы и паразиты. Первые находят питательные вещества в тканях мертвых растений, а вторые – в живых растениях. Кроме того, имеются полупаразиты, которые могут жить как паразиты и как сапротрофы; к этой группе относятся многие из грибов, вызывающие разрушение древесины.

---

\* В настоящее время грибы (*Mycota*) выделяют в самостоятельное царство живой природы

Грибы размножаются спорами, представляющими собой мелкие клетки, покрытые толстой оболочкой. Они переносятся воздушными течениями или водой, распространяются насекомыми. В растущие деревья споры проникают через раны, появляющиеся в результате отмирания ветвей или вследствие повреждений, наносимых человеком, животными, насекомыми и др. Неповрежденная кора препятствует проникновению спор.

При благоприятных условиях споры прорастают, образуя гифы (тонкие бесцветные или окрашенные нити), которые, разветвляясь и сплетаясь, образуют мицелий гриба, или грибницу во всех ее видоизменениях (пленки, шнуры, ризоморфы); из гиф же состоит и плодовое тело гриба, служащее для образования спор. При влажности древесины ниже 20 % грибы развиваться не могут; невозможно также развитие грибов в древесине, полностью насыщенной водой, так как в ней недостает воздуха. При температуре ниже 2 °С и выше 40–45 °С развитие грибов прекращается.

Некоторые грибы потребляют только содержимое клеток, другие разрушают и клеточные стенки. Для перевода питательных веществ в растворимое состояние, когда они легко усваиваются организмом, грибы выделяют органические вещества белковой природы – ферменты.

Под воздействием грибов в древесине происходят двоякого рода изменения. В одном случае физико-механические свойства древесины практически сохраняются – она лишь принимает ту или иную окраску, зависящую от выделяемых грибом пигментов или цвета гиф. Такого рода изменения вызывают грибы, получившие название деревоокрашивающих. Проникая в древесину, гифы этих грибов распространяются по полостям сосудов и трахеид. Сюда они попадают из паренхимных клеток, где имеются легкорастворимые питательные вещества. Редко гифы этих грибов переходят из клетки в клетку через отверстия, проделанные ими самими в стенках.

В других случаях грибы вызывают изменение физико-механических свойств древесины и в конце концов разрушают ее; такого рода изменения называются гниением древесины, а вызывающие их грибы – дереворазрушающими.

Первичные изменения клеточных стенок заключаются в появлении в них отверстий, проделанных гифами. Дальнейшие изменения зависят от выделяемых гифами ферментов и последовательности их действия. Различают два типа гниения – коррозионный и деструктивный. В первом случае древесина приобретает характерную ячеистую структуру. На определенных стадиях процесса гниения в древесине появляются выцветы или белые пятна целлюлозы. Исследование химического состава гнилой древесины показало, что при этом типе гниения уменьшается содержание лигнина, количество же целлюлозы почти не меняется. Примером коррозионной (ячеистой) гнили может служить гниль сосны от

сосновой губки *Phellinus pini* (Thore ex Fr.) Pil. или ели от корневой губки *Fomitopsis annosa* (Fr.) Karst. и др.

При деструктивном типе гниения происходит равномерное растворение стенок клеток без образования в них крупных отверстий. В древесине появляются многочисленные трещины вдоль и поперек волокон, и она распадается на отдельные призматические кусочки; относительное содержание лигнина возрастает за счет уменьшения количества целлюлозы. Гнили деструктивного типа вызывают, например, домовые грибы *Serpula lacrimans* (Wulf ex Fr.) Bond. и др.

Таким образом, все грибы в начале развития вызывают изменение цвета древесины: пораженные места становятся бурыми, коричневыми, красноватыми и др. В дальнейшем деревоокрашающие грибы почти не изменяют свойств древесины, а дереворазрушающие вызывают постепенное полное разрушение древесины (т. е. гниль). Более подробные сведения о грибах изложены в курсах лесной фитопатологии [69].

