

УДК 624.046.5:621.921.43:620.171.33

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ

¹Ерофеев В.Т., ²Старцев О.В., ¹Антошкин В.Д., ¹Гудожников С.С., ¹Самолькина Е.Г.,
¹Болдина И.В., ²Махоньков А.Ю.

¹ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева»,
Саранск, e-mail: yerofeevvt@mail.ru;

²ФГУП «Всероссийский институт авиационных материалов» ГИЦ РФ,
Москва, e-mail: startsevov@gmail.com

Исследована прочность различных пород древесины и изменение показателей после выдерживания в условиях повышенной влажности. После выдерживания образцов в условиях повышенной влажности были получены следующие результаты: наибольшее изменение прочности при сжатии вдоль волокон, по сравнению с первоначальными данными, произошло у образцов из ясеня, клена и липы, а наименьшее – у образцов из ели, дуба и вяза; наибольшее изменение прочности при сжатии поперек волокон произошло у образцов из березы и ясеня, клена и липы, а наименьшее – у образцов из сосны, ели и дуба; наибольшее изменение прочности при изгибе произошло у образцов из клена и липы, а наименьшее – у образцов из дуба. Зависимости изменения показателей прочности древесины от длительности выдерживания в условиях повышенной влажности выражены в виде уравнений регрессии. При этом установлено, что зависимости изменения прочности в большинстве случаев описываются полиномиальной функцией. Коэффициенты детерминации показывают, что полученные уравнения регрессии описывают вариацию значений прочности для всех пород древесины в пределах от 72,3 до 100%. Для применения в условиях повышенной влажности без специальной защиты более предпочтительны хвойные породы деревьев (сосна, ель), дуб и вяз, а менее – береза, клен и липа.

Ключевые слова: древесина, прочность, долговечность

ESTIMATION OF STRENGTH OF HARDWOOD IN HIGH HUMIDITY CONDITIONS

¹Erofeev V.T., ²Startsev O.V., ¹Antoshkin V.D., ¹Gudozhnikov S.S., ¹Samolkina E.G.,
¹Boldina I.V., ²Makhonkov A.Y.

¹Mordovia State University n.a. N.P. Ogareva, Saransk, e-mail: yerofeevvt@mail.ru;

²All-Russia scientific research institute of aviation materials «VIAM» FSUE, RF SRC,
Moscow, e-mail: startsevov@gmail.com

Investigated the durability of different wood species and the change in performance after conditioning in conditions of high humidity. After keeping the samples in damp conditions the following results were obtained: the greatest change in the compressive strength along the grain, compared to the original data, occurred in samples from ash, maple and lime trees, and the lowest in samples of spruce, oak and elm; the greatest change in the compressive strength across the grain occurred in samples from birch and ash, maple and lime trees, and the lowest for the samples of pine, if and oak; the greatest change in the Flexural occurred in samples from maple and Linden, and lowest in samples from the oak. According to the changes of the strength of wood on the duration of incubation in high humidity conditions expressed in the form of regression equations. It was found that the dependence of the strength changes in most cases describes a polynomial function. The coefficients of determination show that the obtained regression equations describe the variation of strength values for all types of wood ranging from 72,3 to 100%. For use in high humidity conditions without special protection preferred conifers (pine, spruce, oak and elm, and less – birch, maple and basswood).

Keywords: wood, strength, durability

Древесина является одним из важнейших строительных материалов. Различные породы древесины используются для изготовления строительных конструкций, отделочных материалов, мебели и т.д. Древесина обладает высокой прочностью при действии сжимающих и растягивающих напряжений. Показатели прочности данного материала зависят от направления механических сил по отношению к расположению волокон, а также изменяются при увлажнении и высушивании [1].

Длительное сопротивление древесины воздействиям нагрузок при естественных

условиях влажности и температуры является основной характеристикой этого материала, определяющей его применение в строительных конструкциях [3].

Настоящая работа посвящена исследованию прочности древесины различных пород при выдерживании в условиях повышенной влажности.

В ходе работы была исследована прочность при сжатии вдоль и поперек волокон и при изгибе образцов девяти пород древесины (береза, красное дерево, сосна, ель, ясень, дуб, вяз, клен, липа). На каждый этап испытаний было изготовлено по 5 об-

разцов размерами 1×1×3 см. Изготовление и подготовка образцов древесины к испытаниям соответствовали ГОСТ 16483.0 «Древесина. Методы испытаний. Общие требования». Исследования проводились на базе лаборатории строительных материалов и изделий ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарева» и лаборатории микробиологического анализа отдела химико-биологических исследований НИИ химии ФГАОУ ВО «ННГУ им. Н.И. Лобачевского». Испытания на прочность проводились на прессе ПСУ-10 (10 т).

