

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ПОД УГЛОМ $\alpha$ К ВОЛОКНАМ

А. В. Бондарь

**Введение.** Древесина – природный материал, обладающий анизотропией характеристик механических и физических свойств. Изменение сопротивления древесины с течением времени, выражающееся в понижении прочности и нарастании деформаций при увеличении продолжительности действия нагрузки, положило начало исследованиям этого явления с начала XIX века.

### **Краткий обзор работ по длительному сопротивлению древесины**

Основательные исследования длительного сопротивления проводились в 1931 г. Ф. П. Белянкиным и В. Ф. Яценко и посвящены вопросам деформирования и сопротивления древесины с учетом ее упруговязких и пластических свойств. На основании экспоненциальных зависимостей деформации и прочности от времени рассмотрены деформирование и сопротивляемость древесины при постоянной нагрузке, ступенчатом нагружении, при машинных испытаниях древесины и в условиях релаксации напряжений. В дальнейших работах Ф. П. Белянкина рассмотрена несущая способность деревянных стержней при сжатии, изгибе и сложном сопротивлении, а также вопросы прочности и ползучести слоистых пластиков. Исследования Ф. П. Белянкина сыграли значительную роль в обосновании и развитии методов расчета элементов деревянных конструкций [1].

Большую роль сыграли исследования процессов деформирования и разрушения древесины при кратковременном и длительном действии нагрузок, проведенные под руководством Ю. М. Иванова в лаборатории деревянных конструкций Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций им. В. А. Кучеренко [2].

Ю. М. Ивановым установлено, что существенное влияние на работу древесины в конструкциях оказывает повторное приложение нагрузок, а исследование деформаций при повторной статической нагрузке вызывает разрушение древесины в результате накопления остаточных деформаций при фиксированной величине напряжения. При напряжениях ниже этого предела древесина прочно сопротивляется действию повторных нагрузок. На основании данных исследования деформирования и разрушения древесины Ю. М. Иванов приходит к выводу, что существующие модели недостаточно хорошо отражают природу временной зависимости прочности и что при разрешении этой проблемы несомненно полезным является подход, учитывающий общие закономерности прочности и долговечности твердых тел под нагрузкой.

Развитие теории сопротивления древесины с учетом фактора времени и уточнение предложенных методов расчета должно основываться на новых данных о природе временной зависимости прочности. В этом отношении существенный интерес представляют экспериментальные исследования длительного

сопротивления древесины, выполненные Н. Л. Леонтьевым [3]. Для проведения длительных испытаний древесины на растяжение и сжатие вдоль волокон, на изгиб, а также на скалывание вдоль волокон и на растяжение поперек волокон были созданы специальные установки и проведены изыскания рационального способа заготовки образцов. Выдерживание образцов под постоянной нагрузкой показало, что предел длительной прочности при сжатии и изгибе составляет менее 60%, а при растяжении и скалывании – не более 50% от кратковременной прочности. При этом наблюдались значительные колебания времени до разрушения для отдельных образцов при одинаковых уровнях нагружения, что объясняется большей изменчивостью физико-механических свойств сравниваемых образцов. Исследование деформаций выявило существенную зависимость их от уровня напряжения, времени выдержки образцов под нагрузкой и влажности воздуха. Проведенный Н. Л. Леонтьевым анализ экспериментальных данных показал, что линия длительного сопротивления древесины в полулогарифмических координатах близка к прямой, на что указывают высокие абсолютные значения коэффициента корреляции (0,942–0,999). Статистическая обработка данных о зависимости предела прочности от скорости машинных испытаний, полученных Л. М. Перельгиным, позволила установить, что предел прочности находится в линейной зависимости от логарифма скорости нагружения. После выражения скорости нагружения через продолжительность испытания временная зависимость прочности при машинных испытаниях древесины может быть также представлена в полулогарифмических координатах. Сопоставление корреляционных уравнений прочности, полученных по результатам испытаний на изгиб под постоянной нагрузкой и машинных испытаний при возрастающем напряжении, показало, что расхождение между вычисленными значениями прочности по тем и другим уровням не превышает 6% в диапазоне изменения продолжительности действия нагрузки от нескольких секунд до нескольких лет. Исходя из того можно сделать вывод, что так же расхождение не имеет практического значения и находится в пределах точности испытаний, Н. Л. Леонтьев предложил упрощенный метод построения прямой длительной прочности на основании результатов машинных испытаний двух групп образцов: одной при большой, а другой при малой скорости нагружения. С помощью указанного метода были найдены поправочные числа на продолжительность действия нагрузки, входящие в уравнение длительной прочности, и составлены таблицы длительного сопротивления основных древесных пород для продолжительности действия нагрузки до 30 лет. Большая изменчивость поправочных чисел, достигающая до 50–60% от их средних значений, существенно снижает надежность экстраполяции значений прочности на длительные периоды действия нагрузки. Следует иметь в виду также и то, что угловой коэффициент в уравнении длительной прочности для машинных испытаний древесины отличается от углового коэффициента для длительной выдержки образцов под постоянной нагрузкой, а это влечет за собой возможность получения различных оценок длительной прочности по результатам тех и других испытаний.