**Грибные ядовые пятна и полосы.** Это порок, выражающийся в изменении цвета древесины центральной зоны ствола (настоящего, ложного ядра или спелой древесины) без снижения ее твердости. Порок возникает под действием деревоокрашающих или дереворазрушающих грибов, встречается в древесине растущих деревьев всех пород. В срубленной древесине дальнейшее развитие порока обычно прекращается.

В области ядра или спелой древесины на торцах видны крупные пятна различных очертаний – лунки, кольца или сплошные зоны поражения, на продольных разрезах заметны продольные полосы. Пятна и полосы могут иметь различный цвет – бурый, красноватый, коричневый, реже черный и серо-фиолетовый. В круглых лесоматериалах ядовье пятна и полосы измеряют одним из способов, указанных для водослоя. В пилопродукции и шпоне окрашенная зона измеряется в линейных мерах или в долях ширины, длины и толщины, а также в процентах площади соответствующей стороны сортимента. Исследованиями ЦНИИМОДа (С.Н. Горшин, А.Л. Михайличенко и Н.П. Нечаева) установлено, что грибы *Phellinus pini* Thore ex Fr. и *Phellinus pini* var. *abietis* (Karst) Pil., вызывающие появление грибных окрасок и пятен в сосне и ели, практически не снижают прочность при статических нагрузках, а твердость может быть даже немного выше, чем в здоровой древесине. В то же время ударная вязкость сильно снижается (на 30 – 40 %). Водопоглощение и водопроницаемость повышаются, ухудшаются биостойкость и внешний вид древесины.

**Ядовая гниль.** Порок образуется в древесине растущего дерева под действием разрушающих грибов. При этом снижается твердость и прочность древесины; происходит изменение ее структуры и цвета.

В растущем дереве различают напённую и стволовую гниль (рис. 103, а, б). Н а п ё н а я гниль возникает в корнях или в поврежденных местах комлевой части ствола. Постепенно суживаясь, она распространяется

вверх по стволу иногда на несколько метров. Столовая гниль начинается от обломанных ветвей или ран на стволе, распространяясь от места заражения вверх и вниз; имеет форму сигары. До комлевой части ствола гниль обычно не доходит. На торцах лесоматериалов гниль наблюдается в виде крупных пятен различных очертаний – лунок, колец или сплошной зоны поражения в центральной части ствола; иногда зона поражения смешена от центра и даже выходит на периферию. На продольных разрезах гниль заметна в виде полос.

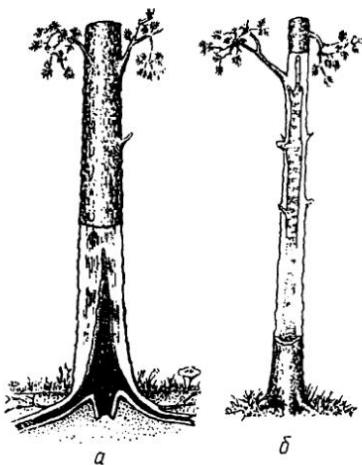


Рис. 103. Расположение ядровых гнилей в растущем дереве:  
а – напённая гниль; б – столовая гниль

**Пестрая ситовая гниль** проявляется в том, что на красновато-буrom фоне пораженной древесины заметны многочисленные мелкие белые или желтоватые пятнышки, вытянутые вдоль волокон. Древесина может долгое время сохранять целостность. При более сильном разрушении древесина приобретает ячеистую или волокнистую структуру (рис. 104, а), становится мягкой и легко расщепляется. Встречается в древесине хвойных и лиственных пород.

**Бурая трещиноватая гниль** (рис. 104, б) характеризуется бурым с различными оттенками цветом и трещиноватой структурой пораженной древесины. Многочисленные трещины, направленные вдоль и по-перек волокон, иногда содержат скопления беловатых пленок грибницы. По трещинам древесина распадается на призматического вида кусочки, легко деформируется и растирается между пальцами в порошок. Встречается у хвойных и лиственных пород.

