

**Е. К. Ашкенази, Э. В. Ганов, С. М. Соколова,  
Ю. А. Смирнов, Г. М. Шутов, Ю. В. Самонов**

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАЦИИ НА АНИЗОТРОПИЮ ДРЕВЕСИНЫ**

Модификация древесины преследует, в первую очередь, цели увеличения ее влаго- и водостойкости, достижения стабильности размеров изделий. Второй важной задачей модификации является уменьшение анизотропии древесины путем увеличения ее прочности в направлениях, не совпадающих с направлением волокон.

Химическая (полимерами) и радиационно-химическая модификация древесины может уменьшить анизотропию, не изменяя ее структуры и увеличивая характеристики механических свойств, низкая величина которых является недостатком этого конструкционного материала. О преимуществах модифицированной древесины нельзя судить только по тому, насколько увеличивается ее предел прочности в направлении волокон; необходимо оценивать влияние модификации на анизотропию.

Для оценки прочности древесины как ортотропного материала при любом, произвольно ориентированном, однородном напряженном состоянии необходимо экспериментальное определение всех характеристик прочности, входящих в уравнение критерия прочности. При этом характеристики сопротивляемости материала действию нормальных напряжений необходимо определять по испытаниям на растяжение и сжатие (табл. 1).

В настоящей работе рассматривается вопрос лишь о кратковременной прочности модифицированной древесины как анизотропного (ортотропного) материала.

Методика оценки анизотропии прочности древесины подробно освещена в работе.

Модификация древесины березы проводилась (после изготовления образцов) по методике, предложенной в работе [4]. Результаты испытаний приведены в табл. 2. Как видно из табл. 2, радиационно-химическая модификация заметно повышает прочность древесины при сжатии усилиями, ориентированными в направлении осей симметрии  $a$ ,  $r$  и  $t$ . Особенно сильно при этом повышаются пределы прочности в направлениях  $r$  и  $t$ , перпендикулярных волокнам. Степень анизотропии древесины при сжатии значительно

Таблица 1

## Характеристики сопротивляемости ортотропного материала нормальным напряжением

Обозначение	Вид одноосного и однородного напряженного состояния (вид испытания)	Ориентировка оси образца (направление усилия)
$\sigma_a$	Растяжение Сжатие	Параллельно волокнам древесины (по направлению $a$ )
$\sigma_r$	Растяжение Сжатие	По радиусам годовичных колец (по направлению $r$ )
$\sigma_t$	Растяжение Сжатие	По направлению $t$ касательной к годовичным кольцам
$\sigma_{at}^{45}$	Растяжение Сжатие	В тангенциальной плоскости под углом $45^\circ$ к волокнам
$\sigma_{ar}^{45}$	Растяжение Сжатие	В радиальной плоскости под углом $45^\circ$ к волокнам
$\sigma_{rt}^{45}$	Растяжение Сжатие	В плоскости, перпендикулярной к волокнам под углом $45^\circ$ к радиусам годовичных колец

снижается в результате модификации. Материал становится более хрупким, а поэтому его сопротивление сжатию значительно больше, чем сопротивление растяжению. Предел прочности при растяжении практически не повышается при модификации. Анизотропия при растяжении также почти не изменяется. Предел прочности на скалывание повышается при модификации, но не так сильно, как предел прочности на сжатие.

Пределы прочности модифицированной древесины при сжатии определялись как по разрушающей нагрузке (ПП), так и по точке отклонения диаграммы сжатия от прямой линии (УПП — условный предел прочности). Для натуральной древесины при сжатии поперек волокон ( $\sigma_r$ ,  $\sigma_t$ ,  $\sigma_{rt}^{45}$ ) определялись только условные пределы прочности (УПП), поскольку в отличие от модифицированной древесины при этих ориентировках у натуральной древесины разрушения не наблюдалось. На сжатие испытаны образцы модифицированной древесины размерами  $20 \times 20 \times 30$  мм и  $20 \times 20 \times 20$  мм. Прочность последних оказалась несколько ниже, по-видимому, вследствие более низкого процента привеса полимера (см. последний столбец в табл. 2).

Образцы модифицированной древесины разрушались при сжатии очень хрупко. Трещины проходили либо вертикально, как обычно проходят трещины при сжатии кубиков из очень хрупких материалов (камня, цемента).