Древесина вследствие волокнистого строения отличается высокой прочностью при сжатии вдоль волокон и значительно меньшей – поперек волокон. При сжатии вдоль волокон деформация выражается в небольшом укорочении образца. Разрушение при сжатии начинается с продоль-

ного изгиба отдельных волокон, которое во влажных образцах из мягких и вязких пород проявляется как смятие торцов и выпучивание боков, а в сухих образцах и в твёрдой древесине вызывает сдвиг одной части образца относительно другой. В среднем для всех отечественных пород при влажности древесины 12% предел прочности при сжатии вдоль волокон составляет около 50 МПа [1, 3].

На первоначальном этапе исследования было установлено, что средние значения прочности при сжатии вдоль волокон варьируются в пределах от 63,8 МПа (сосна) до 98 МПа (ясень).

Результаты исследования образцов древесины, выдерживаемых в условиях повышенной влажности на прочность при сжатии вдоль волокон, представлены на рис. 1.

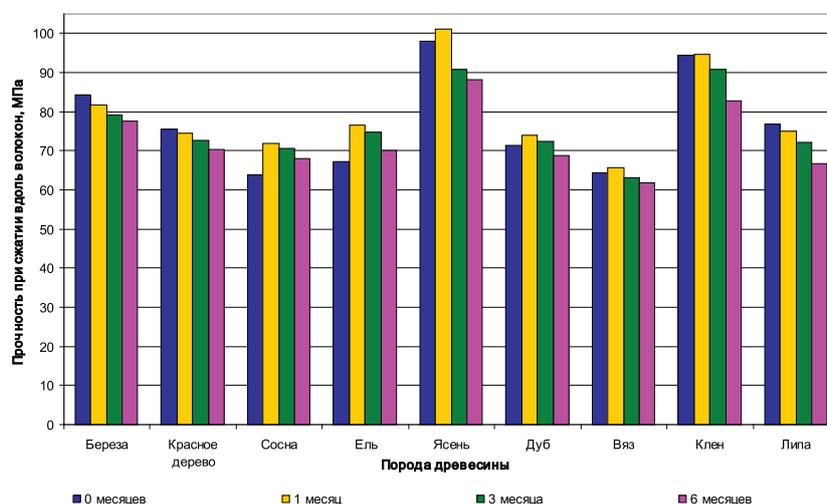


Рис. 1. Изменение прочности при сжатии вдоль волокон образцов древесины различных пород при выдерживании в условиях повышенной влажности

Как видно из рис. 1, у образцов из березы, красного дерева и липы наблюдается снижение значения прочности при сжатии вдоль волокон в течение всего исследуемого периода. В целом за весь период испытаний данный показатель снизился на 8,2; 6,5 и 13,1% соответственно.

У образцов из сосны и ели через месяц выдерживания в условиях повышенной влажности наблюдается увеличение исследуемого показателя на 12,9 и 13,9% соответственно. Далее наблюдается снижение прочности, но и через 6 месяцев выдерживания значения исследуемого показателя превышают первоначальные: у сосны на 6,7%, у ели на 4,2%.

У остальных образцов на первоначальном этапе исследования наблюдается также незначительное повышение

прочности. Так, у образцов из ясеня прочность увеличилась на 3,1%, дуба – 3,5%, вяза – 1,9%, клена – 0,3%. Далее, как и у образцов из сосны и ели, наблюдается снижение исследуемого показателя. Через 6 месяцев прочность при сжатии вдоль волокон снизилась у образцов из ясеня на 9,9%, дуба – 3,6%, вяза – 4,1%, клена – 12,9% по сравнению с данными в начале исследования.

В целом за весь период исследования наибольшее изменение прочности при сжатии вдоль волокон по сравнению с первоначальными данными произошло у образцов из ясеня (около 10%), клена и липы (более 12%), а наименьшее – у образцов из ели, дуба и вяза (около 4%).