**Белая волокнистая гниль** имеет светло-желтый или почти белый цвет, иногда на древесине видны узкие извилистые черные линии. Такая пестрая окраска напоминает рисунок мрамора. Гниль встречается в стволах деревьев лиственных пород. При сильном разрушении древесины пораженная зона становится мягкой, легко расщепляется на волокна и крошится.

Порок измеряют такими же способами, как ядерные пятна и полосы. В срубленной древесине дальнейшее развитие пестрой ситовой гнили пре-

кращается, развитие бурой трещиноватой и белой волокнистой гнили иногда может продолжаться.

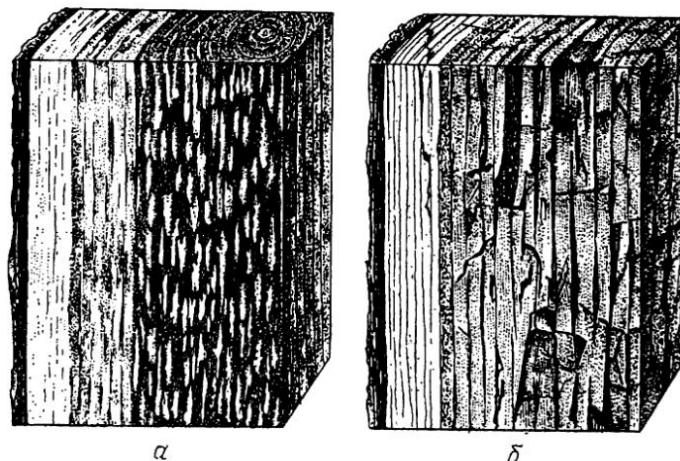


Рис. 104. Яdroвые гнили:  
а – пестрая сизовая; б – бурая трещиноватая

Различаются три стадии развития гнили: первую, когда изменился только цвет древесины; вторую, когда древесина частично изменяет структуру и твердость; третью, когда древесина полностью утрачивает твердость и прочность.

Плотность в конечной стадии снижается в 2–2,5 раза, водопоглощение и водопроницаемость повышаются. При высыхании гнилая древесина больше коробится. Механические свойства при деструктивном типе гниения снижаются сильнее, чем при коррозионном.

Качество древесины с гнилью в зависимости от стадии гнили и размеров поражения понижается вплоть до того, что древесина оказывается полностью непригодной для использования.

**Дупло.** Порок представляет собой полость в стволе растущего дерева, образовавшуюся в результате полного разрушения древесины. Это, по существу, четвертая стадия гнили от воздействия одного или чаще нескольких дереворазрушающих грибов. Измеряют порок так же, как ядроющую гниль.

**Плесень.** Плесень представляет собой налетную поверхностную окраску, образуемую грибницей с органами плодоношения плесневых грибов. Окраска чаще всего появляется на сырой заболони при хранении лесоматериалов; встречается на древесине всех пород. Плесень наблюдается в виде отдельных пятен или сплошного налета сине-зеленого, голубого, зеленого, черного, розового и других цветов в зависимости от окраски спор и

грибницы, а также от выделяемого пигмента. После просыхания налет легко сметается, оставляя иногда на поверхности грязноватые или цветные пятна.

Плесень измеряют в пилопродукции и шпоне по длине и ширине или площади зоны поражения. Она обычно не оказывает влияния на физико-механические свойства древесины, однако в определенных условиях при длительном воздействии грибы плесени, по данным ЦНИИМОДа, могут вызывать серьезные разрушения древесины. Плесневые грибы разрушают животные клеи. Этот порок не допускается в древесине, используемой для изготовления тары под пищевые продукты.

**Заболонные грибные окраски.** В заболони свежесрубленной или сухостойной древесины часто образуются более или менее глубокие окраски (твёрдость древесины не снижается). Они возникают главным образом под действием деревоокрашивающих грибов. Поражение распространяется через торцы и боковую поверхность. На торцах круглых сортиментов оно наблюдается в виде радиальных клиновидных пятен; иногда встречается сплошная окраска заболони. На боковых поверхностях круглых сортиментов и в пиломатериалах окраски образуют полосы или вытянутые пятна.

