

Предложенный нами способ позволяет определить влажность пропитанной древесины в изделиях и конструкциях. Для этого необходимо из изделий или конструкций вырезать рейку длиной 20...25 см с поперечным сечением 15×15 мм и положить ее в полиэтиленовый мешок. В лаборатории поперечное сечение рейки нужно довести до 10×10 мм так, чтобы годовые слои были параллельны одной паре противоположных граней; затем из рейки вырезать образцы длиной 8 мм и сразу же определить их размеры a_w . После этого образцы необходимо высушить в сушильном шкафу до постоянной массы и найти их размеры a_0 ; затем поместить в стакан с водой, выдержать до полного насыщения и определить их размеры $a_{п.н.}$.

Зная заранее предел гигроскопичности пропитанной древесины, можно вычислить ее влажность по вышеприведенной формуле. Значение этой влажности соответствует влажности пропитанной древесины в процессе эксплуатации в момент вырезки образцов из изделий или конструкций.

Использование нового способа дает возможность просто, но достаточно точно определить влажность древесины в изделиях и конструкциях при их эксплуатации. Своевременное контролирование влажности имеет большое значение для сохранения прочности деревянных изделий и конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Агабеков Н. М. К вопросу определения влажности пропитанной древесины // Строительство и архитектура.— 1984.— № 12.— С. 126—128.— (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. А. с. 979817 СССР. Способ определения влажности древесины / Н. М. Агабеков (СССР).— Бюл. № 45 // Открытия. Изобретения.— 1982.— № 45. [3]. Лепарский Л. О. Исследование поведения древесины в процессе высокотемпературной сушки // Науч. сообщ. ЦНИИСК.— 1961.— Вып. 16.— С. 111—121. [4]. Штейнберг С. Е. Высокотемпературная сушка древесины в петролатуме.— М.: Гослесбумиздат, 1962.— С. 71—76.

Поступила 29 февраля 1988 г.

УДК 691.11 : 539.384

О РОЛИ СУЧКОВ В МЕХАНИЗМЕ РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ИЗГИБЕ ДОЩАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАЗНОЙ ВЛАЖНОСТИ

Н. Д. ДЕНЕШ, Ю. Ю. СЛАВИК

ЦНИИСК

Статистическая обработка результатов испытаний на изгиб реальной конструкционной древесины [7, 8] показала, что минимальная прочность, т. е. прочность образцов с большими сучками, в растянутой зоне практически не зависит от влажности. Это не согласуется с данными традиционных испытаний чистой древесины, сопротивление изгибу которой при увлажнении значительно снижается. Для выяснения причин такого расхождения, имеющего принципиальное значение, нами исследованы напряженно-деформированное состояние и прочность изгибаемого элемента с сучком при влажности 12 и 30 %; методика и результаты приведены ниже.

Два одинаковых образца ели (рис. 1), полученных продольной распиловкой одного трехметрового бруса, испытывали (каждый) при двух значениях влажности нагружением $\Delta p = 0,8$ кН (13...15 % от разрушающей). После минутной выдержки под нагрузкой методом спекл-интерферометрии [2] замерили вертикальные v и горизонтальные u перемещения узловых точек координатной сетки с шагом в 1 см, нанесен-

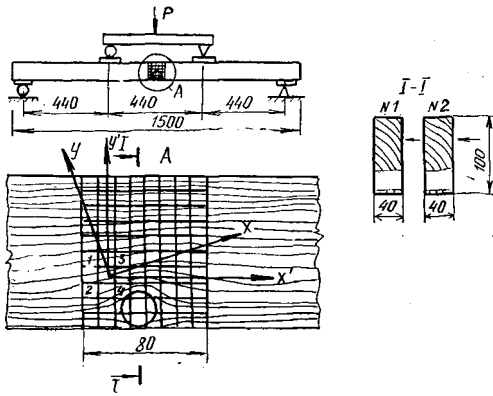


Рис. 1. Схема нагружения образцов (стрелками показано направление съемки слекл-интерферограмм)

ной на поверхность образца в присучковой зоне* (рис. 1, А). Затем образцы довели до разрушения, один во влажном, другой — в сухом состоянии.