Зависимость изменения прочности древесины при сжатии вдоль волокон от

длительности выдерживания в условиях повышенной влажности можно выразить в виде уравнений регрессии. С помощью табличного процессора Excel было получено 5 уравнений регрессии. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Уравнения регрессии прочности древесины при сжатии вдоль волокон от длительности нахождения в условиях повышенной влажности

№ п/п	Тип древесины	Вид модели	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации R^2
1	Береза	Линейная	$y = 86,465 - 2,319x$	0,9893
		Логарифмическая	$y = 84,624 - 4,9792\ln(x)$	0,9890
		Полиномиальная	$y = 87,802 - 3,6565x + 0,2675x^2$	0,9999
		Степенная	$y = 84,659x^{-0,0614}$	0,9864
		Экспоненциальная	$y = 86,621e^{-0,0287x}$	0,9916
2	Красное дерево	Линейная	$y = 77,365 - 1,639x$	0,9681
		Логарифмическая	$y = 75,911 - 3,3266\ln(x)$	0,8648
		Полиномиальная	$y = 75,703 + 0,0235x - 0,3325x^2$	0,9999
		Степенная	$y = 75,94x^{-0,0455}$	0,8586
		Экспоненциальная	$y = 77,47e^{-0,0225x}$	0,9647
3	Сосна	Линейная	$y = 65,75 + 1,157x$	0,1711
		Логарифмическая	$y = 65,856 + 3,5073\ln(x)$	0,3409
		Полиномиальная	$y = 52,288 + 14,619x - 2,6925x^2$	0,9122
		Степенная	$y = 65,744x^{0,053}$	0,3564
		Экспоненциальная	$y = 65,601e^{0,0177x}$	0,1835
4	Ель	Линейная	$y = 70,465 + 0,657x$	0,0394
		Логарифмическая	$y = 69,915 + 2,7596\ln(x)$	0,1507
		Полиномиальная	$y = 52,927 + 18,195x - 3,5075x^2$	0,9373
		Степенная	$y = 69,77x^{0,0398}$	0,1616
		Экспоненциальная	$y = 70,265e^{0,0098x}$	0,0454
5	Ясень	Линейная	$y = 104,4 - 3,959x$	0,7197
		Логарифмическая	$y = 100,58 - 7,6538\ln(x)$	0,5832
		Полиномиальная	$y = 97,563 + 2,8785x - 1,3675x^2$	0,7883
		Степенная	$y = 100,69x^{-0,0818}$	0,5944
		Экспоненциальная	$y = 104,87e^{-0,0422x}$	0,7312
6	Дуб	Линейная	$y = 73,935 - 0,927x$	0,3143
		Логарифмическая	$y = 72,706 - 1,3696\ln(x)$	0,1488
		Полиномиальная	$y = 66,348 + 6,6605x - 1,5175x^2$	0,9880
		Степенная	$y = 72,713x^{-0,0195}$	0,1533
		Экспоненциальная	$y = 73,984e^{-0,0131x}$	0,3200
7	Вяз	Линейная	$y = 66,335 - 1,054x$	0,6630
		Логарифмическая	$y = 65,243 - 1,9426\ln(x)$	0,4884
		Полиномиальная	$y = 63,16 + 2,121x - 0,635x^2$	0,8555
		Степенная	$y = 65,256x^{-0,0307}$	0,4937
		Экспоненциальная	$y = 66,388e^{-0,0166x}$	0,6689
8	Клен	Линейная	$y = 100,3 - 3,859x$	0,8205
		Логарифмическая	$y = 96,504 - 7,3647\ln(x)$	0,6480
		Полиномиальная	$y = 90,213 + 6,2285x - 2,0175x^2$	0,9999
		Степенная	$y = 96,669x^{-0,0827}$	0,6405
		Экспоненциальная	$y = 100,9e^{-0,0434x}$	0,8139
9	Липа	Линейная	$y = 80,9 - 3,287x$	0,9378
		Логарифмическая	$y = 77,92 - 6,5921\ln(x)$	0,8179
		Полиномиальная	$y = 76,312 + 1,3005x - 0,9175x^2$	0,9962
		Степенная	$y = 78,052x^{-0,0915}$	0,8034
		Экспоненциальная	$y = 81,382e^{-0,0458x}$	0,9282

Из табл. 1 видно, что, согласно полученным коэффициентам детерминации R^2 , зависимость прочности при сжатии вдоль волокон от длительности нахождения в условиях повышенной влажности для всех пород древесины наилучшим образом описывает параболическая (полиномиальная) функция.

Коэффициент a_1 показывает, насколько изменится прочность древесины при сжатии вдоль волокон при изменении длительности выдерживания на единицу времени, а коэффициент a_2 – ускорение, с которым данное изменение будет происходить. Таким образом, получается, что образцы из березы начнут терять свою прочность с самого начала нахождения в условиях повышенной влажности, а все остальные образцы первоначально несколько наберут прочность, но затем начнут ее терять с соответствующим коэффициенту a_2 ускорением.