Разновидности порока: синева — серая окраска с синеватыми или зеленоватыми оттенками и цветные заболонные пятна — окраски оранжевого, желтого, розового, светло-фиолетового и коричневого цвета. Если древесина под действием грибов окрашивается в бледные тона и текстура древесины хорошо видна, то такие окраски называются светлыми. Густые окраски, маскирующие текстуру древесины, называются темными.

В круглых лесоматериалах и пилопродукции различают неполностные и глубокие окраски, распространяющиеся соответственно на глубину меньше или больше 2 мм. Кроме того, могут быть подслойные окраски, развивающиеся во внутренних слоях сортимента и не выходящие на поверхность.

В круглых лесоматериалах заболонные грибные окраски измеряют по глубине зоны поражения от боковой поверхности; по площади зоны поражения (в процентах от площади всего торца или одной заболони). В пилопродукции и шпоне измеряют глубину, длину и ширину или площадь зоны поражения. Наличие подслойных окрасок устанавливают выборочной торцовкой лесоматериалов.

Из заболонных окрасок наиболее распространена синева, поражающая древесину всех пород, но чаще хвойных; вызывается многими видами грибов. Оптимальная температура для большинства видов грибов синевы составляет 26–27 °С. Наиболее благоприятная влажность для развития грибов 35–80 %.

По исследованиям ЦНИИМОДа (С.Н. Горшин, Е.И. Мейер, И.Г. Крапивина и др.), проведенным на древесине сосны, некоторые из грибов си-

невы питаются только внутренним содержимым клеток, другие могут разрушать клеточную стенку. Так, гриб *Discula brunneo tingens* H. Meyer, действие которого на древесину ограничивается в основном разрушением торусов пор и паренхимных клеток сердцевинных лучей, снижает ударную вязкость на 6,5 %, а гриб *Ophiostoma pini*, вызывающий сильное разрушение вторичной оболочки трахеид и многочисленные ее прободения, – на 34 %.

Засинелая древесина в большинстве случаев отличается повышенной скоростью водопоглощения. Некоторые виды грибов синевы стимулируют развитие сильных дереворазрушающих грибов.

Вместе с тем воздействие грибов синевы на древесину, если оно не приводит к существенному снижению прочности, оказывается полезным для облегчения пропитки древесины антисептиками. По данным А.Т. Вакина, засинелая древесина ели (шпалы) пропитывается антисептиками значительно лучше, чем здоровая. Наличие синевы в балансах не оказывает влияния на выход целлюлозы и качество изготавляемой из нее бумаги.

Заболонные грибные окраски ухудшают вид древесины; темные окраски могут скрывать появление гнилей в начальной стадии их развития. Грибы, окрашивающие заболонь, могут разрушать клеи и лакокрасочные покрытия на древесине.

**Побурение.** При хранении свежесрубленной древесины лиственных пород (особенно березы, бука, ольхи) в теплое время года заболонь приобретает бурую окраску различной интенсивности и равномерности, иногда со слабо выраженным серыми или белесыми пятнами и полосами. Этот порок носит название побурение (прежнее название – задыхание).

Исследованиями ЦНИИМОД (И.А. Чернцов) установлено, что побурение представляет собой явление, в котором совмещаются три различных по своей природе процесса, протекающих одновременно или последовательно. Во-первых, происходит закупорка водопроводящих путей, замедляющая испарение воды из древесины и препродающая доступ в нее воздуха (раневая реакция живых клеток заболони). Во-вторых, по мере подсыхания древесины происходит отмирание живых клеток заболони, окисление их содержимого кислородом воздуха и появление бурой окраски древесины. В-третьих, на древесине поселяются грибы, что приводит к дальнейшему изменению ее цвета. Побурение предшествует заболонной гнили.

