

Найчук А. Я., Бондарь А. В.

ДЛИТЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ПОД УГЛОМ 60° К ВОЛОКНАМ

Введение. Общеизвестно, что древесина обладает значительной анизотропией характеристик механических и физических свойств. Характеристики упругости и прочности древесины могут быть рассчитаны для любого направления древесины по соотношениям теории упругости [1, 2].

При кратковременном действии нагрузки анизотропия характеристик механических свойств (значения прочности и деформаций) и их температурно-влажностная зависимость достаточно подробно экспериментально исследованы в работах [2–7]. Вместе с тем несомненный интерес представляет изучение закономерностей изменения анизотропии механических характеристик, зависящих от времени, так как значения длительной прочности и ползучести являются базовыми характеристиками при проектировании деревянных конструкций с необходимым сроком их эксплуатации. При этом для определения напряженно-деформированного состояния в различных сечениях элементов конструкций необходимо учитывать ориентационную зависимость значений длительной прочности и ползучести в интервале эксплуатационных температурно-влажностных условий и долговечностей.

Известные из литературных источников данные [8–12] по влиянию ориентации растягивающей силы на длительную прочность древесины весьма противоречивы. Так, исследования ориентационной зависимости характеристик прочности древесины [8, 10–12] при растяжении показали, что при углах наклона волокон минимальное время t_{\min} до разрушения характерно для угла 90° , а максимальное – для угла 0° при одном и том же уровне напряжений. Промежуточные значения времени до разрушения t_d , были определены для угла наклона волокон $\alpha = 45^\circ$ [8]. Данные результаты свидетельствуют о том, что анизотропия характеристик долговечности существенно зависит от угла α наклона волокон. С повышением α степень анизотропии характеристик кратковременной и длительной прочности увеличивается [8, 10, 11]. Следует отметить, что на анизотропию характеристик длительной прочности и ползучести древесины будут оказывать влияние такие факторы, как плотность, влажность, а также ориентация годичных слоев.

Таким образом, анизотропия характеристик длительной прочности древесины зависит как от внешних, так и внутренних факторов, где в качестве основных можно выделить: влажность, угол наклона волокон α , плотность и структуру древесины (порода), условия внешнего температурно-влажностного и силового воздействия.

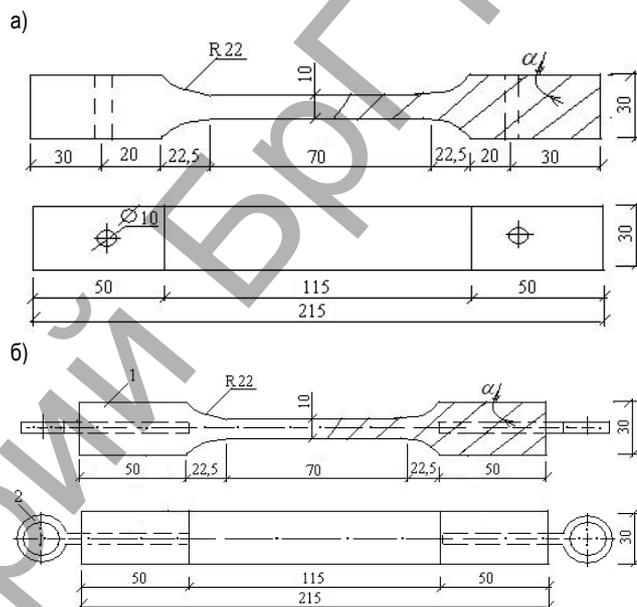
Целью данной работы являлось определение длительной прочности древесины сосны при растяжении под углом $\alpha = 60^\circ$ к волокнам в зависимости от уровня напряжений.

Методика проведения экспериментальных исследований.

Кратковременная $f_{t,60}$ и длительная $f_{t,60,t}$ прочности древесины при растяжении под углом $\alpha = 60^\circ$ определялись на образцах в виде «восьмерок» (рис. 1), выпиленных из сосновой остроганной доски толщиной 30 мм тангенциальной распиловки.