Коэффициенты детерминации показывают, что полученные уравнения регрессии описывают вариацию значений прочности при сжатии вдоль волокон в условиях повы-

шенной влажности для образцов из березы, красного дерева, клена и липы практически на 100%, сосны – 91,2%, ели – 93,7%, ясени – 78,8%, дуба – 98,8%, вяза – 85,6%.

В местах врубок или соединений деревянных деталей с металлическими (под башмаками, болтами и др.) существенное практическое значение имеет прочность древесины при сжатии поперек волокон. За условный предел прочности при сжатии поперек волокон принимают напряжение, соответствующее пределу пропорциональности, т.е. максимальное значение напряжения на прямолинейном участке диаграммы. Условный предел в 6–10 раз меньше чем при сжатии вдоль волокон [1, 3].

До помещения образцов в условия повышенной влажности было установлено, что средние значения прочности при сжатии поперек волокон варьируются в пределах от 10,75 МПа (сосна) до 24,5 МПа (ясень).

Результаты исследования прочности образцов древесины, выдерживаемых в условиях повышенной влажности при сжатии поперек волокон, представлены на рис. 2.

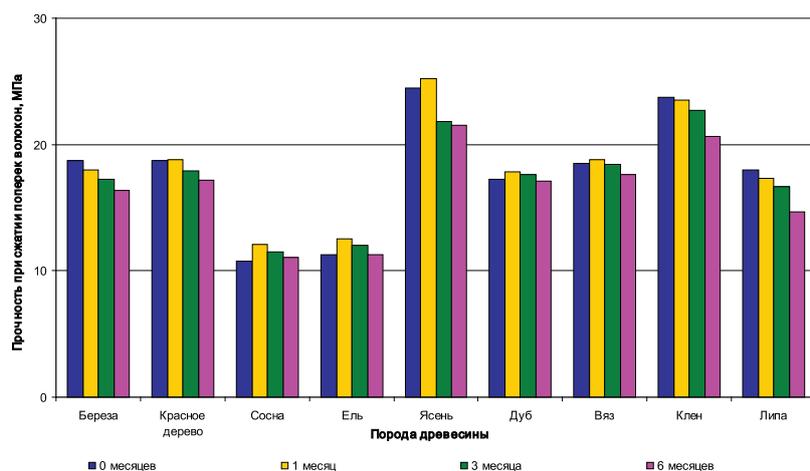


Рис. 2. Изменение прочности при сжатии поперек волокон образцов древесины различных пород при выдерживании в условиях повышенной влажности

Как видно из рис. 2, у трех из девяти исследуемых образцов наблюдается снижение прочности при сжатии поперек волокон в течение всего периода исследования. У образцов из березы исследуемый показатель снизился на 12,5%, из клена – на 13%, из липы – на 18,5% по сравнению с первоначальными данными.

Как и в предыдущем исследовании, образцы из сосны и ели через 1 месяц выдерживания показали рост прочности на 12,4 и 11,1% соответственно. Затем пошло снижение показателя. Через 6 месяцев у образцов из сосны отмечается превышение

первоначального значения прочности на 2,7%, у образцов из ели данный показатель принял значение, равное первоначальному.

У остальных образцов древесины наблюдается незначительный рост прочности через 1 месяц выдерживания в условиях повышенной влажности (из красного дерева – 0,3%, ясени – 2,9%, дуба – 3,4%, вяза – 1%) и снижение в последующий период. Через 6 месяцев прочность при сжатии поперек волокон у исследуемых образцов снизилась на 8,4; 12,2; 1 и 5% соответственно по сравнению с первоначальными значениями.

В целом за весь период исследования наибольшее изменение прочности при сжатии поперек волокон по сравнению с первоначальными данными про-

изошло у образцов из березы и ясеня (около 12%), клена и липы (более 13%), а наименьшее – у образцов из сосны, ели и дуба (от 0 до 3%).

Таблица 2

Уравнения регрессии прочности древесины при сжатии поперек волокон от длительности нахождения в условиях повышенной влажности