Побурение бревен обычно начинается с торцов и распространяется в глубь древесины вдоль волокон, при этом в первую очередь поражаются внутренние слои заболони с ослабленной жизнедеятельностью клеток, затем побурение захватывает всю заболонь. После отмирания коры побурение распространяется и с боковой поверхности бревен, продвигаясь языками в радиальном направлении к центру. Пиломатериалы, особенно крупных сечений, также подвержены побурению, которое сосредоточено преимущественно в центральной зоне, еще не успевшей высохнуть. Побуре-

рение на пиломатериалах наблюдается в виде внутренних пятен и полос или сплошного поражения заболони. На обветренных поверхностях долго хранившихся пиломатериалов побурение бывает незаметно; для того чтобы обнаружить его, необходимо расколоть или распилить сортимент.

Побурение измеряют такими же способами, как и грибные заболонные окраски. По данным ЦНИИМОДа, при побурении у береск и бука прочность при статических нагрузках и твердость существенно не снижаются, однако ударная вязкость снижается довольно сильно (у бука до 30 %), а также ухудшается способность древесины к загибу. У бука в связи с затылованностью сосудов уменьшается водопроницаемость. Побурение портит внешний вид древесины.

А. Т. Вакин показал, что наиболее надежно можно защитить от побурения свежезаготовленные лиственные кряжи при сохранении их влажности. Пиломатериалы должны высушиваться или пропариваться. Пропарка свежераспиленных буковых пиломатериалов одновременно благораживает внешний вид древесины.

**Заболонная гниль.** В заболони срубленной или сухостойной древесины хвойных и лиственных пород под воздействием дереворазрушающих грибов появляется ненормальная окраска, твердость древесины при этом сохраняется или снижается. Заболонная гниль развивается при длительном неправильном хранении круглых лесоматериалов, а также пиломатериалов. Гниль наблюдается в виде пятен и полос, а иногда захватывает всю заболонь. У хвойных пород зоны поражения желтовато-бурого цвета. У лиственных пород гниль имеет чаще всего пеструю окраску, напоминающую рисунок мрамора (рис. 105); грязно-белые участки ограничены от бурых тонкими черными линиями; обычно следует за побурением. Зона поражения может иногда захватить ядро и спелую древесину (особенно у лиственных пород). При т в е р д о й гнили древесина лишь изменяет окраску, а переходя в м я г к у ю – она становится более светлой, легкой, рыхлой и почти полностью теряет способность сопротивляться нагрузкам.

Заболонную гниль измеряют такими же способами, как и побурение. Даже твердая заболонная гниль, по данным ЦНИИМОДа, у хвойных пород (сосна, ель) снижает предел прочности при сжатии древесины вдоль волокон до 25–30 %, а при статическом изгибе (по данным ЛТА) – до 22 %. Водопоглощение и водопроницаемость увеличивается. Заметно ухудшаются механические свойства и у пораженной древесины лиственных пород (береска, бук, граб), особенно ударная вязкость.

**Наружная трухлявая гниль.** Гниль возникает в заболони и ядре лесоматериалов всех пород вследствие поражения древесины сильными дереворазрушающими грибами при длительном неправильном ее хранении. Такая же гниль появляется при неблагоприятных условиях эксплуатации деревянных элементов конструкций и изделий. Загнивание наблюдается преимущественно в наружных частях как заболонной, так и ядровой зоны

сортимента или детали, охватывает все поперечное сечение или часть его и распространяется в глубь древесины. В некоторых случаях поражение может начинаться во внутренних слоях древесины, куда споры грибов проникают через глубокие наружные трещины. Древесина вначале окрашивается в светло-бурый цвет разных оттенков, затем темнеет, становится бурой или темно-коричневой. На древесине появляются продольные и поперечные трещины, она распадается на призматические кусочки, легко крошится и растирается в порошок, т. е. образуется типичная деструктивная гниль. На поверхности пораженной древесины нередко наблюдаются грибницы и плодовые тела (рис. 106). При хранении непросушенной древесины процесс ее разрушения продолжается.