Влажность древесины доски по ее длине составляла $10\% \pm 1\%$. Толщина рабочей части образцов принималась равной 10 мм, а не 4 мм, как это установлено для стандартных образцов при определении прочности древесины на растяжение вдоль волокон. Необходимость принятия такой толщины была продиктована увеличением количества годичных слоев в рабочей части поперечного сечения испытываемых образцов, что способствовало уменьшению рассеивания значений разрушающей F_{\max} нагрузки испытанных образцов.

Из общего числа образцов, выпиливаемых из доски, 10 предназначались для кратковременных испытаний по определению прочности $f_{t,60}$, 35 образцов – для определения длительной прочности $f_{t,60,t}$ и 3 образца использовались как контрольные, для длительных испытаний. При этом отбор образцов как для кратковременных, так и длительных испытаний, осуществлялся произвольно из общего количества изготовленных образцов.



1 – испытываемый образец; 2 – вклеенный стальной винт с кольцом
Рисунок 1 – Схемы образцов для кратковременных (а) и длительных испытаний (б)

В образцах, предназначенных для длительных испытаний, в предварительно просверленные отверстия по направлению продольной оси образца длиной 50 мм были вклеены на стальные винты с кольцом. В качестве клея использовался эпоксидный компаунд. Нагрузка на образец передавалась через стальной винт с кольцом, к которому прикладывалось усилие. Такая схема приложения нагрузки к образцу позволяла обеспечивать ее центральное приложение относительно поперечного сечения в рабочей зоне на всем этапе длительных испытаний. Данное обстоятельство является очень важным, поскольку деформирование образца под действием постоянной центрально приложенной нагрузки по отношению к поперечному сечению, вызывающей растяжение древесины под углом α к волокнам, как известно, происходит неравномерно.

Образцы с поперечным сечением рабочей зоны, в которых имелось место наличие сучьев и смолистых включений, браковались.

Перед испытаниями для каждого образца определялась влажность древесины, выполнялись измерения размеров, осуществлялось их кондиционирование (выдержка в стандартных температурно-влажностных условиях). Все измерения проводились после кондиционирования испытываемых образцов. Что же касается плотности древесины, то она определялась после разрушения образца путем отбора проб из цельного поперечного сечения испытанного образца, расположенного на минимально возможном расстоянии от места

Найчук Анатолий Яковлевич, д. т. н., доцент, профессор кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

разрушения. Кондиционирование образцов проводилось при стандартной температуре окружающей среды (20 ± 2)°C и относительной влажности воздуха (65 ± 5)%. Образец считался кондиционированным, когда он достигал постоянной массы. Считалось, что постоянство массы достигнуто, если результаты двух последовательных взвешиваний испытываемого образца, проводимых с интервалом в 6 ч, не отличались более чем на 0,1 %. Все результаты измерений заносились в соответствующие протоколы.

Отобранные образцы после их кондиционирования и выполнения соответствующих измерений до проведения кратковременных испытаний плотно оборачивались пароизоляционной пленкой, а образцы, предназначенные для длительных испытаний, покрывались парафином. Такой способ защиты образцов при длительных испытаниях позволял гарантировать неизменность влажности древесины образцов в течение всего периода испытаний.

В процессе как кратковременных, так и длительных испытаний образцов, осуществлялось измерение их деформаций по направлению прикладываемой нагрузки и времени испытаний. Деформации образцов под нагрузкой измерялись механическим способом с использованием микрометра ценой деления 0,01 мм и определялись по изменению расстояния между маркерами, установленными на боковых гранях рабочей зоны. Маркера устанавливались посередине толщины образца. Крепление маркеров к граням образцов осуществлялось с использованием эпоксидного клея. Расстояние между маркерами составляло 50 мм.