№ п/п	Тип древесины	Вид модели	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации R^2
1	Береза	Линейная	$y = 19,55 - 0,78x$	0,9990
		Логарифмическая	$y = 18,90 - 1,63\ln(x)$	0,9500
		Полиномиальная	$y = 19,425 - 0,655x - 0,025x^2$	0,9998
		Степенная	$y = 18,921x^{-0,0927}$	0,9408
		Экспоненциальная	$y = 19,643e^{-0,0444x}$	0,9974
2	Красное дерево	Линейная	$y = 19,565 - 0,562x$	0,8796
		Логарифмическая	$y = 19,034 - 1,0999\ln(x)$	0,7305
		Полиномиальная	$y = 18,565 + 0,438x - 0,2x^2$	0,9687
		Степенная	$y = 19,049x^{-0,061}$	0,7282
		Экспоненциальная	$y = 19,62e^{-0,0312x}$	0,8788
3	Сосна	Линейная	$y = 11,27 + 0,029x$	0,0042
		Логарифмическая	$y = 11,148 + 0,2443\ln(x)$	0,0640
		Полиномиальная	$y = 9,0325 + 2,2665x - 0,4475x^2$	0,7963
		Степенная	$y = 11,13x^{0,0225}$	0,0709
		Экспоненциальная	$y = 11,245e^{0,0031x}$	0,0061
4	Ель	Линейная	$y = 11,875 - 0,05x$	0,0111
		Логарифмическая	$y = 11,676 + 0,0935\ln(x)$	0,0084
		Полиномиальная	$y = 9,375 + 2,45x - 0,5x^2$	0,9000
		Степенная	$y = 11,661x^{0,0083}$	0,0092
		Экспоненциальная	$y = 11,859e^{-0,0041x}$	0,0104
5	Ясень	Линейная	$y = 26,35 - 1,237x$	0,7326
		Логарифмическая	$y = 25,205 - 2,4518\ln(x)$	0,6241
		Полиномиальная	$y = 25,063 + 0,0505x - 0,2575x^2$	0,7580
		Степенная	$y = 25,246x^{-0,1063}$	0,6345
		Экспоненциальная	$y = 26,524e^{-0,0535x}$	0,7424
6	Дуб	Линейная	$y = 17,625 - 0,076x$	0,0856
		Логарифмическая	$y = 17,478 - 0,0545\ln(x)$	0,0095
		Полиномиальная	$y = 16,275 + 1,274x - 0,27x^2$	0,9501
		Степенная	$y = 17,477x^{-0,0032}$	0,0099
		Экспоненциальная	$y = 17,625e^{0,0044x}$	0,0867
7	Вяз	Линейная	$y = 19,125 - 0,317x$	0,5915
		Логарифмическая	$y = 18,774 - 0,5554\ln(x)$	0,3938
		Полиномиальная	$y = 17,663 + 1,1455x - 0,2925x^2$	0,9943
		Степенная	$y = 18,779x^{-0,0307}$	0,3965
		Экспоненциальная	$y = 19,146e^{-0,0175x}$	0,5941
8	Клен	Линейная	$y = 25,165 - 1,004x$	0,8608
		Логарифмическая	$y = 24,206 - 1,9523\ln(x)$	0,7057
		Полиномиальная	$y = 22,94 + 1,221x - 0,445x^2$	0,9961
		Степенная	$y = 24,25x^{-0,0875}$	0,6934
		Экспоненциальная	$y = 25,324e^{-0,0451x}$	0,8507
9	Липа	Линейная	$y = 19,33 - 1,065x$	0,9140
		Логарифмическая	$y = 18,358 - 2,128\ln(x)$	0,7913
		Полиномиальная	$y = 17,668 + 0,5975x - 0,3325x^2$	0,9853
		Степенная	$y = 18,422x^{-0,1296}$	0,7689
		Экспоненциальная	$y = 19,564e^{-0,0653x}$	0,8984

Для описания зависимости прочности древесины при сжатии поперек волокон от длительности нахождения в условиях повышенной влажности также были получены уравнения регрессии (табл. 2).

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что зависимость прочности образцов при сжатии поперек волокон от длительности нахождения в условиях повышенной влажности для образцов из березы можно описать с помощью двух функций – линейной и параболической (полиномиальной), а для всех остальных пород древесины наилучшей будет параболическая (полиномиальная) функция.

Коэффициент a_1 показывает, насколько изменится прочность древесины при сжатии поперек волокон при изменении длительности выдерживания на единицу времени, а коэффициент a_2 – ускорение, с которым данное изменение будет происходить. Как и в предыдущем исследовании, получается, что образцы из березы начнут терять свою прочность при сжатии поперек волокон с начала нахождения в условиях повышенной влажности, а все остальные образцы первоначально несколько наберут прочность, но затем начнут ее терять с соответствующим коэффициенту a_2 ускорением.

Коэффициенты детерминации показывают, что полученные уравнения регрессии описывают вариацию значений прочности

при сжатии поперек волокон в условиях повышенной влажности для образцов из березы, вяза, клена и липы практически на 100%, красного дерева – 96,9%, сосны – 79,6%, ели – 90%, ясеня – 75,8%, дуба – 95%.

