

634.0.8  
Л-93

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ БССР

Белорусский технологический институт  
им. С.М. Кирова

На правах рукописи

ЛЮБЕЦКИЙ  
ДМИТРИЯ ИГНАТЬЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ И ПРОЧНОСТНЫХ  
СВОЙСТВ ПРИ СЖАТИИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ  
ДРЕВЕСИНЫ КАК КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА

Специальность - 05.398. Материаловедение  
(древесиноведение) (05.21.03)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Минск 1974

634.0.8

Л-93

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
Б С С Р

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.М.КИРОВА

На правах рукописи

Любецкий Дмитрий Игнатьевич

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ  
ПРИ СЖАТИИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ КАК  
КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА

Специальность - 05.398. Материаловедение  
(древесиноведение) (05.21.03)

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.М.КИРОВА

Минск 1974

3397 ар

Работа выполнена на кафедре строительной механики Белорусского технологического института имени С.М.Кирова.

Научные руководители:

профессор П.Я.АРТЕМОВ,

кандидат технических наук, доцент С.С.Макаревич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Ю.М.ТАРНОПОЛЬСКИЙ,

кандидат технических наук, доцент Ф.С.МАРТИНОВИЧ

Ведущее предприятие - Институт строительства и архитектуры  
Госстроя БССР.

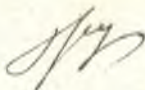
Автореферат разослан " 8 " мая 1974 г.

Защита состоится " 12 " июня 1974 г.

в 10 часов на заседании Совета Белорусского технологического института им. С.М.Кирова, 220630, г.Минск, ул.Свердлова, 13 а, ауд. 220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета,  
кандидат технических наук



(Е.А.Грушевская)

Важная роль в решении задач, поставленных партией и правительством, отводится научным исследованиям и дальнейшему техническому прогрессу в создании и широком применении новых материалов, одним из которых является модифицированная древесина.

Получение модифицированной древесины с заданными свойствами и использование ее как конструкционного материала в значительной степени зависит не только от технологии ее изготовления, но и от изученности ее механических свойств. При исследовании механических свойств модифицированной древесины ее можно рассматривать как однородный материал или как материал, состоящий из двух компонентов: натуральной древесины и полимера. Нами выбран второй путь, т.е. модифицированная древесина рассматривается как композитный материал.

В работах советских и зарубежных исследователей В.Л.Карпова, А.С.Фрейдена, Ю.М.Иванова, В.Е.Вихрова, А.И.Калининьша, Е.К.Ашке-нази, В.А.Белого, Ю.И.Холькина, В.М.Хрулева, В.А.Зайвия, Э.Э.Пауля, Г.М.Шутова, Ю.Б.Вихрова, С.И.Карповича, А.Стамма, А.Буйместера и др. показано, что в результате модификации древесины значительно улучшается ряд ее показателей, особенно - увеличение сопротивляемости сжатию. Поэтому определенный интерес представляют исследования этого композита при сжатии в условиях линейного и сложного напряженного состояний, что позволит более рационально использовать его в качестве конструкционного материала для деталей машин, строительных конструкций и других изделий.

В настоящей диссертационной работе поставлена цель изучить зависимость модулей упругости и прочности при сжатии модифицированной древесины от аналогичных характеристик ее составляющих компонентов и их объемного содержания.

В теоретическом плане задача решалась методом структурного анализа, основоположником которого является В.Фойгт. Параллельно проводились экспериментальные исследования для проверки теоретических выводов.

Надо отметить, что большинство исследований, проводившихся до сих пор, не касались прочности модифицированной древесины при сложном напряженном состоянии. Поэтому ставился также вопрос об исследовании прочности модифицированной древесины не только при осевом сжатии в трех главных направлениях, но и при двухосном сжатии с различным соотношением главных напряжений.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и списка использованной литературы, изложенных на 198 страницах машинописного текста. Текст иллюстрирован 48 рисунками и 29 таблицами.

#### Одноосное сжатие

Теоретические исследования. Для оценки количества полимера или другого модифицирующего вещества, введенного в древесину, необходим показатель, который был бы удобным при сравнительной оценке свойств модифицированной древесины. В качестве такого показателя нами принят коэффициент пропитки, который показывает, какая часть пустот в древесине заполнена полимером. Он легко определяется через плотность исходных компонентов и композиции

$$k = \frac{\gamma_0(\gamma^* - \gamma)}{\gamma^*(\gamma_0 - \gamma)}, \quad (I)$$

где  $\gamma_0$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma_*$ ,  $\gamma^*$  - соответственно плотность древесного вещества, натуральной древесины, полимера (наполнителя) и модифицированной древесины.

Коэффициент  $k$  изменяется от нуля до единицы ( $0 \leq k \leq 1$ ). Он инвариантен по отношению к модифицирующему материалу, поэтому им удобно пользоваться при выводе аналитических зависимостей.

При определении модулей упругости древесина рассматривалась как трубчатая, пластинчатая и сетчатая пространственная ажурная конструкция. После модификации пустоты в древесине частично заполняются полимером или другим пропитывающим веществом. Таким образом, при сжатии вдоль волокон модифицированную древесину в первом приближении можно рассматривать как систему, состоящую из параллельных элементов древесного вещества и полимера. Записывая для этой системы уравнения статики и совместности деформаций и решая их, получим следующее выражение для модуля упругости при сжатии вдоль волокон:

$$E_a^* = E_a + k m_n E_n, \quad (2)$$

где  $E_a^*$  - модуль упругости модифицированной древесины при сжатии вдоль волокон;  $E_a$  - модуль упругости натуральной древесины;

$E_n$  - модуль упругости полимера;  $m_n$  - пористость древесины.

При заполнении в древесине всех пустот полимером потеря устойчивости клеточных оболочек при сжатии исключается, и они будут работать примерно так же, как и при растяжении. Если же будут заполнены не все пустоты, а только их часть ( $k$ ), то можно считать,

что  $k$  клеточных оболочек древесины при сжатии не будут терять устойчивость. Поэтому модуль упругости этой части древесины при сжатии можно заменить модулем упругости при растяжении. С учетом сказанного, формула (2) переписывается так:

$$E_n^* = E_{ac} + k(E_{sp} - E_{ac}) + m_n E_n, \quad (3)$$

где  $E_{ac}$  - модуль упругости натуральной древесины при сжатии вдоль волокон;  $E_{sp}$  - модуль упругости натуральной древесины при растяжении.