Таблица 2

Исходные данные для построения поверхностей анизотропии пределов прочности модифицированной и натуральной древесины березы по тензорным формулам

Материал, размеры образцов (мм), вид испы- тания	$\sigma_a$		$\sigma_r$		$\sigma_t$		$\sigma_{ar}^{45}$		$\sigma_{at}^{45}$		$\sigma_{rt}^{45}$		Изображена поверхность на рис.	Определенность	Средний при- вес поли- мера, %
	$\bar{x}$	$S_x$	$\bar{x}$	$S_x$	$\bar{x}$	$S_x$	$\bar{x}$	$S_x$	$\bar{x}$	$S_x$	$\bar{x}$	$S_x$			
Модиф., 20×20×30, сжатие . . . . .	1157	71	463	113	412	62	580	63	485	97	390	66	1	п/п	64,6
Модиф., 20×20×20, сжатие	960	65	316	27	184	26	328	48	237	39	188	27	2	УПП	45,7
Модиф., рас- тяжение . . . . .	1329	260	—	—	78	10	—	—	173	18	—	—	3	п/п	63,7
Натур., сжатие.	767	71,5	123	9	65	10	360	41	307	52	72	7	4	УПП	0
Натур., рас- тяжение . . . . .	1686	279	109	27	69	4	171	59	129	14	73	15	3,5	п/п	0

Примечание.  $\bar{x}$  — среднее арифметическое, кг/см<sup>2</sup>;  
 $S_x$  — среднее квадратическое отклонение, кг/см<sup>2</sup>;

На рис. 1—5 изображены поверхности изменения предела прочности древесины в зависимости от ориентировки усилия (сжимающего на рис. 1, 2, 4 и растягивающего на рис. 3 и 5) по отношению к осям симметрии  $a$ ,  $r$  и  $t$ . Здесь угол  $\varphi$  отсчитывается от направления волокон  $a$  в радиальной плоскости  $ar$ , а угол  $\alpha$  показывает, под каким углом наклона к радиальной плоскости находится ось  $x$  образца, т. е. сжимающее или растягивающее усилие. Величина  $\sigma$  при  $\alpha=0^\circ$  и  $\varphi=0^\circ$  соответствует пределу прочности в направлении волокон —  $\sigma_a$ . При  $\alpha=0^\circ$  и  $\varphi=90^\circ$  это —  $\sigma_r$ , а при  $\varphi=0^\circ$  и  $\alpha=90^\circ$  — это  $\sigma_t$ .

В табл. 2 приведены все исходные данные для построения поверхности анизотропии. На рис. 1 изображена поверхность изменения предела прочности (ПП), на рис. 2 — условного предела прочности (УПП) модифицированной древесины при сжатии (см. табл. 2, строки 1 и 2). На рис. 3 приведены кривые изменения предела прочности модифицированной древесины при растяжении (табл. 2, строка 3). Принято условно, что  $\sigma_r = \sigma_t = \sigma_{rt}^{45}$  и  $\sigma_{ar}^{45} = \sigma_{at}^{45}$ , поскольку экспериментально получены были только данные для  $\sigma_r$  и  $\sigma_{45}$ . Иначе говоря, здесь древесина рассматривается как поперечно изотропный материал.