Кратковременные испытания образцов проводились с целью определения прочности $f_{t,60}$ древесины от кратковременного действия нагрузки. Нагружение образцов осуществлялось ступенями с использованием испытательной машины Quasar 25. На каждой ступени нагружения фиксировались время и величины деформаций в рабочей зоне образца. Нагружение образцов, при длительном действии нагрузки, осуществлялось путем подвешивания к ним грузов необходимой массы. Предварительно все испытываемые образцы были шарнирно закреплены в силовой раме. Масса подвешиваемых к образцам грузов устанавливалась исходя из необходимого уровня напряжений. Всего было принято четыре уровня напряжений: $0,87 \cdot f_{t,60,mean}$; $0,79 \cdot f_{t,60,mean}$; $0,7 \cdot f_{t,60,mean}$ и $0,54 \cdot f_{t,60,mean}$. Уровень напряжений устанавливался как определенная часть от среднего значения $f_{t,60,mean}$ прочности древесины, определенного по результатам кратковременных испытаний образцов при растяжении под углом $\alpha = 60^\circ$ к волокнам. Влажность и температура воздуха в помещении, где проводились длительные испытания, определялись по психрометру, установленному возле испытательных рам. Кроме того, с целью

учета деформаций, возникающих в результате колебаний влажности и температуры воздуха, осуществлялось измерение деформаций по 3 ненагруженным контрольным образцам.

Результаты испытаний образцов и их анализ. При проведении испытаний на кратковременное действие нагрузки все образцы имели хрупкий характер разрушения. Разрушение образцов происходило в результате разрыва древесины в перпендикулярном к волокнам направлении, т. е. по площадкам, близким к наклону волокон (рис. 2а). Это объясняется тем, что в анизотропном материале растягивающие напряжения, действующие не по оси симметрии материала (что имеет место в нашем случае), вызывают не только линейные, но и угловые деформации, т. е. разрушение происходит от совместного действия растягивающих поперек и сдвигающих вдоль волокон напряжений.

Что же касается относительных деформаций ϵ_{60} , измеряемых по направлению прикладываемой нагрузки на боковых гранях рабочей зоны испытываемых образцов, то их значения практически совпадали по своей величине. Данное обстоятельство свидетельствовало о центральном приложении нагрузки относительно поперечного сечения рабочей зоны испытываемых образцов.

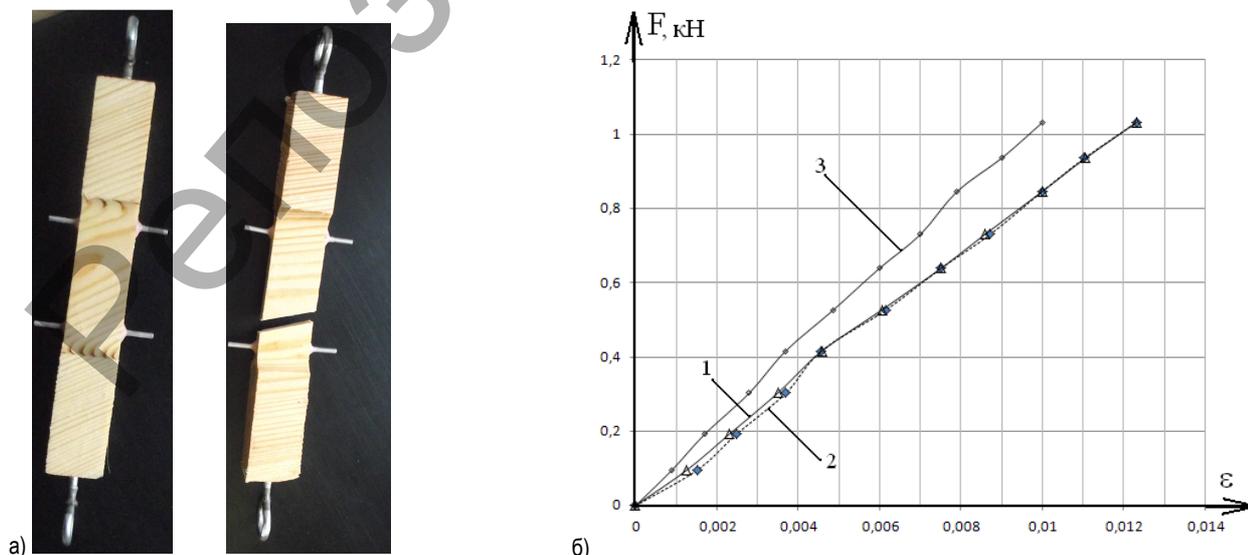
При построении диаграмм деформирования древесины в рабочей зоне образцов значения деформаций на каждой ступени или уровне нагружения при кратковременных и длительных испытаниях соответственно определялись как среднее значение из двух показаний, измеренных на боковых гранях образца.