При сжатии поперек волокон модифицированную древесину можно рассматривать как систему, состоящую из последовательно и параллельно соединенных элементов древесного вещества и полимера.

В этом случае решение уравнений статики и совместности деформаций приводит к следующим выражениям для модулей упругости:

$$E_2^* = E_2 + (1 - \eta_2) \frac{E_n E_2 \cdot f(k)}{\eta_1^2 E_n + (1 - \eta_1) E_2}; \quad (4)$$

$$E_1^* = E_1 + (1 - \eta_1) \frac{E_2 E_n \cdot f(k)}{\eta_2^2 E_n + (1 - \eta_2) E_1}, \quad (5)$$

где  $E_1^*$ ,  $E_2^*$ ,  $E_1$ ,  $E_2$  - модули упругости в радиальном и тангенциальном направлениях модифицированной и натуральной древесины;

$\eta_1$  - часть клеточных стенок, ориентированных в тангенциальном направлении;  $\eta_2$  - часть клеточных стенок, ориентированных в радиальном направлении:

$$\eta_1 = \frac{(1 - m_n) E_1}{E_1 + E_2}; \quad \eta_2 = \frac{(1 - m_n) E_2}{E_1 + E_2}. \quad (6)$$

Здесь  $f(k)$  - функция, зависящая от распределения полимера в древесине, которая должна удовлетворять условиям  $f(k=0) = 0$  и  $f(k=1) = 1$ .

В качестве первого приближения на основании опытных данных принята следующая функция:

$$f(k) = \sin \frac{\pi k^2}{2} \quad (7)$$

Для получения теоретической предпосылки прочности при сжатии модифицированной древесины вдоль волокон в зависимости от прочностных свойств исходных компонентов принята та же расчетная модель, что и при определении модуля продольной упругости. При такой схеме напряжения между полимером и древесным веществом будут

распределяться пропорционально их модулям упругости. Исходя из того, что при постепенном увеличении сжимающей силы прочность модифицированной древесины будет исчерпана по достижении предельных напряжений составляющими ее компонентами, получена следующая формула:

$$\sigma_s^* = \sigma_s + k m_n \sigma_{s(n)}, \quad (8)$$

где  $\sigma_s^*$ ,  $\sigma_s$  - пределы прочности модифицированной и натуральной древесины при сжатии вдоль волокон;  $\sigma_{s(n)}$  - предел прочности при сжатии полимерного наполнителя.

Вычисленные по формуле (8) значения будут несколько заниженными по сравнению с опытными данными, так как при выводе была принята расчетная модель без учета усиления прочностных свойств композитного материала за счет того, что часть  $\beta = \varphi(k)$  клеточных стенок, граничащих с полостями, заполненными полимером, не будут терять устойчивость. Если учесть это, то формулу (8) можно записать так:

$$\sigma_s^* = \sigma_s + \varphi(k) (\sigma_s' - \sigma_s) + \varphi(k) m_n \sigma_{s(n)}, \quad (9)$$

где  $\sigma_s'$  - предел прочности натуральной древесины при сжатии вдоль волокон в предположении отсутствия потери устойчивости стенками клеток.

Следует отметить, что стремление определить величину  $\sigma_s'$  не дало положительного результата.

Попытка получать теоретические зависимости для определения предела прочности модифицированной древесины при сжатии поперек волокон не увенчалась успехом.

Экспериментальные исследования и сопоставление их с теоретическими. В качестве исследуемого материала была выбрана древесина березы, модифицированная сплавом металлов, смолой ПН-1, смолой ЭД-5, стиролом и фенолоспиртами. Пропитка древесины и режимы термообработки осуществлялись в Проблемной научно-исследовательской лаборатории модификации древесины Белорусского технологического института им. С.М. Кирова по технологии, разработанной этой же лабораторией.

Для получения сравнимых результатов образцы изготавливались из теловой части ствола березы одного возрастного периода. Образцы для испытания натуральной и модифицированной древесины были одинаковыми. Для саределения модулей упругости при сжатии вдоль и поперек волокон (радиальном и тангенциальном направлениях) они

изготавливались в форме прямоугольной призмы с основанием 20x20 мм и высотой 60 мм, а для определения прочности - 20x20x20 мм.

Полимерные образцы изготавливались в виде прямоугольного параллелепипеда размерами 10x10x15 мм или в форме цилиндра  $\frac{h}{d} = 1,5$ .

Экспериментальное определение модулей упругости натуральной и модифицированной древесины осуществлялось на машине ИМ-4А с автоматической записью диаграмм нагружения и разгрузки. Упругая деформация измерялась на каждой грани образца механическим тензомером с базой 20 мм и ценой деления 0,001 мм.

Модули упругости полимеров, применявшихся для модификации древесины, определялись с использованием диаграмм сжатия полимерных образцов.

Для определения пределов прочности натуральной и модифицированной древесины испытания образцов проводились на машинах УММ-10 и ИМ-4А. Предел прочности при сжатии вдоль волокон определялся по наименьшей силе, а при сжатии поперек волокон определялся условный предел прочности. Прочность при сжатии полимеров, которыми модифицировалась древесина березы, определялась по ГОСТ 4651-63.

Влажность образцов при испытаниях составляла 4-8%. С целью получения сравнимых результатов, полученных экспериментальным путем и вычисленных по аналитическим зависимостям, модули упругости и пределы прочности натуральной древесины пересчитывались в соответствии с влажностью модифицированной древесины.

В табл. I приведены результаты экспериментального определения плотности, модулей упругости и прочности исходных компонентов.