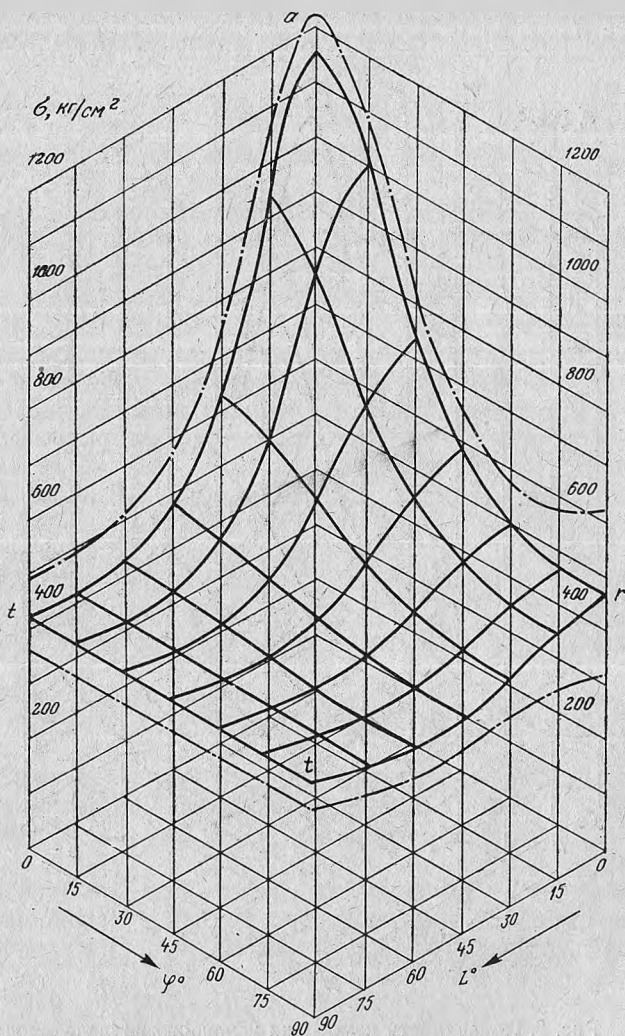


Рис. 1. Поверхность изменения предела прочности при сжатии модифицированной древесины. Пунктиром показан доверительный интервал с 95%-ной вероятностью.

На рис. 4 построена поверхность анизотропии натуральной древесины березы при сжатии, на рис. 5 — при растяжении. Такие поверхности известны для многих кристаллов, для древесины сосны и для стеклопластиков. Для модифицированной древесины при сжатии и растяжении такие поверхности приводятся здесь впервые. Их построение значительно облегчается предложенной мето-

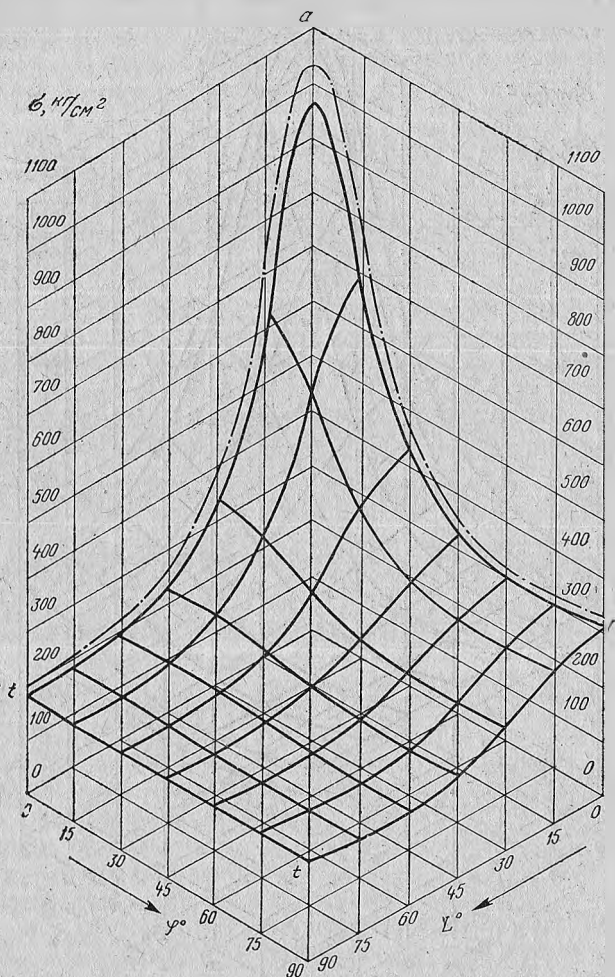


Рис. 2. Поверхность изменения условного предела прочности при сжатии модифицированной древесины. Пунктиром показан доверительный интервал с 95%-ной вероятностью.

дикой, так как применение тензоральных формул позволяет уменьшить число экспериментально определяемых характеристик до 6, а расчеты на ЭВМ сокращают время вычисления координат всех точек одной поверхности до нескольких секунд.

Средний привес полимера характеризуется для сжатия (образцы  $20 \times 20 \times 30$  мм) и для растяжения примерно одинаковыми

цифрами (64,6 и 63,7), что позволяет относить все испытанные образцы модифицированной древесины к одной партии.

Оценивать прочность модифицированной древесины при сжатии поперек волокон следует по величине ПП (строка 1 в табл. 2), поскольку ей присущи «хрупкие» диаграммы сжатия, а деформативность ее чрезвычайно мала. Эти данные показывают, что радиационно-химическая модификация не только повышает прочность древесины при сжатии, но и значительно уменьшает ее анизотропию. В табл. 3 приведены сравнительные данные по анизотропии древесины при сжатии, из которых видно, что наиболее сильно (6,34 раза) повышается после модификации предел прочности древесины при сжатии поперек волокон в тангенциальном направлении.