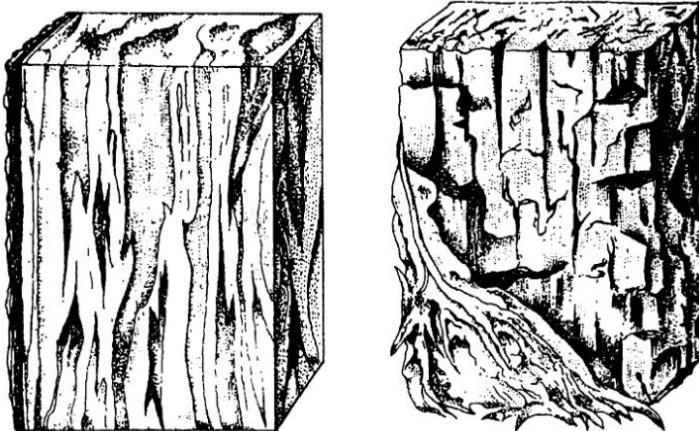


Рис. 105. Заболонная гниль с рисунком, напоминающим мрамор

Рис. 106. Наружная трухлявая гниль

Пораженная древесина имеет резко сниженные механические свойства и является опасным источником грибной инфекции для деревянных зданий и сооружений. Образование гнили в деревянных элементах зданий и сооружений происходит под действием домовых, столбовых, шпальных и других видов грибов. В зданиях на деревянных элементах, подвергающихся периодическому увлажнению за счет конденсации водяных паров воздуха, развиваются домовые грибы: настоящий домовый гриб *Serpula lacrimans* (Wulf. ex. Fr.) Bond., белый домовый гриб *Coriolus vaporarius* (Fr.) Bond. et Sing., пленчатый домовый гриб *Coniophora cerebella* (Pers.) Schroet и пластинчатый домовый гриб *Paxillus panuoides* Fr.

Домовые грибы обладают способностью сильно увлажнять древесину за счет воды, выделяющейся при разложении целлюлозы. Если эта вода не испаряется, она может вполне удовлетворить потребность грибов. По-

этому домовые грибы в замкнутых и плохо вентилируемых пространствах зданий могут переходить и на сухую древесину, вызывая постепенное ее увлажнение и разрушение.

Настоящий домовый гриб – наиболее опасный разрушитель древесины в постройках, поселяется на стенах, полах, перегородках. Оптимальная влажность для его развития 25–30 %, однако гриб может развиваться и при более высокой влажности (до 150 %), оптимальная температура 18–20 °C, возможно развитие грибов также при 2–35 °C. Настоящий домовый гриб при благоприятных условиях развития может разрушить новое строение в 1–2 года.

Белый домовый гриб интенсивно развивается при оптимальной влажности древесины 40–60 % в сырых зданиях, в погребах, на чердачных конструкциях. Примерно в таких же условиях развивается пленчатый гриб; пораженная древесина имеет многочисленные мелкие трещины и распадается на более мелкие, чем при поражении настоящим домовым грибом, призматические кусочки. Пластинчатый гриб встречается в жилых домах, а также в шахтах и других подземных сооружениях. В открытых сооружениях древесину разрушают грибы, приспособленные к развитию в условиях периодического увлажнения. Наиболее распространенный представитель этой группы – столбовой гриб *Gloeophyllum sepiarium* (Wulf. ex. Fr.) Karst. Грибы, приспособленные к развитию в условиях контакта с землей, поражают железнодорожные шпалы, основания телеграфных столбов и т.д.; характерный представитель их – шпальный гриб *Lentinus lepideus* (Buxb.) Fr.

#### § 41. Биологические повреждения

**Червоточина.** Так называются повреждения древесины насекомыми. Порок встречается в свежезаготовленных лесоматериалах, а также в сухостойных и ослабленных деревьях в лесу.