Таблица I

Наименование компонентов	Плотность $\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	Модули упругости $E \cdot 10^{-4}$ , кгс/см <sup>2</sup>	Пределы прочности $\sigma$ , кгс
Натуральная древесина березы	0,605	$E_d$ 19,600	$\sigma_d$ 830
		$E_t$ 1,134	$\sigma_t$ 115
		$E_s$ 0,676	$\sigma_s$ 71
		$E_{ар}$ 2,247	-
Сплав металлов	9,241	20,000	505
Стирол	1,037	2,747	720
Смола ПН-1	1,250	2,615	872
Фенолоспирты	1,246	2,460	958
Смола ЭД-5	1,137	3,425	



На рис. 1, 2 показаны кривые зависимости модулей упругости от коэффициента пропитки, построенные по формулам (3) - (5). Здесь же нанесены экспериментальные точки.

Как видно из рис. 1, 2, результаты экспериментов довольно хорошо согласуются с теоретическими зависимостями. Расхождение между теоретическими и экспериментальными результатами при сжатии вдоль волокон не превышает 5%, а при сжатии поперек волокон - 18%.

Что касается древесины, модифицированной фенолоспиртами, которые проникают в клеточные стенки, то теоретические значения модулей упругости оказываются заниженными по сравнению с опытными. Расхождение достигает 30%. Это объясняется тем, что происходит увеличение жесткости клеточных стенок за счет проникновения фенолоспиртов в субмикроскопическое пространство клетки, а в приведенных формулах (3)-(5) это не учитывалось.

В табл. 2 приведены значения пределов прочности при сжатии вдоль волокон, здесь же дано сравнение опытных данных с теоретическими значениями, вычисленными по формуле (8). Из таблицы видно, что теоретические значения несколько занижены по сравнению с опытными, что и предполагалось ранее при выводе формулы (8). Несмотря на это, отклонения не превышают (за исключением модификации фенолоспиртами) 19%.

Таблица 2

$\gamma, \%$ кг/см <sup>3</sup>	k	W, %	Пределы прочности вдоль волокон, кг/см <sup>2</sup>			$\frac{\sigma_{\text{теор}}^* \sigma_{\text{оп}}^*}{\sigma_{\text{оп}}^*}$ 100%
			$\sigma_{\text{оп}}^*$	$\sigma_w$	$\sigma_{\text{теор}}^*$	
1	2	3	4	5	6	7

Пропитка сплавом металлов

3,40	0,498	4,6	1200	906	1058	- II,8
3,55	0,525	4,5	1296	911	1072	- I7,3
3,70	0,564	6,5	1173	816	990	- I5,6
3,68	0,566	8,0	1125	743	917	- I8,6
3,79	0,568	4,4	1242	914	1088	- I2,4
3,73	0,557	4,3	1272	914	1085	- I4,7
3,56	0,527	6,8	1027	800	966	- 5,84
4,62	0,715	3,7	1379	945	1164	- I5,6

## Продолжение таблицы 2

I	2	3	4	5	6	7
5,070	0,795	7,3	I150	778	I029	- 10,8
5,160	0,812	3,3	I435	964	I213	- 15,5
Пропитка стиролом						
0,938	0,529	4,5	I249	911	I142	- 8,6
0,964	0,570	4,4	I290	914	I163	- 9,8
I,039	0,689	3,8	I413	937	I238	- 12,4
I,043	0,695	3,8	I394	937	I240	- 11,0
I,044	0,697	3,8	I520	937	I241	- 18,4
I,054	0,713	3,7	I408	945	I257	- 10,7
I,075	0,746	3,6	I387	950	I276	- 8,0
I,077	0,749	3,6	I408	950	I277	- 9,3
Пропитка смолой ПН-1						
I,255	0,841	8,0	I337	743	I207	- 9,73
I,261	0,864	4,3	I606	914	I371	- 14,6
I,267	0,872	4,6	I607	906	I367	- 14,9
I,279	0,881	4,7	I581	897	I363	- 13,4
I,274	0,882	4,4	I644	914	I381	- 16,0
I,277	0,885	4,3	I571	914	I383	- 11,9
I,277	0,887	4,6	I640	906	I369	- 17,1
I,279	0,888	4,4	I628	914	I384	- 15,0
I,283	0,893	3,9	I531	930	I402	- 8,43
I,283	0,893	3,9	I529	930	I402	- 8,3
Пропитка фенолоспиртеми						
0,768	0,215	3,6	I445	950	I075	- 25,6
0,785	0,238	4,7	I319	897	I035	- 21,6
0,788	0,241	3,8	I452	937	I077	- 25,8
0,795	0,251	4,5	I384	911	I057	- 23,4
0,816	0,275	3,6	I458	950	I110	- 23,8
0,830	0,293	4,4	I393	914	I084	- 22,2
0,832	0,296	4,6	I396	906	I078	- 22,8
0,836	0,301	4,3	I393	914	I089	- 20,8
0,849	0,318	3,7	I460	945	I120	- 23,8

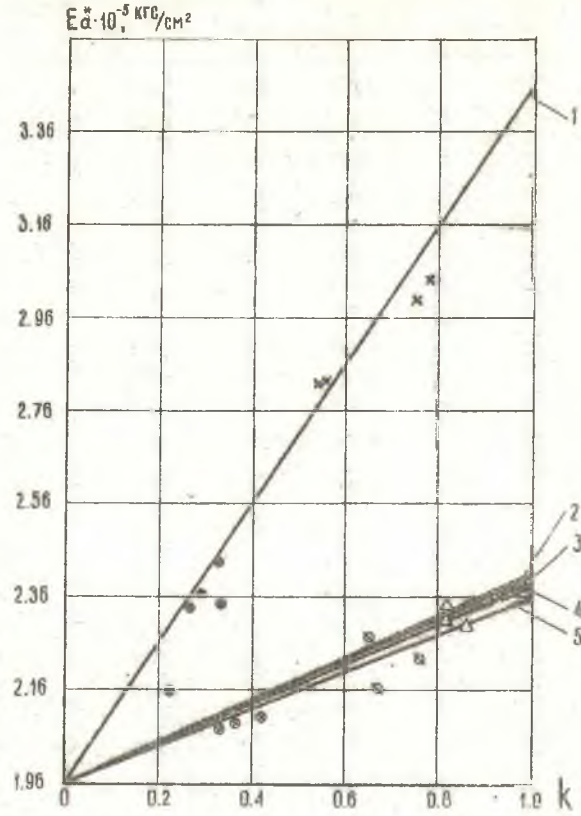


Рис. 1. Зависимость модуля продольной упругости модифицированной древесины от коэффициента пропитки. 1- (x) - сплавом металлов; 2- (⊗) - стиролом; 3- (Δ) - смолой ПН-I; 4-(●)- фенолоспиртами; 5- (⊙) - смолой ЭД-5.

