

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ НАГРУЖЕНИЯ, УГЛА ОРИЕНТАЦИИ ВОЛОКОН И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕРЕЗЫ

А. П. Большаков, Н. Н. Гердюков, Е. В. Зотов, Г. Б. Красовский,
С. А. Новиков, В. А. Сеницын, М. А. Балакшина, Ю. И. Щербак

ВНИИ экспериментальной физики, 607190 Саров

В настоящей работе представлены результаты изучения прочностных и деформационных свойств древесины березы при различных скоростях нагружения, температурах образцов и углах ориентации их волокон относительно направления нагружения. Динамические испытания ($v = 10$ м/с) при одноосном сжатии образцов проводились по методу Кольского на установке с составным стержнем Гопкинсона. Отмечено заметное динамическое упрочнение образцов с углами ориентации волокон $\alpha = 0$ и 5° . При температурах испытания $+65$, $+20$ и -30 °С динамическая прочность выше квазистатической примерно на 23, 31 и 42 % соответственно.

В инженерной практике, имеющей дело с ударными нагрузками, широкое распространение получили ограничители ударных нагрузок (демпферы). Наиболее часто они применяются при транспортировке различных грузов для снижения воздействия на эти грузы транспортных нагрузок, в том числе аварийных. В качестве демпфирующих в большинстве случаев используют такие материалы, сжатие которых до десятков процентов происходит при практически постоянном напряжении ($\sigma = \text{const}$). Такими материалами являются, например, малоплотные пенопласты, трубчатые (при сжатии в осевом направлении) и перфорированные крешеры из металла [1–4]. Подбором материала демпфера можно варьировать уровень передаваемых давлений от единиц (малоплотный пенопласт) до сотен и тысяч МПа (трубчатые и перфорированные крешеры из металла).

Характер деформирования древесины при поперечном сжатии аналогичен характеру деформирования пенополистирола [5, 6]. Доступность древесины, большое разнообразие пород дерева со значительно различающимися механическими свойствами делают ее привлекательным материалом для использования в качестве ограничителя ударных нагрузок.

Для испытаний из центральной доски березы (Волго-Вятский район) были изготовлены образцы цилиндрической формы (диаметр и высота 25 мм) с различной ориентацией их оси относительно волокон. Для сохранения влажности древесины постоянной (6–7 %) образцы после просушки упаковывались в герметичные пакеты из тонкой (0,02 мм) полиэтиленовой пленки, в которых затем испытывались. Начальная плотность образцов ρ_0 изменялась в пределах от 540 до 710 кг/м³.

Динамические испытания образцов ($v = 10$ м/с) при одноосном сжатии проводились по методу Кольского на установке с составным стержнем Гопкинсона [7]. Блок-схема измерительно-испытательного комплекса представлена на рис. 1. Нагружающий импульс, близкий к прямоугольной форме, с амплитудой $0,2 \cdot 10^6$ Н и длительностью 200 мкс генерировался взрывным нагружающим устройством, которое содержит заряд 4 жидкого взрывчатого вещества (ЖВВ) массой 0,75 г, демпфирующую систему (стальной ударник 5, перфорированный крешер 6) и массивный подпорный диск 2. Взрыв локализовался в

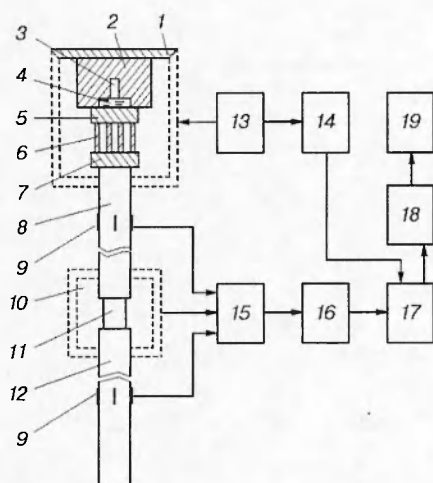


Рис. 1. Блок-схема измерительно-испытательного комплекса:

1 — защитная бронекamera; 2 — массивный подпор; 3 — искровой разрядник; 4 — заряд ЖВВ; 5 — стальной ударник; 6 — алюминиевый перфоратор; 7 — переходный диск; 8 — нагружающий стержень; 9 — тензодатчики; 10 — термостат; 11 — испытываемый образец; 12 — опорный стержень; 13 — высоковольтная установка; 14 — блок синхронизации; 15 — тензостанция; 16 — усилитель; 17 — цифровой регистратор; 18 — персональный компьютер; 19 — принтер

защитной бронекамере 1. Иницирование заряда ЖВВ осуществлялось искровым разрядником 3 при подаче на него высоковольтного импульса от подрывной установки 13 [8].