Анализируя диаграммы деформирования (рис. 2б), можно отметить, что при кратковременных испытаниях вплоть до разрушения древесина работала в линейной (упругой) области деформирования, т. е. перехода в состояние вынужденной эластичности (развития деформаций ползучести при принятой скорости нагружения образцов) не наблюдалось.

В результате кратковременных испытаний было установлено, что вместе с прочностью изменяется величина предельных деформаций.

Результаты кратковременных испытаний образцов по определению прочности $f_{t,60}$ древесины, предназначенной для длительных испытаний под действием постоянных напряжений, представлены в табл. 1.

В результате статистической обработки данных, приведенных в табл. 1, согласно [13] среднее значение прочности древесины для 10 испытанных образцов $f_{t,60,mean} = 3,87$ МПа, среднее квадратичное отклонение $\sigma = 0,384$ МПа, коэффициент вариации равен $v = 9,91\%$, средняя ошибка $m = 0,12$ МПа, а показатель точности $P = 3,1\%$.



1, 2 и 3 – соответственно для образцов № 5; № 6 и № 8

Рисунок 2 – Общий вид и разрушение образцов (а), а также диаграммы деформирования при определении прочности $f_{t,60}$ древесины (б)

Таблица 1 – Результаты испытания образцов по определению прочности $f_{t,60}$ древесины при растяжении под углом $\alpha = 60^\circ$ к волокнам

№ образца	Значение разрушающей нагрузки F_{max} , кН	Поперечное сечение вблизи зоны разрушения образца $b \times h$, мм	Площадь поперечного сечения A , мм ²	Значение прочности $f_{t,60}$, МПа
1	1,013	30,00 × 10,00	300,00	3,38
2	1,099	30,00 × 10,15	304,50	3,61
3	1,032	29,90 × 9,65	288,54	3,58
4	1,29	29,90 × 9,90	296,01	4,36
5	1,306	29,85 × 10,00	298,50	4,38
6	1,047	30,00 × 10,00	300,00	3,49
7	1,306	29,90 × 10,00	299,00	4,37
8	1,146	30,00 × 9,75	292,50	3,92
9	1,146	30,30 × 10,25	310,58	3,69
10	1,195	30,25 × 10,0	302,50	3,95

Таблица 2 – Результаты испытания образцов по определению длительной прочности $f_{t,60,t}$ древесины при растяжении под углом $\alpha = 60^\circ$ к волокнам

№ образца	Напряжение $f_{t,60,t}$, МПа	Время до разрушения t , сек	Значение lgt	Примечание
1	3,367	184500	5,27	
2	3,367	6000	3,78	
3	3,367	55800	4,75	
4	3,367	3	0,48	
5	3,367	185400	5,27	
6	3,367	103200	5,01	
7	3,367	30000	4,48	
8	3,367	240	2,38	
9	3,367	21120	4,325	
10	3,367	144000	5,16	
Среднее значение по результатам 10 опытов			4,09	
1	3,07	85500	4,932	
2	3,07	15	1,176	
3	3,07	188100	4,947	
4	3,07	513900	5,711	
5	3,07	23400	4,369	
6	3,07	513900	5,711	
7	3,07	5376000	6,73	
8	3,07	–	–	Разрушились в процессе их нагружения
9	3,07	–	–	
10	3,07	439200	5,64	
Среднее значение по результатам 8 опытов			4,90	
1	2,723	5788800	6,76	
2	2,723	2311200	6,364	
3	2,723	3279600	6,516	
4	2,723	11700	4,068	
5	2,723	2310150	6,36	
Среднее значение по результатам 5 опытов			6,01	

Поскольку показатель точности $P < 5\%$, то обеспечена достаточная надежность эксперимента при определении прочности $f_{t,60}$ древесины.