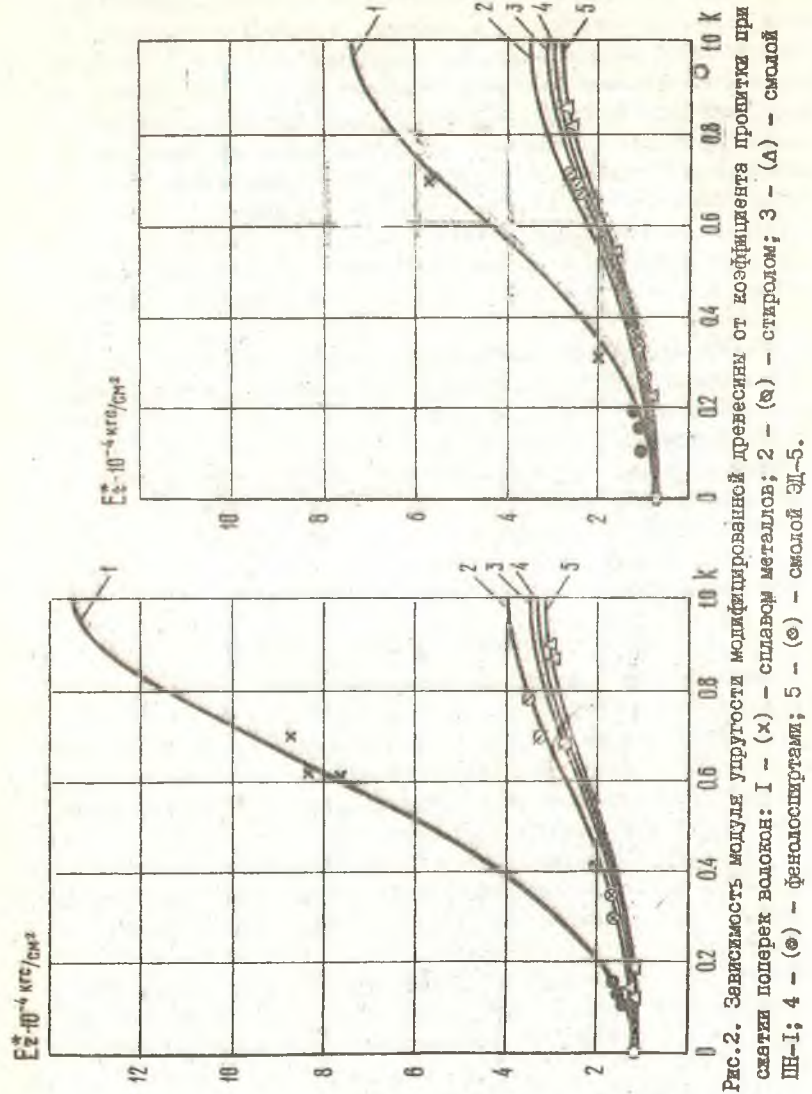


Рис. 2. Зависимость модуля упругости модифицированной древесины от коэффициента пропитки при сжатии поперек волокон: 1 - (x) - сплавом металлов; 2 - (⊗) - стиролом; 3 - (Δ) - смолой ПН-I; 4 - (●) - фенолоспиртами; 5 - (⊙) - смолой ЭД-5.

В табл. 3 приведены экспериментальные значения пределов прочности для модифицированной древесины при сжатии в радиальном и тангенциальном направлениях. Как видно из таблиц 2 и 3, модификация заметно повышает прочность древесины при сжатии в главных направлениях осей симметрии. Особенно сильно при этом повышаются пределы прочности в радиальном и тангенциальном направлениях. С увеличением  $k$  степень анизотропии древесины при сжатии значительно снижается. Анализ данных табл. 3 показывает, что различие в пределах прочности при сжатии в радиальном и тангенциальном направлениях с ростом  $k$  сначала уменьшается и становится равным нулю при  $k = 0,70 + 0,72$ , затем в тангенциальном направлении становится больше радиального.

С точки зрения определения областей применения модифицированной древесины определенным интерес представляют удельные характеристики жесткости ( $E^*/\gamma^*$ ) и прочности ( $\sigma^*/\gamma^*$ ). В древесиноведении эти показатели называют коэффициентами качества.

Анализ удельных характеристик жесткости и прочности модифицированной древесины показал, что при сжатии поперек волокон с увеличением коэффициента пропитки эти характеристики значительно возрастают по сравнению с натуральной древесиной, а для случая сжатия вдоль волокон наоборот, эти характеристики убывают.

#### Двухосное сжатие

Оценка прочности материала по результатам испытаний одноосного напряженного состояния не всегда удовлетворяет потребности современной инженерной практики. В связи с этим при изучении прочностных свойств нового материала приходится исследовать не только линейное, но и сложное напряженное состояние с целью обоснования выбора соответствующего критерия прочности.

Нами исследован случай двухосного сжатия. Для этой цели был изготовлен реверсор, в котором применен способ нагружения образца, рекомендованный С.Е.Чирковым. Схема реверсора показана на рис. 3.