На поверхности лесоматериалов видны круглые или овальные отверстия, бороздки или канавки. Основные разрушения производят не взрослые насекомые, а их личинки, использующие древесину и кору для своего питания. Древесину повреждают различные насекомые: жуки (усачи, златки, короеды, долгоносики, точильщики), рогохвосты (древесные осы), бабочки (древоточцы и стеклянницы), термиты и др. [20]. В большинстве случае лесные насекомые, закончив цикл развития во влажной древесине, после высыхания вторично ее не заселяют. При хранении насекомые повреждают в большей степени хвойные лесоматериалы. Насекомые, разрушающие древесину, интенсивно развиваются при теплой и сухой погоде. Оптимальная температура, благоприятствующая жизнедеятельности насекомых, 18–24 °C, а относительная влажность воздуха 60–80 %.

Поверхностной называется червоточина, распространяющаяся на глубину не более 3 мм. Этот вид повреждения вызывают главным образом короеды. На поверхности древесины видны мелкие отверстия или ходы, образующие характерный рисунок (рис. 107,а).

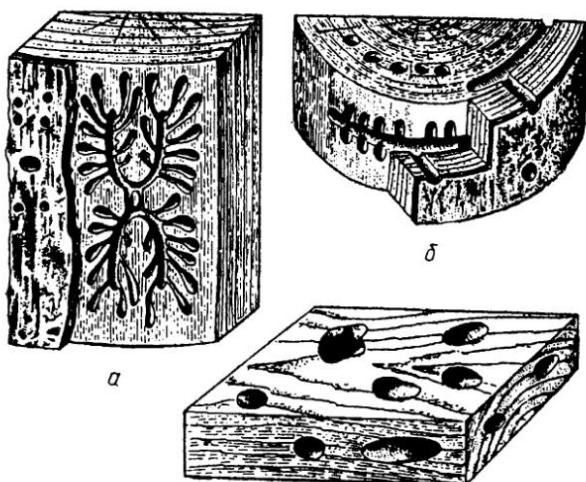


Рис. 107. Червоточина:  
а – поверхностная; б – глубокая в круглых лесоматериалах;  
в – глубокая в пилопродукции

Неглубокой называется червоточина, которая в круглых лесоматериалах распространяется на глубину до 15 мм, а в пилопродукции до 5 мм. Такие повреждения вызывают личинки некоторых усачей и златок.

Глубокой называется червоточина в виде ходов, пронизывающих круглые лесоматериалы на глубину более 15 мм (рис. 117,б), а пилопродукцию (рис. 117,в) – более 5 мм. Червоточину вызывают в хвойных деревьях черные хвойные усачи, древесинники и рогохвосты. В лиственных – различные усачи и другие насекомые. Глубокую червоточину подразделяют на некрупную и крупную с диаметром отверстий соответственно менее или более 3 мм. Сквозной называется червоточина, выходящая на две противоположные стороны сортимента.

В круглых лесоматериалах массовые неглубокие и глубокие червоточины измеряют по длине зоны поражения, а единичные – по их количеству на 1 м длины сортимента, в пиломатериалах и шпоне – по их количеству соответственно на 1 м длины и 1 м<sup>2</sup> площади или на весь сортимент.

Поверхностная червоточина не оказывает существенного влияния на физико-механические свойства древесины. При распиловке и лущении

круглых лесоматериалов она обычно оказывается в отходах – горбылях, рейках и др. Однако короеды служат разносчиками спор грибов. Кроме того, короеды, нарушая целостность коры, облегчают проникновение воздуха и испарение воды, что создает условия для развития грибов. Неглубокая и глубокая червоточина в значительной мере нарушают целостность древесины и при большом количестве ходов резко снижает ее механические свойства.

Кроме рассматриваемых по ГОСТ 2140-81 разновидностей червоточины различают трухлявую червоточину, которая вызывается группой домовых вредителей, способных развиваться на сухой древесине: мебельным и домовым точильщиками, домовым усачом, термитами и др. При трухлявой червоточине количество глубоких ходов настолько велико, что древесина внутри превращается в трухлявую массу с большим содержанием буровой муки, в то время как с поверхности нет других повреждений, кроме входных и летних отверстий.