Испытания образцов 11 при пониженной ($-30\text{ }^{\circ}\text{C}$) и повышенной ($+65\text{ }^{\circ}\text{C}$) температурах проводились с выдержкой образцов при требуемой температуре в термостате 10. Для выравнивания температуры по объему время выдержки образцов в термостате составляло не менее 1 ч. Регистрация сигнала с тензодатчиков 9 проводилась с помощью тензостанции 15 на цифровом регистраторе 17, выполненном в системе САМАС и управляемом персональным компьютером 18. Информация с тензодатчиков выводилась на дискету для дальнейшей обработки.

В экспериментах измерялась деформация первого (нагружающего) стержня 8 $\varepsilon_1(t)$ под действием нагружающего импульса сжатия и второго (опорного) стержня 12 $\varepsilon_2(t)$ под действием проходящего импульса сжатия. С помощью экспериментальных зависимостей $\varepsilon_1(t)$ и $\varepsilon_2(t)$ определялись напряжение в образце от времени $\sigma_s(t) = \varepsilon_2(t) \cdot EF_c/F_0$, где F_c и F_0 — площади поперечного сечения стержня и образца соответственно, и деформация

образца от времени $\varepsilon_s(t) = (2a/l) \int_0^t [\varepsilon_1(t) - \varepsilon_2(t)] dt$, где a — скорость распространения

упругих волн в стержне; l — начальная длина образца. Скорость нагружения образца v определялась по формуле $v = \sigma_m/\rho a$, где ρ — плотность материала стержня; $\sigma_m = \varepsilon_{1m}E$ — максимальная величина напряжения в волне сжатия в первом стержне (ε_{1m} — максимальная величина упругой деформации, E — модуль упругости материала стержня).

С помощью точной дозировки ЖВВ величина максимальной нагрузки σ_m повторялась от испытания к испытанию и составляла 225 ± 5 МПа. Поэтому скорость нагружения образцов также сохранялась постоянной и равной 10 м/с.

Испытания образцов при квазистатическом нагружении ($v = 10^{-4}$ м/с) проводились на установке Р-5 с использованием термостатов для обеспечения необходимой температуры. Результаты квазистатических и динамических испытаний приведены в табл. 1 и 2 соответственно.

Диаграммы σ - ε , полученные при динамических испытаниях образцов, представлены на рис. 2. Сходный характер имеют диаграммы деформирования образцов при $+20$ и $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Основным отличием динамических диаграмм от квазистатических является заметно меньшая (в 1,5–2 раза) величина деформаций, при достижении которых начинается процесс разрушения образцов независимо от температуры испытания.

Поперечное сжатие образцов ($\alpha = 90^{\circ}$) при динамическом и квазистатическом нагружениях происходит при практически постоянном напряжении до значительных величин

Таблица 1

α , град	ρ_s , кг/м ³	σ_s , МПа	ε_s , %
$T = -30 \text{ }^\circ\text{C}$			
0	620 ± 10	88 ± 5	2,7
5	605 ± 35	85 ± 10	1,4
10	600 ± 20	65 ± 13	1,7
15	620 ± 50	71 ± 6	1,6
30	620 ± 15	38 ± 4	3,3
45	605 ± 15	24 ± 3	2,8
90	580 ± 15	12 ± 2	32
$T = +20 \text{ }^\circ\text{C}$			
0	635 ± 15	81 ± 3	2,1
5	595 ± 55	81 ± 10	1,6
10	610 ± 30	65 ± 8	2,8
15	625 ± 85	66 ± 8	3,4
30	620 ± 25	35 ± 5	4,2
45	610 ± 45	23 ± 4	4,6
90	595 ± 45	11 ± 1	41
$T = +65 \text{ }^\circ\text{C}$			
0	635 ± 15	86 ± 3	2,4
5	600 ± 30	78 ± 7	1,9
10	595 ± 15	58 ± 11	2,9
15	640 ± 60	74 ± 5	2,0
30	620 ± 15	35 ± 6	3,6
45	590 ± 15	16 ± 2	2,7
90	600 ± 30	10 ± 1	36