В табл. 4 приведены отношения пределов прочности при сжатии, характеризующие анизотропию древесины, из которых видно, что модифицированная древесина имеет при сжатии прочность поперек волокон лишь в 2,5÷2,8 раза более низкую, чем вдоль волокон.

В Белорусском технологическом институте проведены исследования с модифицированной радиационным способом древесиной мягких лиственных пород. Опыты проводились с древесиной оль-

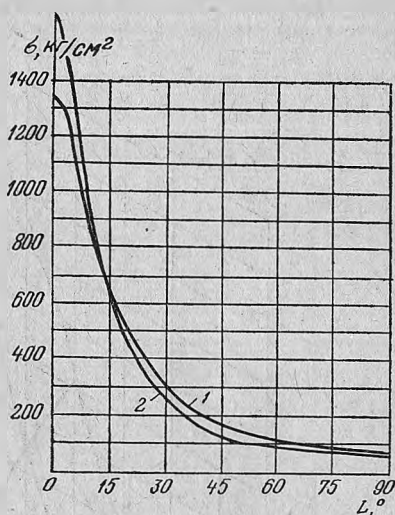


Рис. 3. Кривые изменения предела прочности при растяжении: 1 — для модифицированной древесины, 2 — для натуральной древесины.

Таблица 3

Повышение прочности при модификации

Показатели	$\sigma_a$	$\sigma_r$	$\sigma_t$	$\sigma_{ar}^{45}$	$\sigma_{at}^{45}$	$\sigma_{rt}^{45}$
Пределы прочности натуральной древесины, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	767	123	65	360	307	72
Пределы прочности модифицированной древесины, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	1157	463	412	580	485	390
Повышение прочности, % . . . . .	151	377	634	161	158	542

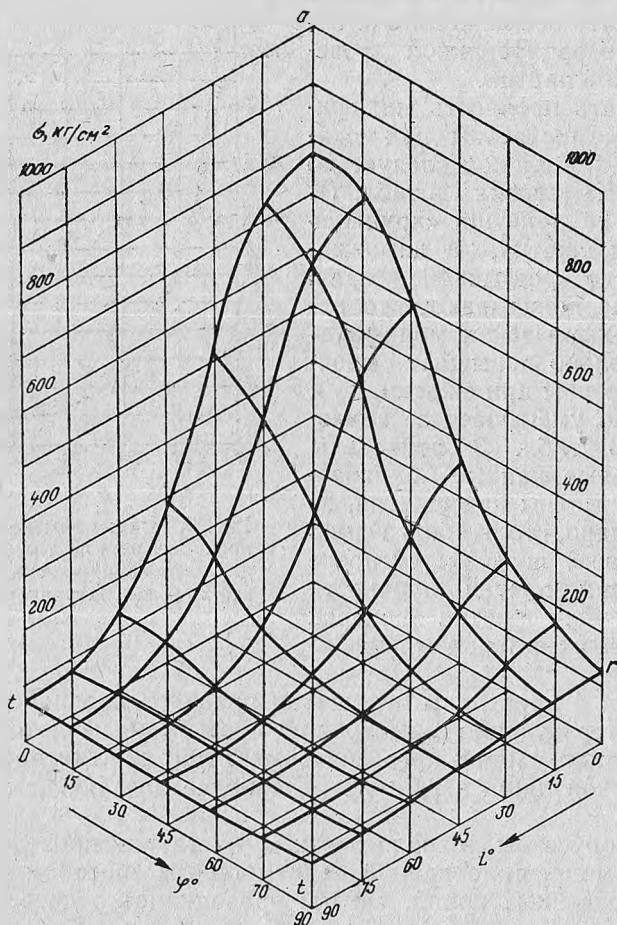


Рис. 4. Поверхность изменения условного предела прочности при сжатии натуральной древесины.