Из данных испытаний, приведенных табл. 1, следует, что при среднем значении прочности $f_{t,60,mean} = 3,87$ МПа ее минимальное и максимальное значения составляют соответственно $f_{t,60,min} = 3,38$ МПа и $f_{t,60,max} = 4,38$ МПа. Таким образом, при назначении планируемого уровня напряжений от среднего значения прочности можем получить фактически для образцов с меньшей прочностью уровень напряжений больше планируемого, а для образцов с повышенной прочностью – уровень напряжений ниже планируемого. Поэтому при проведении длительных испытаний при одном и том уровне напряжений продолжительность нахождения образцов под нагрузкой до их разрушения будет разной.

Результаты испытания образцов по определению длительной прочности $f_{t,60,t}$ приведены в табл. 2.

Из приведенных в табл. 2 данных видно, что величины долговечности t подвержены значительным колебаниям, как и значения

прочности древесины (табл. 1) при кратковременных испытаниях. Причиной значительного рассеивания долговечности t является относительно большой разброс прочности $f_{t,60}$.

Анализируя значения lgt (табл. 2), можно отметить, что с уменьшением уровня напряжений их рассеивание уменьшается. Данный эффект можно объяснить перераспределением напряжений между структурными элементами древесины.

В результате статистической обработки данных, полученных при испытании образцов, было установлено, что изменение длительной прочности $f_{t,60,t}$ древесины от среднего значения логарифма продолжительности испытания может быть представлено уравнением (1).

$$f_{t,60,t} = 4,72 - 0,334 \cdot lgt, \quad (1)$$

где t – время, с.

Графическое представление уравнения (1) приведено на рис. 3, анализируя которое, можно отметить, что уменьшение прочности древесины при ее растяжении под углом $\alpha = 60^\circ$ происходит быст-

рее чем при растяжении вдоль $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 45^\circ$ [8], но медленнее чем при $\alpha = 60^\circ$ [11].

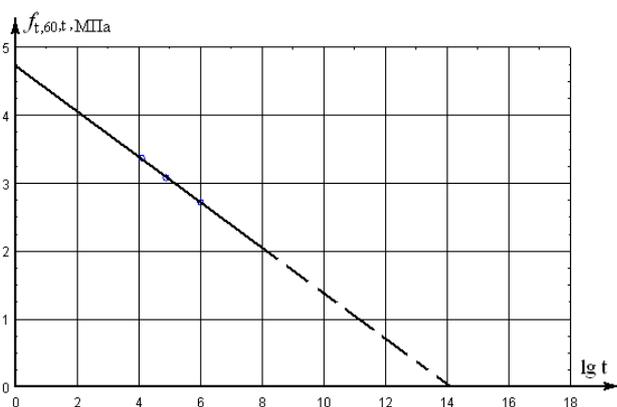


Рисунок 3 – Зависимость между прочностью древесины и логарифмом долговечности при растяжении под углом $\alpha = 60^\circ$ к волокнам

Заключение. На основании проведенного исследования длительной прочности древесины сосны при растяжении под углом $\alpha = 60^\circ$ к волокнам установлено, что разрушение образцов имело хрупкий характер, как и в образцах, где $\alpha = 0^\circ, 45^\circ$ и 90° [6, 8, 10–12], и сопровождалось значительным разбросом показателей прочности и долговечности. Зависимость прочности от логарифма продолжительности испытания имеет линейный характер. Долговечность древесины при растяжении под углом α к волокнам зависит от его величины, т. е. с увеличением α она уменьшается.

Для определения анизотропии времени до разрушения древесины от действия растягивающих под углом α к волокнам напряжений, необходимо проведение испытаний образцов, где $\alpha = 30^\circ$ и 75° . Учитывая значительное рассеивание величин долговечности t , при проведении испытаний образцов их количество, для каждого уровня нагружения, должно составлять не менее 15 образцов.

NAICHUK A. J., BONDAR A. V. *The Long-Term Strength of the Timber element under tension applied at an angle of 60° to the fibers*

The methodology and analysis of test results of samples to determine the long-term strength of timber under force, tension applied at an angle of 60° to the direction of the fibers are presented. The equation describing the change in the long-term strength of timber is obtained. The main tasks for identifying the anisotropy of the characteristics of the long-term strength of the timber wood and the improvement of the test procedure are formed.