Реверсор состоит из двух нагружающих устройств I и четырех вкладышей 2. С его помощью на обычных прессах можно производить исследование прочностных и деформативных свойств анизотропных материалов при двухосном сжатии. Конструкция реверсора позволяет проводить простое (пропорциональное) нагружение прямоугольного образца 3. Соотношения между условными напряжениями (усилия, отнесенные к первоначальной площади работы сечения образца) зависят

Таблица 3

Данные испытаний при сжатии					
в радиальном направлении			в тангенциальном направлении		
$\delta_r^*$ г/см <sup>3</sup>	k	$\sigma_r^*$ кгс/см <sup>2</sup>	$\delta_t^*$ г/см <sup>3</sup>	k	$\sigma_t^*$ кгс/см <sup>2</sup>
Пропитка сплавом металлов					
2,970	0,421	334	2,990	0,425	270
3,450	0,507	412	3,660	0,544	321
4,367	0,670	474	3,940	0,595	440
4,630	0,717	526	4,620	0,715	537
5,340	0,844	637	5,600	0,890	967
5,420	0,858	676	5,700	0,908	998
5,550	0,881	733	5,720	0,908	1045
Пропитка стиролом					
1,020	0,659	497	1,046	0,700	495
1,032	0,678	527	1,047	0,702	491
1,044	0,697	530	1,053	0,711	520
1,043	0,695	577	1,067	0,734	598
1,053	0,711	555	1,072	0,742	604
1,074	0,745	567	1,078	0,751	630
Пропитка смолой ПН-1					
0,884	0,368	235	0,867	0,345	157
1,126	0,686	604	1,256	0,858	1224
1,272	0,879	876	1,261	0,864	1266
1,275	0,883	882	1,264	0,868	1223
1,277	0,885	932	1,276	0,884	1182
1,282	0,892	974	1,277	0,885	1140
1,282	0,892	1025	1,357	0,991	1554
Пропитка фенолспиртами					
0,787	0,240	248	0,786	0,215	218
0,809	0,269	245	0,788	0,242	224
0,830	0,297	275	0,823	0,288	213
0,819	0,283	269	0,833	0,301	191
0,833	0,301	240	0,844	0,316	215
0,841	0,312	237	0,848	0,321	210

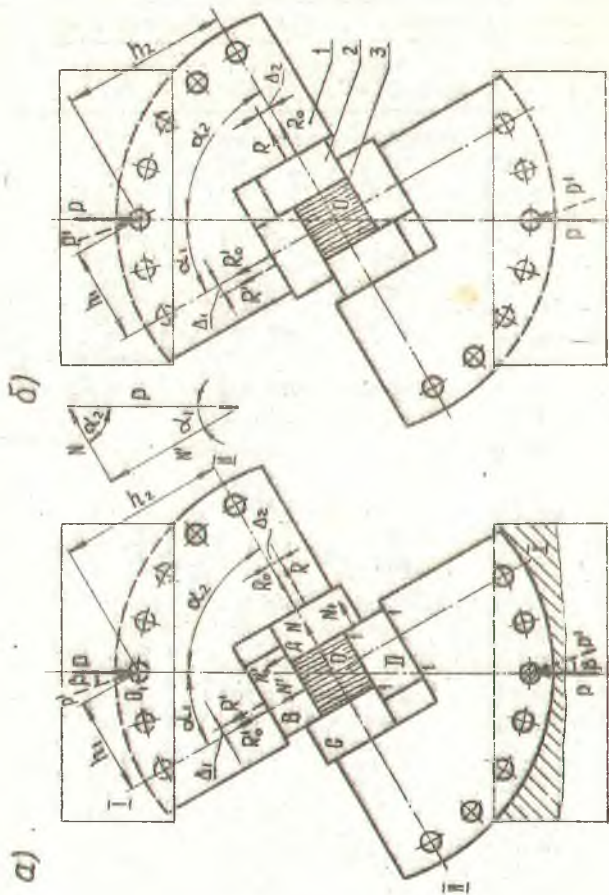


Рис. 3.

от передачи усилий на соответствующие грани образца. Диапазон соотношений величин главных напряжений можно регулировать конструктивной особенностью реверсора и размерами испытываемых образцов.

Силы  $N$  и  $N'$ , действующие на грани образца, определяются через углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  (рис. 3):

$$N = P \cdot \sin \alpha_1; \quad N' = P \cdot \sin \alpha_2. \quad (10)$$

Это соотношение будет сохраняться только в том случае, когда отсутствуют силы трения между образцом, вкладышами и реверсором. Поэтому для точной постановки эксперимента очень важно найти способ выявления сил трения и степени их влияния на соотношения усилий  $N$  и  $N'$ . Для этого нами рассмотрены силы, действующие на образец и вкладыши при различном их положении, т.е. когда нагружение производится по схеме рис. 3, а и б.

При отсутствии трения до I-I и равномерном распределении нагрузки по грани образца равнодействующая давления со стороны образца на вкладыш А будет действовать по центру грани образца и проходить через центр образца О (рис. 3, а). Равнодействующая давления со стороны вкладыша на реверсор в этом случае будет равна силе  $N$  и направлена по ее линии действия. Если же по граням I-I имеется в наличии трение, то вкладыш А будет испытывать давление  $N$  не только со стороны образца, но и со стороны вкладыша D ( $N_1$ ). В этом случае равнодействующая R давления со стороны вкладыша А на реверсор будет несколько смещаться от линии действия силы  $N$  в сторону действия силы  $N_1$ . Аналогичную картину получим для вкладыша В (рис. 3, б).

При отсутствии сил трения, рассматривая равновесие верхнего нагружающего устройства, получим

$$N' \cdot \sin \alpha_1 = N \cdot \sin \alpha_2 \quad (11)$$

При наличии сил трения

$$R' (OO_1 \sin \alpha_1 - \Delta_1) = R (OO_1 \sin \alpha_2 + \Delta_2). \quad (12)$$

Анализ уравнений (11) и (12) показывает, что

$$R < N; \quad R' > N'. \quad (13)$$

Если вкладыши переставить, как показано на рис. 3, б, то при наличии трения окажется, что

$$R > N; \quad R' < N'. \quad (14)$$

Это позволяет экспериментально, путем перестановки вкладышей, установить наличие сил трения и степень их влияния на соотношение

сил  $N$  и  $N'$ . Лучше это осуществлять при углах  $\alpha_1 = \alpha_2 = 45^\circ$ . В этом случае образец устанавливается в реверсор так, чтобы направление вдоль волокон совпало с направлением I, а поперечное направление - с направлением II. Так как углы равны, то силы, действующие на образец в продольном и поперечном направлениях, должны быть одинаковыми, независимо от того, происходит нагружение с расположением вкладышей по схеме рис. 3, а или по схеме рис. 3, б. Но так будет только при отсутствии сил трения. При их же наличии, как следует из (13) и (14), в случае, когда вкладыши расположены по схеме рис. 3, а, сила по направлению I будет больше силы по направлению II, а когда вкладыши расположены по схеме рис. 3, б, сила по направлению I будет меньше силы по направлению II.