При изгибе, особенно при сосредоточенных нагрузках, верхние слои древесины испытывают напряжение сжатия, а нижние – растяжения вдоль волокон. Примерно посередине высоты элемента проходит плоскость, в которой нет ни напряжения сжатия, ни напряжения растяжения. Эту плоскость называют нейтральной; в ней возникают максимальные касательные напряжения. Предел прочности при сжатии меньше, чем при растяжении, поэтому разрушение начинается в сжатой зоне. Видимое разрушение начинается в растянутой зоне и выражается в разрыве крайних волокон. Предел прочности древесины при статическом изгибе в зависимости от породы колеблется в пределах 70–150 МПа (при влажности 12%). Увеличение влажности приводит к снижению предела прочности до 40–90 МПа (при влажности 30% и выше) [1, 3].

На первоначальном этапе средние значения прочности при изгибе варьировались в пределах от 351 МПа (ель) до 801 МПа (ясень).

Результаты исследований прочности при изгибе образцов древесины, выдерживаемых в условиях повышенной влажности, представлены на рис. 3.

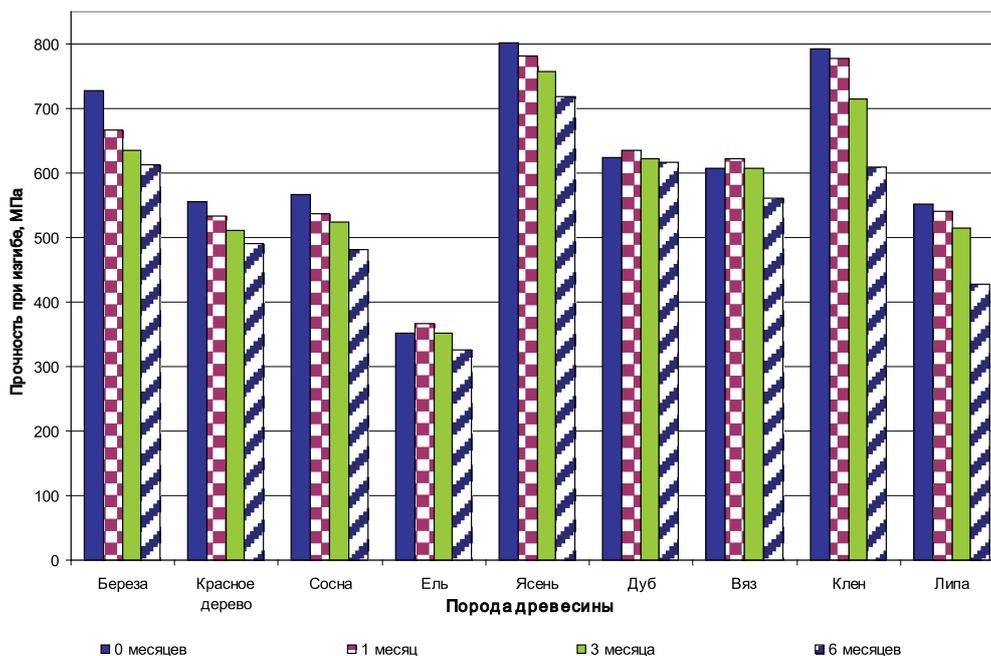


Рис. 3. Изменение прочности при изгибе образцов древесины различных пород при выдерживании в условиях повышенной влажности

Из рис. 3 видно, что у шести из девяти образцов древесины наблюдается снижение прочности при изгибе по сравнению с первоначальными значениями. За 6 месяцев у образцов из березы снижение произошло на 15,8%, красного дерева – 11,8%, сосны – 14,9%, ясеня – 10,2%, клена – 23%, липы – 22,6%.

У образцов из ели, дуба и вяза через 1 месяц после выдерживания наблюдается небольшой рост прочности при изгибе на 4,7; 1,6 и 2,7% соответственно. Дальнейшее нахождение образцов в условиях повышенной влажности приводит к снижению исследуемого показателя. Через 6 месяцев данный показатель по сравнению с первоначальными

данными снизился на 7,2% у образцов из ели и на 7,4% у образцов из вяза. Образцы из дуба показали незначительное снижение прочности при изгибе (1,2%).

В целом за весь период исследования наибольшее изменение прочности при изгибе по сравнению с первоначальными данными произошло у образцов из клена и липы (около 23%), а наименьшее – у образцов из дуба (1,2%).

Для определения степени зависимости прочности древесины при изгибе от длительности нахождения в условиях повышенной влажности так же, как и в предыдущих исследованиях, были получены уравнения регрессии (табл. 3).