#### Анизотропия при сжатии

Таблица 4

Показатели	$\frac{\sigma_a}{\sigma_r}$	$\frac{\sigma_a}{\sigma_t}$	$\frac{\sigma_r}{\sigma_t}$
Натуральная древесина . . . . .	6,2	116,8	1,89
Модифицированная древесина . . . . .	2,5	2,8	1,12



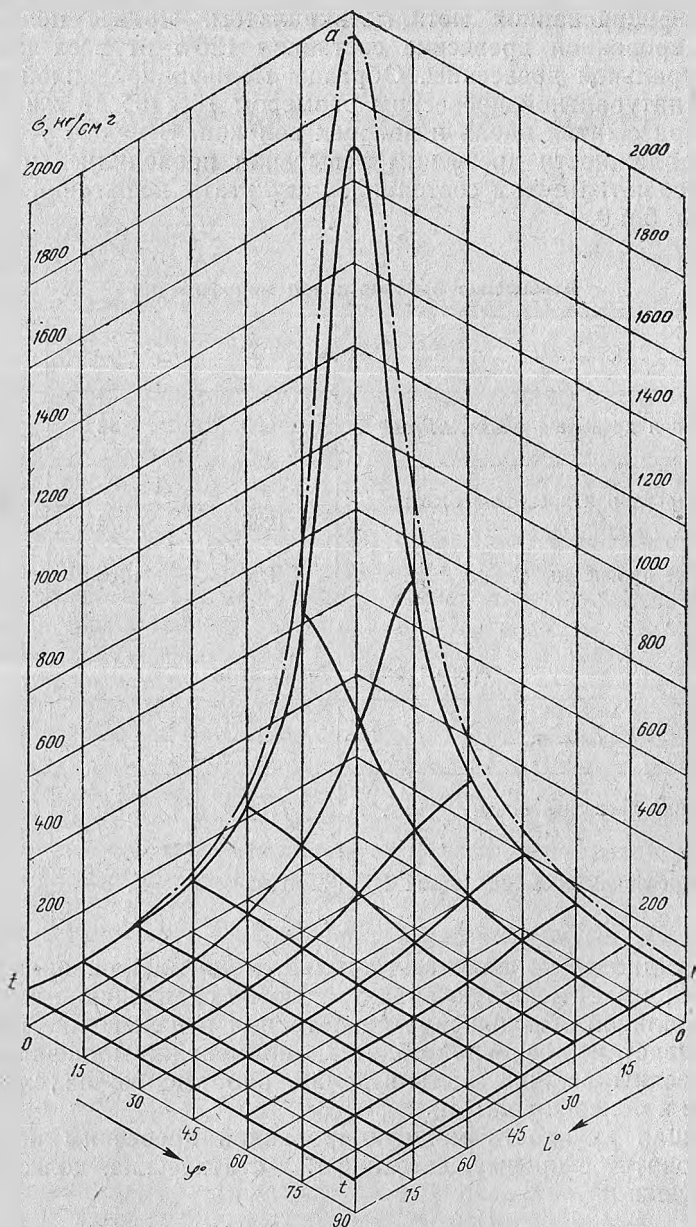


Рис. 5. Поверхность изменения предела прочности при растяжении натуральной древесины. Пунктиром показан доверительный интервал с 95%-ной вероятностью.



хи, модифицированной метилметакрилатом. Привес полимера в модифицированной древесине составлял 125% от веса контрольной натуральной древесины. Образцы модифицированной и контрольной натуральной древесины размером  $10 \times 10 \times 15$  мм испытывались при сжатии вдоль и поперек волокон. С целью устранения влияния влажности древесины испытания проводились на образцах в абсолютно сухом состоянии. Результаты испытаний приведены в табл. 5 и 6.

Таблица 5

## Повышение прочности при модификации

Показатели	$\sigma_a$	$\sigma_r$	$\sigma_t$
Натуральная древесина ольхи, $\text{кг/см}^2$ .	600	82	70
Модифицированная древесина ольхи, $\text{кг/см}^2$ . . . . .	1245	874	453
Повышение прочности, % . . . . .	208	1065	645

Таблица 6

## Анизотропия при сжатии

Показатели	$\frac{\sigma_a}{\sigma_r}$	$\frac{\sigma_a}{\sigma_t}$	$\frac{\sigma_r}{\sigma_t}$
Натуральная древесина ольхи . . . . .	7,32	8,57	1,17
Модифицированная древесина ольхи . . . . .	1,42	2,75	1,93

Как видно из приведенных таблиц, модифицированная древесина ольхи имеет меньшую анизотропию по сравнению с контрольной натуральной. Уменьшение анизотропии и повышение прочности показывает, что основной областью применения модифицированной древесины должны быть изделия, работающие на сжатие, в том числе и поперек волокон.

Большая хрупкость модифицированной древесины позволяет рекомендовать ее преимущественно под статические, долговременные нагрузки.