В связи с тем что направление I соответствует ориентировке образца вдоль волокон, а предел прочности древесины вдоль волокон значительно больше, чем поперек волокон, то при нагружении по схеме рис. 3, а сила  $P$  окажется больше, чем при нагружении по схеме рис. 3, б. Таким образом, производя испытания парных образцов - одного по схеме рис. 3, а, другого по схеме рис. 3, б - с применением различных способов уменьшения трения, можно найти такой из них, при котором сила, соответствующая опасному состоянию при нагружении по схеме рис. 3, а ( $P_a$ ), будет меньше всего отличаться от силы, соответствующей опасному состоянию при нагружении по схеме рис. 3, б ( $P_b$ ). В этом случае влияние сил трения будет наименьшим.

Наилучшие результаты оказались при покрытии трущихся поверхностей тонким слоем парафина. Если же не применять смазку, то искажение результатов достигает 65%. Поэтому наши исследования натуральной и модифицированной древесины при двухосном сжатии проводились с применением парафиновой смазки.

Эксперименты при двухосном сжатии были проведены на древесине березы и четырех видах ее модификации (сплавом металлов, стиролом, смолой ПН-I и фенолоспиртами) на образцах размерами 20x20x20 мм. В первой серии образцов усилия прикладывались в продольно-радиальном, во второй серии опытов - в продольно-тангенциальном направлениях. Соотношения между усилиями в двух взаимно-перпендикулярных направлениях были равны 0; 0,268; 0,577; 1,0; 1,73; 3,73; 5,67; II,43 и  $\infty$ . Первое и последнее соотношения соответствуют одноосному сжатию.



Для испытания на двухосное сжатие были отобраны образцы с коэффициентом пропитки, изменяющимся в небольшом интервале для каждого модифицирующего агента.

Средние значения компонент пределов прочности, полученных при двухосном сжатии натуральной и модифицированной древесины для случая продольно-радиального нагружения образцов (числитель) и для продольно-тангенциального нагружения (знаменатель), приведены в табл. 4. В этой же таблице показаны значения коэффициентов пропитки  $k$ , в пределах которых сравнивались результаты испытаний соответствующих образцов. Статистическая обработка полученных значений компонент напряжений для указанных выше отношений (в пределах взятых коэффициентов пропитки) показала, что результаты вполне сравнимы.

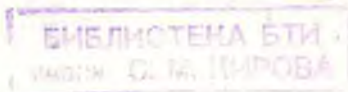
Полученные экспериментальные результаты сопоставлены с критериями Мизеса-Хилла, Ху и Марина, Вэррена и Ашкенази (критерий в форме полинома четвертой степени).

На рис. 4-7 показаны контуры разрушаемости, построенные по указанным критериям, и нанесены экспериментальные точки согласно табл. 4.

Из рис. 4-7 видно, что для натуральной древесины наиболее удовлетворительное описание опытных результатов достигается по критерию Ху и Марина (максимальное расхождение 20%) и критерию Е.К.Ашкенази (максимальное отклонение 22%). Для древесины, модифицированной фенолоспиртами, из рассмотренных критериев наиболее приемлемым является критерий Ху и Марина (максимальное отклонение 25%). Другие критерии дают значительные отклонения (до 43%) опытных точек от теоретических значений. Для древесины, модифицированной сплавом металлов, стиролом и смолой ПН-I, максимальное расхождение опытных и теоретических значений, вычисленных по критериям Е.К.Ашкенази, Ф.Вэррена и Мизеса-Хилла (при подстановке в него предела прочности двухосного равного сжатия) не превышает 25%.

В диссертации дан анализ наблюдавшихся видов и закономерностей разрушения полимерных образцов при одноосном сжатии, а также натуральной и модифицированной древесины при одноосном и двухосном сжатии.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования дают основания сделать следующие выводы и рекомендации:



$K = \frac{\sigma_a}{\sigma_{1(\theta)}}$	Натуральная древесина		Фенолоспирты $k = 0,15 \pm 0,35$		Сплав металлов $k = 0,45 \pm 0,65$		Стирол $k = 0,86 \pm 0,76$		Смола ПН-1 $k = 0,86 \pm 0,50$	
	$\sigma_a$	$\sigma_{1(\theta)}$	$\sigma_a$	$\sigma_{1(\theta)}$	$\sigma_a$	$\sigma_{1(\theta)}$	$\sigma_a$	$\sigma_{1(\theta)}$	$\sigma_a$	$\sigma_{1(\theta)}$
0,00	0	$\frac{115}{71}$	0	$\frac{253}{216}$	0	$\frac{408}{360}$	0	$\frac{542}{556}$	0	$\frac{944}{1194}$
0,268	$\frac{30}{21}$	$\frac{112}{78}$	$\frac{72}{55}$	$\frac{269}{205}$	$\frac{92}{92}$	$\frac{343}{343}$	$\frac{133}{121}$	$\frac{496}{450}$	$\frac{241}{260}$	$\frac{899}{970}$
0,577	$\frac{68}{45}$	$\frac{118}{78}$	$\frac{123}{104}$	$\frac{223}{180}$	$\frac{226}{192}$	$\frac{391}{332}$	$\frac{240}{258}$	$\frac{587}{445}$	$\frac{489}{556}$	$\frac{846}{561}$
1,00	$\frac{142}{84}$	$\frac{142}{84}$	$\frac{236}{209}$	$\frac{236}{209}$	$\frac{378}{365}$	$\frac{378}{365}$	$\frac{507}{526}$	$\frac{507}{526}$	$\frac{836}{947}$	$\frac{836}{947}$
1,73	$\frac{237}{128}$	$\frac{137}{74}$	$\frac{457}{344}$	$\frac{264}{199}$	$\frac{638}{610}$	$\frac{369}{363}$	$\frac{887}{974}$	$\frac{512}{562}$	$\frac{1316}{1383}$	$\frac{761}{799}$
3,73	$\frac{548}{356}$	$\frac{147}{90}$	$\frac{1078}{824}$	$\frac{289}{221}$	$\frac{1108}{1140}$	$\frac{297}{306}$	$\frac{1360}{1380}$	$\frac{365}{370}$	$\frac{1540}{1540}$	$\frac{413}{413}$
5,67	$\frac{748}{539}$	$\frac{132}{95}$	$\frac{1433}{1406}$	$\frac{253}{243}$	-	-	$\frac{1474}{1497}$	$\frac{260}{284}$	$\frac{1587}{1554}$	$\frac{280}{274}$
11,43	$\frac{788}{743}$	$\frac{69}{65}$	$\frac{1416}{1429}$	$\frac{124}{123}$	-	-	$\frac{1497}{1486}$	$\frac{131}{130}$	$\frac{1590}{1600}$	$\frac{138}{140}$
$\infty$	830	0	1400	0	1224	0	1403	0	1593	0