УДК 336.761

Радчук А. П.

РАСЧЕТ БЕЗУБЫТОЧНОСТИ В ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНОГО ТРЕСТА

Введение. Эффективное управление организацией возможно на основе своевременного получения руководителями различных уровней объективной информации, необходимой для подготовки и принятия важных стратегических и тактических решений. Подготовка, обработка и предоставление информации является основной составляющей в работе маркетологов, финансовых менеджеров и экономистов. Кроме этого, необходимым условием является постановка управленческого учета, инструментами которого выступают расчеты безубыточности и целевое планирование прибыли. В то же время такие элементы в управленческой деятельности строительных организаций встречаются крайне редко.

В последнее десятилетие положение на рынке строительно-монтажных работ, производстве строительных материалов и изделий значительно изменилось. В настоящее время нет той стабильности, которая была присуща несколько лет тому назад на строительному рынку, дававшая некоторую уверенность многим руково-

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лехницкий, С. Г. Теория упругости анизотропного тела. – М.: Наука, 1977. – 416 с.
2. Ашкенази, Е. К. Анизотропия древесины и древесных материалов. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 223 с.
3. Уголев, Б. Н. Деформативность древесины и напряжения при сушке. – М., 1971. – 174 с.
4. Белянкин, Ф. П. Деформативность и сопротивляемость древесины / Ф. П. Белянкин, В. Ф. Яценко. – К.: Из-во АН УССР, 1957. – 86 с.
5. Леонтьев, Н. Л. Длительное сопротивление древесины. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1957. – 132 с.
6. Квасников, Е. Н. Вопросы длительного сопротивления древесины. – Л.: Из-во литературы по строительству, 1972. – 96 с.
7. Родин, Б. Е. Влияние влажности древесины на ее длительную прочность и деформативность при поперечном изгибе: сб. трудов, № 60. – М.: МИСИ, 1968. – С. 21–25.
8. Орлович, Р. Б. О применении критериев длительной прочности в расчетах деревянных конструкций / Р. Б. Орлович, А. Я. Найчук // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1986. – № 5 – С. 15–19.
9. Найчук, А. Я. Теория и практика дальнейшего развития деревянных конструкций. Часть 1. О нагрузках, расчетных сопротивлениях и длительной прочности древесины / А. Я. Найчук, А. А. Погорельцев, Е. Н. Серов // Промышленное и гражданское строительство. 2018. – № 6 – С. 38–44.
10. Иванов, Ю. М. Длительная прочность древесины // Лесн. журн. – 1972. – № 4. – С. 76–82.
11. Иванов, Ю. М. Длительная прочность древесины при растяжении поперек волокон / Ю. М. Иванов, Ю. Ю. Славик // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1986. – № 10. – С. 22–26.
12. Medsen B. Duration of load test for wood in tension perpendicular to grain // Forest Products Journal. – 1975. – V. 25, № 8. – P. 48–54.
13. Леонтьев, Г. Л. Техника статистических вычислений. – М.: Лесная промышленность, 1966. – 251 с.

Материал поступил в редакцию 10.04.2019

дителям в эффективности применяемых методов управления и принимаемых управленческих решений. Кроме этого, следует учитывать, что в последние годы снизилась господдержка крупных предприятий строительной отрасли, таких как общестроительные тресты, заводы железобетонных изделий, комбинаты строительных материалов и др. Снижение спроса и емкости рынка, уменьшение платежеспособности потенциальных заказчиков, рост конкуренции привели к снижению эффективности работы, прежде всего крупных предприятий, обладающих большей конкуренцией и невысокой гибкостью. Анализ показывает, что эффективность работы строительных организаций зависит от действия множества факторов, в том числе снижение затрат на производство работ, увеличение производительности, повышение качества СМР, применение эффективных подходов к принятию управленческих решений. В сложившихся условиях обеспечить жизнеспособность и конкурентоспособность организации, возможно, используя новые, гибкие подходы, при подго-

Радчук Анатолий Петрович, к. т. н., доцент, декан экономического факультета Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.