Таблица 3

Уравнения регрессии прочности древесины при изгибе от длительности нахождения в условиях повышенной влажности

№ п/п	Тип древесины	Вид модели	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации R^2
1	2	3	4	5
1	Береза	Линейная	$y = 754,46 - 37,626x$	0,9424
		Логарифмическая	$y = 726,46 - 83,154\ln(x)$	0,9981
		Полиномиальная	$y = 805,18 - 88,351x + 10,145x^2$	0,9972
		Степенная	$y = 727,24x^{-0,124}$	0,9996
		Экспоненциальная	$y = 758,77e^{-0,0564x}$	0,9531
2	Красное дерево	Линейная	$y = 577,65 - 22,032x$	0,9987
		Логарифмическая	$y = 559,65 - 46,668\ln(x)$	0,9716
		Полиномиальная	$y = 581,85 - 26,232x + 0,84x^2$	0,9998
		Степенная	$y = 560,22x^{-0,089}$	0,9654
		Экспоненциальная	$y = 580,01e^{-0,0422x}$	0,9996
3	Сосна	Линейная	$y = 593,45 - 26,61x$	0,9595
		Логарифмическая	$y = 570,77 - 55,191\ln(x)$	0,8950
		Полиномиальная	$y = 577,58 - 10,735x - 3,175x^2$	0,9704
		Степенная	$y = 571,79x^{-0,105}$	0,8792
		Экспоненциальная	$y = 597,4e^{-0,0509x}$	0,9528
4	Ель	Линейная	$y = 371,88 - 9,216x$	0,4768
		Логарифмическая	$y = 361 - 15,303\ln(x)$	0,2851
		Полиномиальная	$y = 319,68 + 42,984x - 10,44x^2$	0,9664
		Степенная	$y = 361,2x^{-0,045}$	0,2934
		Экспоненциальная	$y = 372,82e^{-0,027x}$	0,4863
5	Ясень	Линейная	$y = 831,78 - 26,856x$	0,9748
		Логарифмическая	$y = 808,27 - 54,918\ln(x)$	0,8839
		Полиномиальная	$y = 808,83 - 3,906x - 4,59x^2$	0,9976
		Степенная	$y = 809,02x^{-0,072}$	0,8736
		Экспоненциальная	$y = 834,58e^{-0,0353x}$	0,9696
6	Дуб	Линейная	$y = 663,38 - 3,555x$	0,3858
		Логарифмическая	$y = 629,14 - 5,8584\ln(x)$	0,2272
		Полиномиальная	$y = 614,81 + 15,007x - 3,7125x^2$	0,7225
		Степенная	$y = 629,14x^{-0,0094}$	0,2299
		Экспоненциальная	$y = 633,42e^{-0,0057x}$	0,3893

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5
7	Вяз	Линейная	$y = 637,2 - 15,03x$	0,5395
		Логарифмическая	$y = 620,14 - 25,824\ln(x)$	0,3453
		Полиномиальная	$y = 559,57 + 62595x - 15,525x^2$	1,000
		Степенная	$y = 620,55x^{-0,0441}$	0,3499
		Экспоненциальная	$y = 638,8e^{-0,0256x}$	0,5437
8	Клен	Линейная	$y = 875,93 - 60,885x$	0,8988
		Логарифмическая	$y = 818,73 - 119,59\ln(x)$	0,7519
		Полиномиальная	$y = 761,74 + 53,302x - 22,838x^2$	1,000
		Степенная	$y = 823,76x^{-0,1695}$	0,7301
		Экспоненциальная	$y = 894,39e^{-0,0868x}$	0,8824
9	Липа	Линейная	$y = 608,63 - 39,915x$	0,8417
		Логарифмическая	$y = 570,38 - 77,46\ln(x)$	0,6873
		Полиномиальная	$y = 515,81 + 52,897x - 18,563x^2$	0,9873
		Степенная	$y = 573,74x^{-0,1572}$	0,6643
		Экспоненциальная	$y = 620,74e^{-0,0815x}$	0,8224

Из результатов, представленных в табл. 3, следует, что для всех пород древесины, за исключением образцов из березы, наилучшей моделью для описания зависимости прочности при изгибе от длительности нахождения во влажных условиях является параболическая (полиномиальная) функция.

Из полученных уравнений видно, что для образцов из красного дерева, сосны и ясеня характерно снижение прочности при изгибе с начального этапа нахождения в условиях повышенной влажности. При этом у сосны и ясеня данное снижение будет проходить с отрицательным ускорением. Для всех остальных пород древесины характерны первоначальный набор прочности и последующее ее снижение с соответствующим коэффициенту a_2 ускорением.