Таблица 2

α , град	ρ_s , кг/м ³	σ_s , МПа	ε_s , %
$T = -30 \text{ }^\circ\text{C}$			
0	615 ± 5	128 ± 5	1,5 ± 0,3
5	598 ± 42	119 ± 26	1,1 ± 0,2
10	605 ± 5	57 ± 1	1,05 ± 0,50
15	618 ± 42	65 ± 7	1,50 ± 0,25
30	640 ± 10	34	1,5
45	640	17	2,6
90	590 ± 10	8	14 ± 2
$T = +20 \text{ }^\circ\text{C}$			
0	620 ± 10	105 ± 8	1,25 ± 0,05
5	610 ± 20	108 ± 1	1,4
10	610 ± 20	77 ± 31	1,05 ± 0,05
15	620 ± 40	81 ± 5	1,4
30	625 ± 15	35 ± 2	1,7
45	620	19 ± 1	2,0 ± 0,4
90	590	12	12
$T = +65 \text{ }^\circ\text{C}$			
0	620	104	1,6
5	580	94	1,8
10	600 ± 20	61 ± 17	1,55 ± 0,50
15	540	68	1,2
30	610	32	1,5
45	590	18	1,7
90	580	10	17

деформаций (30–40%). Диаграмма σ - ε деформирования образцов при поперечном сжатии (рис. 3) имеет большое сходство с диаграммой сжатия малоплотного пенополистирола ПС-1 ($\rho \sim 300 \text{ кг/м}^3$) [2].

Влияние угла ориентации α на прочность образцов при трех температурах и двух скоростях нагружения показано на рис. 4. Прочность древесины с увеличением угла α быстро падает: она максимальна при продольном сжатии ($\alpha = 0$) и минимальна при поперечном ($\alpha = 90^\circ$). Соотношение предельных значений для них составляет порядка десяти. Вместе с тем работа, затрачиваемая на деформирование образцов до разрушения при продольном и поперечном сжатии, примерно одинакова.

Характер разрушения образцов зависит от угла ориентации волокон: при $\alpha = 0, 5, 10, 15^\circ$ происходит расщепление образцов, при $\alpha = 30, 45^\circ$ — разрушение в виде сколов. При поперечном сжатии до $\varepsilon \approx 50\%$ происходит лишь уплотнение образцов.

Влияние температуры испытания (от -30 до $+65 \text{ }^\circ\text{C}$) на деформационные и прочностные характеристики образцов ($\alpha = 0, 5, 10, 15, 30, 45$ и 90°) при квазистатическом нагружении не отмечено, в отличие от работ [9, 10], где показано, что повышение температуры древесины вызывает снижение прочности, причем это влияние более значительно при увеличении влажности. При динамическом нагружении прочность образцов ($\alpha = 0, 5^\circ$) лишь при температуре $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ превышает на $10 \div 20\%$ соответствующие величины,

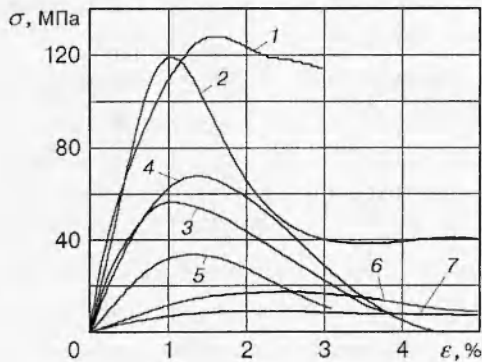


Рис. 2

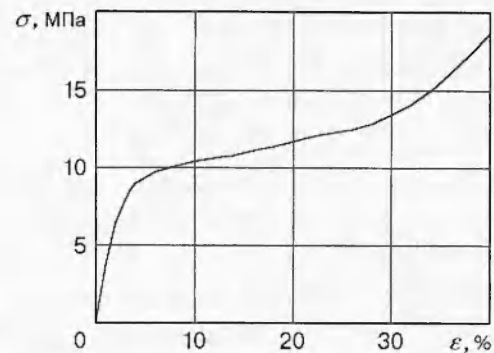


Рис. 3

Рис. 2. Динамические диаграммы σ - ϵ древесины березы при одноосном сжатии ($T = -30$ °С):

$\alpha = 0, 5, 10, 15, 30, 45, 90^\circ$ (кривые 1-7 соответственно)