К трухлявой червоточине относят [49] и повреждения морскими древоточцами – моллюсками (корабельные черви) и раками портовых сооружений и судов. В сваях и столбах ходы корабельного червя сначала идут перпендикулярно поверхности на глубину 10–30 мм, затем поворачивают и идут по годичным слоям вверх и вниз; при этом отдельные ходы никогда не пересекаются и не сливаются.

**Повреждения древесины паразитными растениями.** Порок представляет собой отверстия в пилопродукции, оставшиеся от жизнедеятельности паразитных растений. Вечнозеленые растения (омела) или растения с опадающими на зиму листьями (ремнцветник) получают от растения-хозяина в основном воду и растворенные в ней минеральные соли через присоски, которые проникают в древесину, нарушая ее целостность. Семена паразитов разносятся птицами. Омела встречается у многих лиственных и хвойных пород, ремнцветник – у дуба и каштана. Порок измеряют также, как червоточину.

**Повреждения птицами.** В круглых лесоматериалах иногда наблюдаются небольшие, расположенные рядами, отверстия, которые представляют собой наклевы птиц (например, дятла). Повреждение птицами измеряют по глубине, ширине и длине. Порок, нарушая целостность древесины, увеличивает количество отходов при распиловке и лущении.

#### § 42. Инеродные включения, механические повреждения и пороки обработки

**1. Инеродные включения и обугленность. Инеродные включения.** В лесоматериалах встречаются тела недревесного происхождения – камни, проволока, гвозди, металлические осколки.

**Обугленность.** Это участки обгорелой и обуглившейся поверхности лесоматериалов, возникающие при лесных пожарах, сжигании порубочных остатков и т. д.

**2. Механические повреждения стволов деревьев и лесоматериалов.** Сюда входят повреждения боковой поверхности: обтир коры у круглых лесоматериалов; карра – повреждение ствола при подсечке (см. рис. 21), сопровождающееся засмолением древесины, характерна для круглых лесоматериалов (переходит в пилопродукцию); у тех же видов лесоматериалов встречается заруб и багорные наколы, а также вырывы.

К приторцованным повреждениям относятся: отщеп, скол, скос пропила, козырек – выступающий участок древесины.

**3. Дефекты обработки в пилопродукции.** В эту подгруппу входят дефекты, вызванные недостаточной или излишней обработкой: непротезировка и недошлифовка – необработанные участки поверхности пилопродукции, подвергавшейся фрезерованию или шлифованию; выхват и прошлифовка – участки, расположенные ниже основной фрезерованной или шлифованной поверхности. Сюда же относится обзол – участок боковой поверхности бревна, сохранившийся на обрезном пиломатериале. Различают обзол острый и тупой, занимающий соответственно всю или часть ширины кромки.

При повышенном трении инструмента появляется ожог древесины. Кроме того, имеются другие дефекты обработки древесины резанием: волнистость – неплоский пропил или неровности на поверхности пилопродукции, образующие волнистый профиль; бахрома – сплошная или прерывистая лента пучков неполностью отделенных волокон и частиц древесины на ребрах сортимента, заусенцы, задиры (у сучков, завитков и т. д.), выщербины и рваный торец.

**4. Дефекты обработки в пилопродукции и шпоне.** Риски – повторяющиеся глубокие следы на поверхности от режущего инструмента; ворсистость и мшистость поверхности, выражаяющаяся в присутствии на ней часто расположенных соответственно неполностью отделенных волокон или пучков волокон (и мелких частиц древесины); вмятина и царапина – от тупого или острого предмета; гребешок – выступающий участок необработанной поверхности, образовавшийся из-за дефекта режущей кромки инструмента.

Два дефекта специфичны только для шпона: закорина – участок коры, сохранившийся на поверхности шпона, и рябь шпона, выражающаяся в часто расположенных, ориентированных вдоль волокон, мелких углублениях на поверхности.

Перечисленные пороки могут снижать стойкость свежезаготовленных лесоматериалов к загниванию и растрескиванию (обтир коры), затруднять их использование по назначению и увеличивать количество отходов (ма-