Также для образцов из красного дерева для описания подходит экспоненциальная модель. Согласно данной модели прочность при изгибе при выдерживании в условиях повышенной влажности будет иметь постоянный темп роста, равный минус 0,0422 МПа, т.е. равномерно снижаться.

Для образцов из березы наилучшей моделью для описания зависимости является степенная функция. Следовательно, с увеличением времени выдерживания образцов из березы в условиях повышенной влажности на 1% прочность при изгибе снизится на 0,124%.

Из полученных коэффициентов детерминации следует, что вариация значений прочности при изгибе от длительности нахождения в условиях повышенной влажности напрямую зависит у образцов из вяза

и клена ($R^2 = 100\%$), а также образцов из березы, красного дерева, ясеня и липы (более 98%). У образцов из сосны данная вариация составляет 97%, ели – 96,6%. Наименьшую зависимость значений прочности при изгибе от длительности нахождения в условиях повышенной влажности показали образцы из дуба ($R^2 = 72,3\%$).

Из всех полученных зависимостей следует, что длительность нахождения в условиях повышенной влажности влияет наименьшим образом на изменение прочности при сжатии вдоль и поперек волокон образцов из ясеня, а прочности при изгибе – образцов из дуба.

На основе полученных результатов исследований можно сделать вывод, что из представленных образцов древесины наиболее прочными являются образцы из ясеня. Однако для применения в условиях повышенной влажности наиболее предпочтительными являются хвойные породы деревьев (сосна, ель), дуб и вяз. Применение березы, клена и липы в таких условиях без специальной защиты нецелесообразно.

Долговечную работу древесины в условиях повышенной влажности можно обеспечить за счет пропитки ее пористой структуры полимерными материалами [4, 5].

Работа выполнена в рамках гранта Российской фонда фундаментальных исследований № 13-08-12097 «Исследование механизмов климатического старения и биодеструкции полимерных композитов на основе древесины методами динамической механической спектроскопии».

Список литературы

1. Миккульский В.Г., Сахаров Г.П. и др. Строительные материалы (Материаловедение. Технология конструктивных материалов): учебное издание. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2007. – 520 с.

2. Орлович Р.Б. Длительная прочность и деформативность конструкций из современных древесных материалов при основных эксплуатационных воздействиях: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01. – Л.: ЛИСИ, 1991. – 50 с.

3. Родин Б.Е. Влияние влажности древесины на прочность, деформативность и несущую способность элементов деревянных конструкций // Строительные конструкции и строительная механика. – Саранск, 1969. – С. 64–97.

4. Старцев О.В., Махоньков А.Ю., Молоков М.В., Ерофеев В.Т., Гудожников С.С. Исследование молекулярной подвижности и температуры стеклования полимерных композитов на основе древесины методами динамической механической спектроскопии // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 5 (Ч. 6). – С. 1177–1182.

5. Старцев О.В., Махоньков А.Ю., Ерофеев В.Т., Гудожников С.С., Фролов А.С., Кротов А.С. Оценка параметров влагопереноса полимерных композитов на основе древесины на стадии предварительной сушки // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 5 (Ч. 6). – С. 1183–1186.

References

1. Mikulski V.G., Sugars G.P. and other Construction materials (materials Science. Structural materials technology). Educational publication. M.: Publishing house Association building universities, 2007. 520 p.

2. Orlovich R.B. Lasting strength and deformability of structures of modern wood-based materials at the basic operational impacts: author. dis. Prof. technology. Sciences: 05.23.01. L.: LISI, 1991. pp. 50.

3. Rodin B.E. The Influence of wood moisture on the strength, deformation and bearing capacity of the elements of wooden structures / Building structures and structural mechanics. Saransk, 1969. pp. 64–97.

4. Startsev O.V., Makhonkov A.J., Molokov M.V., Erofeev V.T., Gudozhnikov S.S. Investigation of molecular mobility and glass transition temperature of polymer composites based on wood using dynamic mechanical spectrometry // Basic research. no. 5 (part 6). 2014. pp. 1177–1182.

5. Startsev O.V., Frolov A.S., Makhonkov A.J., Erofeev V.T., Gudozhnikov S.S., Krotov A.S. Estimation of parameters of moisture transport polymer composites based on wood at the stage of preliminary drying // Basic research. no. 5 (part 6). 2014. pp. 1183–1186.

Рецензенты:

Калашников В.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технология строительных материалов и деревообработки», Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза;

Монастырев П.В., д.т.н., профессор, директор института архитектуры, строительства и транспорта, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов.

Работа поступила в редакцию 23.09.2014.