Рис. 3. Характер деформирования древесины березы при поперечном сжатии ($\alpha = 90^\circ$)

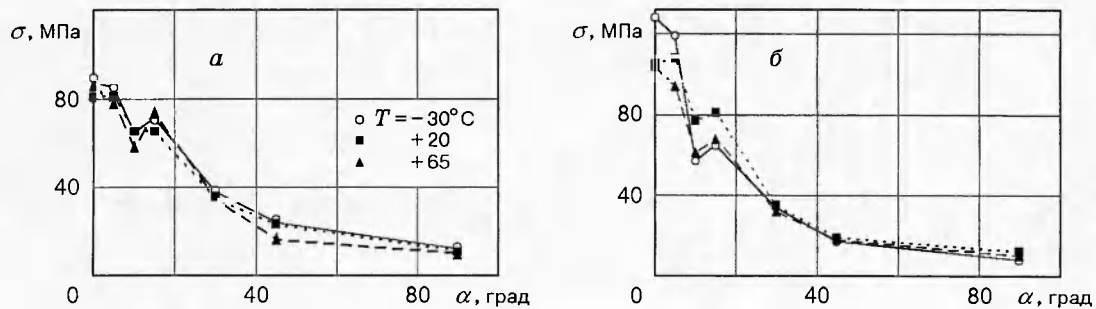


Рис. 4. Зависимость прочности древесины березы от угла ориентации волокон и температуры:

$v = 10^{-4}$ м/с (а) и $v = 10$ м/с (б)

полученные при температурах $+20$ и $+65$ °С.

Отмечено заметное повышение прочности при динамическом нагружении по сравнению со статическим у образцов с углами ориентации волокон $\alpha = 0, 5^\circ$ [11]. При температурах испытания $+65, +20$ и -30 °С динамическая прочность выше, чем при квазистатическом нагружении, на 23, 31 и 42 % соответственно.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 97-01-00344).

Авторы выражают благодарность С. В. Сеньковой за обработку экспериментальных данных, С. В. Белову и В. Н. Ерунову за участие в проведении измерений.

ЛИТЕРАТУРА

- Новиков С. А., Сеницын В. А., Погорелов А. П. Расчет взрывного нагружающего устройства для создания импульса давления заданных параметров // Физика горения и взрыва. 1980. Т. 16, № 6. С. 111-113.

2. Крысанов Ю. А., Новиков С. А. Исследование динамического сжатия пенополистирола // Пробл. прочности. 1977. № 8. С. 115–117.
3. Абакумов А. И., Квасков Г. А., Новиков С. А., Сеницын В. А. Исследования упруго-пластического деформирования цилиндрических оболочек при осевом ударном нагружении // ПМТФ. 1988. № 3. С. 150–153.
4. Багрянов Б. В., Квасков Г. А., Новиков С. А., Сеницын В. А. Исследование осевого динамического сжатия трубчатых металлических крешеров // ПМТФ. 1982. № 1. С. 156–159.
5. Боровиков А. М., Уголев Б. Н. Справочник по древесине. М.: Лесн. пром-сть, 1989.
6. Филин Ф. П. Прикладная механика твердого деформируемого тела. М.: Наука, 1975. Т. 1.
7. Большаков А. П., Новиков С. А., Сеницын В. А. Прочность конструкционных материалов при динамических нагрузках (обзор) // Вопр. атомной науки и техники. Сер. Физика и техника ядерных реакторов. 1989. Вып. 1. С. 23–46.
8. Зотов Е. В., Козырев А. С., Бабадей С. М. и др. Инициирование детонации растворов нитробензола в тетранитрометане в канале электрического искрового разряда // Физика горения и взрыва. 1982. Т. 18, № 4. С. 110–114.
9. Хмелидзе Г. Н., Романенков И. Т., Шенгелия А. К. Влияние температуры на прочность и деформативность древесины сосны и лиственницы // Деревообраб. пром-сть. 1986. № 10. С. 15, 16.
10. Волынский В. И. Влияние влажности и температуры на механические показатели древесины с учетом ее плотности // Изв. вузов. Лесн. журн. 1991. № 5. С. 75–79.
11. Reid S. R., Peny C. Dynamic enhancement of the crushing strength of wood // 18th Intern. Congr. Theor. and Appl. Mech., Haifa, Aug. 22–28, 1992. P. 122, 123.

Поступила в редакцию 28/1 1997 г.