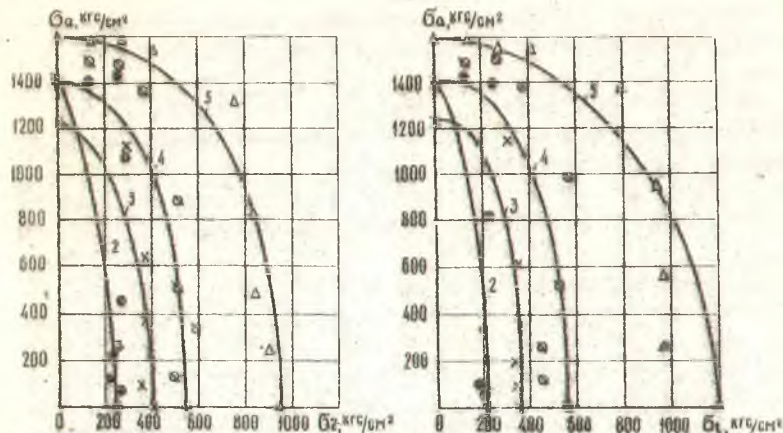


Рис. 4. Сопоставление результатов по критерию Мизеса-Хилла с опытными данными, полученными при двухосном сжатии натуральной древесины (1 - о) и модифицированной фенолоспиртами (2 - □), сплавом металлов (3 - x), стиролом (4 - ◊), смолой ПН-1 (5 - Δ).

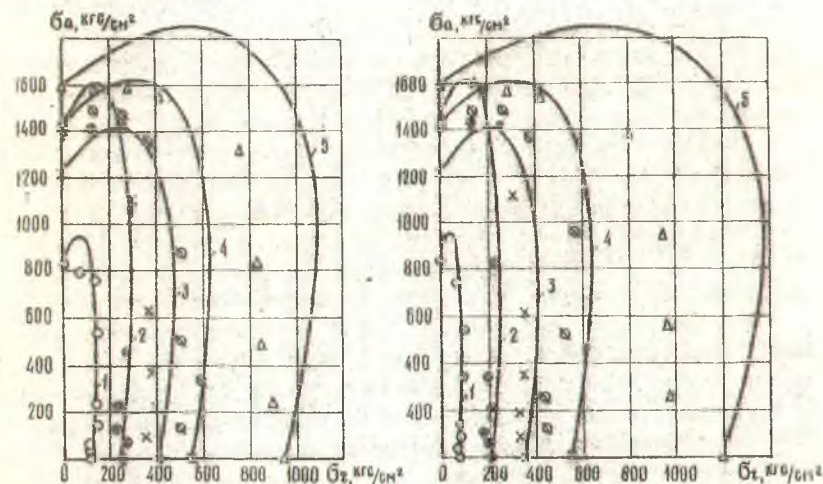


Рис. 5. Сопоставление результатов расчета по критерию Ху и Марина с опытными данными, полученными при двухосном сжатии натуральной древесины (1 - о) и модифицированной фенолоспиртами (2 - □), сплавом металлов (3 - x), стиролом (4 - ◊), смолой ПН-1 (5 - Δ).

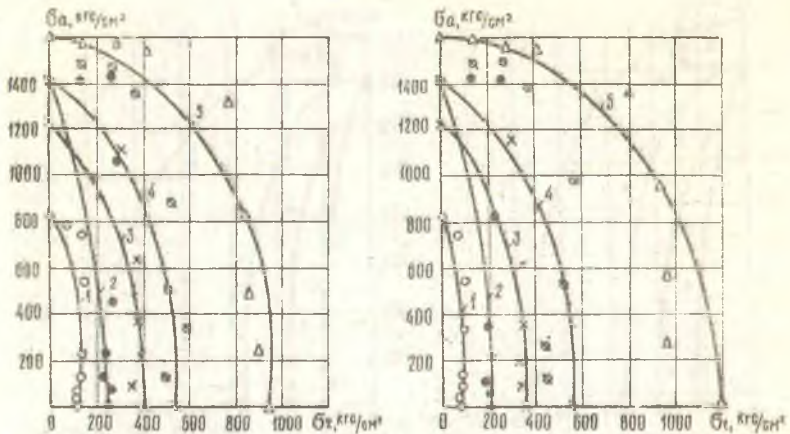


Рис.6. Сопоставление результатов расчета по критерию Ашкенази с опытными данными, полученными при двухосном сжатии натуральной древесины (1 - о) и модифицированной фенолоспиртами (2 - ●), сплавом металлов (3 - x), стиролом (4 - ⊠), смолой ПН-1 (5 - Δ).