Данные, полученные А. Я. Найчуком и Р. Б. Орловичем [4-5], по влиянию ориентации растягивающей силы на длительную прочность древесины весьма

противоречивы. Так, исследования ориентационной зависимости характеристик прочности древесины [4, 5] при растяжении показали, что при углах наклона волокон минимальное время  $t_{\min}$  до разрушения характерно для угла  $90^\circ$ , а максимальное – для угла  $0^\circ$  при одном и том же уровне напряжений. Промежуточные значения времени до разрушения  $t_a$  были определены для угла наклона волокон  $\alpha = 45^\circ$  [5]. Данные результаты свидетельствуют о том, что анизотропия характеристик долговечности существенно зависит от угла  $\alpha$  наклона волокон. С повышением  $\alpha$  степень анизотропии характеристик кратковременной и длительной прочности увеличивается [4, 5, 6, 7].

Из приведенного обзора работ по длительному сопротивлению древесины можно сделать вывод, что некоторые вопросы еще недостаточно выяснены. К их числу следует отнести вопрос о соотношении показателей прочности древесины при действии постоянной нагрузки и при испытании с постоянной скоростью деформирования, заданной скоростью роста напряжения, а также при ступенчато-возрастающих и повторных нагрузках.

Недостаточно исследован вопрос о влиянии на длительное сопротивление переменной влажности древесины.

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  $\alpha$ , плотность и структуру древесины (порода), условия внешнего температурно-влажностного и силового воздействия.

Целью данной работы являлось определение длительной прочности древесины сосны при растяжении под углами  $\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$  к волокнам в зависимости от уровня напряжений.

### **Методика проведения экспериментальных исследований**

Методика проведения экспериментальных исследований по испытанию четырех групп образцов с углами наклона  $\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$  (в каждой группе около 120 образцов) складывается из трех основных этапов:

- изготовление образцов;
- кратковременные испытания;
- испытания на действие постоянной длительной нагрузки.

### ***Изготовление образцов***

Образцы для испытания изготавливались из древесины сосны, произрастающей вблизи деревни Рогозно Брестского района. Возраст деревьев составлял 90-110 лет. Бревна раскряжывались длиной по 6 метров, а затем распиливались на необрезные доски толщиной 40 мм. После распила доска прошла 4-летний период естественной сушки в штабеле под навесом, на момент изготовления образцов влажность древесины составляла около 10-12%. Для образцов каждой из четырех групп выбиралась одна доска длиной 6 м тангенциального распила без трещин, и все образцы одной группы выпиливались из неё. Доска обрезалась с одной стороны и фуговалась до толщины 32 мм, после чего на

доске прорисовывались будущие образцы под углом  $\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$  к волокнам (на каждой доске свой угол наклона). После чего из доски выпиливались заготовки с сечением  $32 \times 32$  мм и торцевались в размер по длине 215 мм. Заготовки образцов обрабатывались при помощи высокоскоростного фрезера (со скоростью вращения фрезы 30000 об. мин.). Заготовки фрезеровались с четырёх сторон путем пропуска их через фрезерный стол с упором (упор строго параллелен фрезе) для получения размеров в сечении  $30 \times 30$  мм.

Рабочая часть образцов выпиливалась при помощи фрезы диаметром 22 мм, при этом сама заготовка жестко фиксировалась в кондукторе путем расклинивания, чтобы избежать даже малейших вибраций заготовки в процессе работы фрезы. Так как образцы очень хрупкие (из за угла наклона волокон), выбор древесины фрезой производится последовательно с каждой стороны заготовки, примерно 1 мм за проход.

Толщина рабочей части образцов принималась равной 10 мм (для угла наклона  $30^\circ - 5$  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.

Образцы с поперечным сечением рабочей зоны, в которых имело место наличие свилей и смолистых включений, сучков, браковались.

В образцах, предназначенных для длительных испытаний, в предварительно просверленные отверстия по направлению продольной оси образца длиной 50 мм были вклеены 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  $\alpha$  к волокнам, как известно, происходит неравномерно.

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

#### ***Кратковременные испытания***

Кратковременные испытания образцов четырех групп с углами наклона  $\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$  к волокнам проводились с целью определения прочности древесины от кратковременного действия нагрузки (рисунок 1).