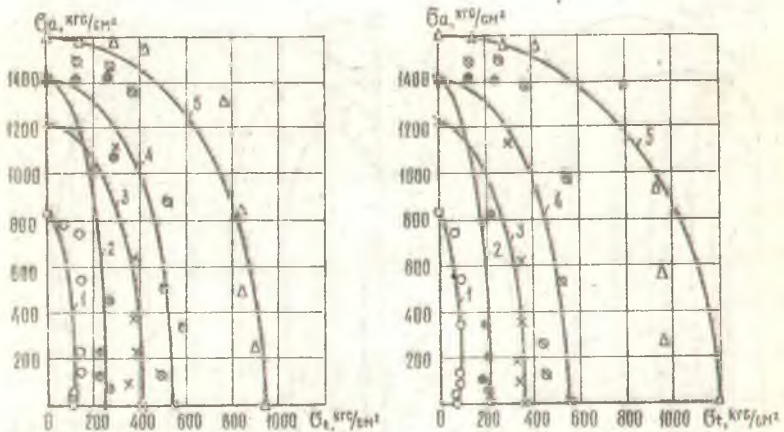


Рис.7. Сопоставление результатов расчета по критерию Веррена с опытными данными, полученными при двухосном сжатии натуральной древесины (1 - о) и модифицированной фенолоспиртами (2 - ●), сплавом металлов (3 - x), стиролом (4 - ⊠), смолой ПН-1 (5 - Δ).

1. Полученные нами теоретические зависимости (3)-(5) могут быть использованы для прогнозирования модулей упругости модифицированной древесины.

2. Установлено, что расхождение в модулях упругости древесины, модифицированной различными синтетическими смолами, незначительно. Следовательно, при выборе смол для модификации древесины березы с заданными упругими свойствами необходимо исходить из их промышленного производства, наименьшей стоимости и других положительных качеств.

3. Для определения прочностных свойств модифицированной древесины при сжатии вдоль волокон можно пользоваться формулой (8), которая дает несколько заниженные значения по сравнению с опытными данными, при этом расхождения для исследуемой нами модифицированной древесины (кроме фенолоспиртами) не превышают 19%.

4. Полученные теоретические зависимости для определения модулей упругости и прочности являются наиболее приемлемыми для практического использования при модификации древесины синтетическими смолами и другими мономерами, которые не проникают в клеточные стенки древесины или проникают настолько незначительно, что этим можно пренебречь.

5. Проведенные нами исследования показывают, что модификация древесины существенно повышает упругие и прочностные свойства ее при сжатии. Причем наибольшие относительные показатели увеличения прочности наблюдаются в поперечном направлении. При этом характерной особенностью является некоторое превышение прочности в тангенциальном направлении при  $k > 0,70$  по сравнению с радиальным.

6. Удельная жесткость и прочность при сжатии вдоль волокон модифицированной древесины по сравнению с натуральной несколько уменьшаются, а поперек волокон - увеличивается.

7. Разработана методика выявления сил трения и степени влияния их в примененном реверсоре на прочностные показатели при двухосном сжатии натуральной и модифицированной древесины. Найдены способы устранения сил трения или сведения их к минимуму. Показано, что пренебрежение силами трения существенно меняет предполагаемое соотношение напряжений и приводит к искажению результатов в 1,4-1,6 раза.

8. Прочность при двухосном равном сжатии является важной характеристикой, дополняющей конструктивные свойства натуральной

и модифицированной древесины. Учитывая, что эта характеристика входит в отдельные критерии прочности анизотропных материалов, мы считаем возможным введение ее в нормативные материалы дополнительно к существующим характеристикам.

9. Из рассмотренных критериев прочности, предложенных различными авторами для анизотропных материалов, наиболее приемлемыми, на наш взгляд, являются: для натуральной древесины критерии Ху и Марина и Ашкеназ; для древесины, модифицированной фенолоспиртами, критерии Ху и Марина; для древесины, модифицированной сплавом металлов, откилом и смолой ПН-1, приемлемы критерии Мизеса-Хилла, Веррена и Ашкеназ.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы;

1. Д.И.Любецкий. Прочностные свойства древесины, модифицированной фенолоспиртами, при двухосном сжатии. — В сб.: "Тезисы докладов Всесоюзной конференции по современным проблемам древесиноведения". Минск, 1971.

2. Д.И.Любецкий. К методике испытания материалов на двухосное и трехосное сжатие. — В сб.: "Механизация лесозаготовок и транспорт лесов". Изд. "Высшая школа", вып. 2, Минск, 1972.

3. С.С.Макаревич, Д.И.Любецкий. Определение модуля упругости модифицированной древесины. — В сб.: "Модификация древесины синтетическими полимерами", вып. 1, Минск, 1973.

4. С.С.Макаревич, Д.И.Любецкий, Г.М.Хвесько. Прочность модифицированной древесины при сжатии вдоль волокон. — В сб. "Модификация древесины синтетическими полимерами", вып. 1, Минск, 1973.

5. Д.И.Любецкий, С.С.Макаревич, Г.М.Хвесько. К вопросу влажности модифицированной древесины. — Сб.: "Модификация древесины синтетическими полимерами", вып. 1, Минск, 1973.

6. С.С.Макаревич, Д.И.Любецкий, Г.М.Хвесько. Исследование прочностных и деформативных свойств при сжатии модифицированной древесины как конструкционного материала. — В сб.: "Тезисы докладов У1 конференции молодых ученых и специалистов Прибалтики и БССР по проблемам стройматериалов и конструкций". Таллин, 1973.

Материалы диссертации доложены на

1. Всесоюзной конференции по современным проблемам древесиноведения. Минск, 1971.

2. У I Конференции молодых ученых и специалистов Прибалтики и Белоруссии по проблемам строительных материалов и конструкций. Таллин, 1973.

3. Научно-технических конференциях Белорусского технологического института имени С.М.Кирова 1969, 1971--1974 гг.

---

АТ 10152. Зак. 248. Тир. 1 экз. Объем 1,0 п.л. 6/05-74 г.

Отпечатано на ротационной ВТИ имени С.М. Кирова, г. Минск,  
ул. Свердлова 13.