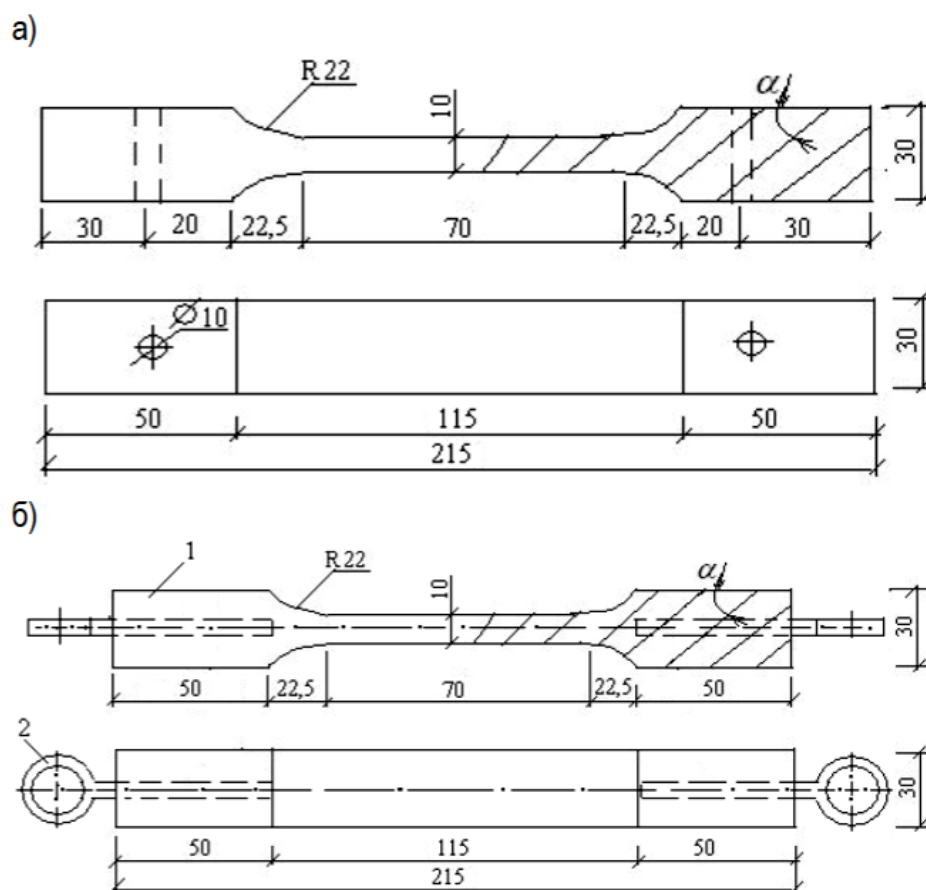


Рисунок 1 – Схемы образцов для кратковременных (а) и длительных испытаний (б)

Нагружение образцов осуществлялось ступенями с использованием испытательной машины Quasar 25. На каждой ступени нагружения фиксировались время и величины деформаций в рабочей зоне образца.

#### **Испытания на действие постоянной длительной нагрузки**

Образцы, предназначенные для длительных испытаний, перед началом опыта вскрывались парафином, что позволяет исключить изменение влажности образцов. Кондиционирование образцов проводилось при стандартной температуре окружающей среды  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха  $(65 \pm 5)\%$ . 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.

Нагружение образцов с углом наклона  $\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$  к волокнам, 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:  $0,87f_{t,30(60,75,90),\text{mean}}$ ,  $0,79f_{t,30(60,75,90),\text{mean}}$ ,  $0,7f_{t,30(60,75,90),\text{mean}}$ ,  $0,54f_{t,30(60,75,90),\text{mean}}$

Влажность и температура воздуха в помещении, где проводились длительные испытания, определялись по психрометру, установленному возле ис-

пытательных рам. Кроме того, с целью учета деформаций, возникающих в результате колебаний влажности и температуры воздуха, осуществлялось измерение деформаций по трем ненагруженным контрольным образцам.

#### **Список использованных источников**

1. Белянкин, Ф. П. Деформативность и сопротивляемость древесины / Ф. П. Белянкин, В. Ф. Яценко. - К. : Из-во АН УССР, 1957. – 86 с.
2. Иванов, Ю. М. Длительная прочность древесины // Лесн. журн. – 1972. – № 4. – С. 76-82.
3. Леонтьев, Н. Л. Длительное сопротивление древесины. – М.-Л. : Гослесбумиздат, 1957. – 132 с.
4. 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.
5. 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.
6. 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.