Используя выражения Коши, рассчитали прирост относительных деформаций древесины каждой ячейки координатной сетки при нагрузке Δp :

$$\begin{aligned}\epsilon_{x'} &= (u_3 - u_1 + u_4 - u_2)/2dx; \\ \epsilon_{y'} &= (v_1 - v_2 + v_3 - v_4)/2dy;\end{aligned}\quad (1)$$

$$\gamma_{x'y'} = (u_1 - u_2 + u_3 - u_4)/2dy + (v_3 - v_1 + v_4 - v_2)/2dx.$$

С помощью известных формул преобразования (2) перешли к деформациям каждой ячейки в локальных осях координат, совпадающих в средней ее точке с осями ортотропии x, y , направленными соответственно вдоль и поперек волокон древесины:

$$\begin{aligned}\epsilon_x &= \epsilon_{x'} l_1^2 + \epsilon_{y'} m_1^2 + \gamma_{x'y'} l_1 m_1; \\ \epsilon_y &= \epsilon_{x'} l_2^2 + \epsilon_{y'} m_2^2 + \gamma_{x'y'} l_2 m_2;\end{aligned}\quad (2)$$

$$\gamma_{xy} = 2\epsilon_{x'} l_1 l_2 + 2\epsilon_{y'} m_1 m_2 + \gamma_{x'y'} (l_1 m_2 + l_2 m_1),$$

где $l_1 = \cos \widehat{x'x}$; $m_1 = \cos \widehat{y'x}$;
 $l_2 = \cos \widehat{x'y}$; $m_2 = \cos \widehat{y'y}$.

Это позволило использовать линейные модифицированные критерии прочности [1] для определения в каждой точке коэффициента запаса k прочности материала в сухом и влажном состоянии как отношения предельных деформаций к соответствующим деформациям при нагрузке Δp :

$$-\epsilon_{cx} \leq \epsilon_x \leq \epsilon_{px}, \quad \epsilon_y \leq \epsilon_{py}, \quad \gamma_{xy} \leq \Gamma_{xy}.\quad (3)$$

Здесь ϵ_{cx} , ϵ_{px} , ϵ_{py} , Γ_{xy} — соответственно предельные относительные деформации сжатия, растяжения вдоль волокон, растяжения поперек волокон и сдвига (табл. 1).

* Опыты проводили совместно с сотрудниками НИИСтройфизики, под рук. канд. техн. наук А. Е. Штанько,

Таблица 1
 Предельные относительные деформации древесины
 в зависимости от влажности

Влаж- ность, %	Предельные относительные деформации · 10 ⁴			
	ϵ_{cx}	ϵ_{rx}	ϵ_{py}	Γ_{xy}
11...12	34	77	139	151
30	25	80	202	374

При деформациях сжатия $k_c = \epsilon_{cx} / -\epsilon_x$, растяжения вдоль и поперек волокон соответственно $k_{px} = \epsilon_{px} / \epsilon_x$ и $k_{py} = \epsilon_{py} / \epsilon_y$, при сдвиге вдоль волокон $k_{ck} = \Gamma_{xy} / \gamma_{xy}$. По минимальным значениям найденных коэффициентов устанавливали теоретическую причину разрушения в точке и величину разрушающей нагрузки $p_{разр} = k_{min} \Delta p$.

Предельные деформации получили по результатам стандартных испытаний малых чистых образцов древесины, вырезанных из испытанных элементов и материала, оставшегося после их изготовления.

Предельные деформации сжатия вдоль волокон определяли с учетом нелинейности диаграммы работы, согласно [1], в виде $\epsilon_{cx} = (\pi/2) R_{cx} / E_x$ по средним значениям сопротивления сжатию R_{cx} и модуля упругости E_x (табл. 2); предельные деформации растяжения вдоль волокон — по данным испытаний каждого образца, исходя из линейной зависимости деформаций от напряжения $\epsilon_{rx} = R_{px} / E_x$. Предельные деформации растяжения поперек волокон определяли в направлении под углом 45° к тангенциальному, согласно расположению годовичных колец по сечению (рис. 1) и в сучке вдоль оси x . В табл. 1 приведены средние значения фактических деформаций в момент разрушения. Всего было испытано 34 образца на сжатие, 33 — на растяжение вдоль волокон и 16 — на растяжение поперек волокон. Кроме того, для более детального изучения вопроса испытали 16 образцов на растяжение под углом 45° к волокнам (табл. 2).

Таблица 2

Влажность, %	Механические характеристики, МПа'								Источник данных, порода дерева
	при растяжении						при сжатии		
	R_{px}	R_{p45}	R_{py}	E_x	E_{45}	E_y	R_{cx}	E_x	
12	136	8,63	3,88	18 400	970	462	40,5	18 400	Наши испы- тания, ель
30	107	5,03	2,28	13 200	460	160	18,4	—	

Снижение показателя, %

Увеличение влаж- ности от 12 до 30	22	42	41	28	53	65	53	—	» [4] сосна [3] ель
	22	—	43	—	—	—	53	38	

Угловые предельные деформации определяли, согласно [1], по формуле:

$$\Gamma_{xy} = C_y / G_y (\pi/2 + \arcsin C_y / C_x),$$

где C_y, C_x — сопротивление сдвигу вдоль волокон и перерезыванию соответственно;

G_y — модуль сдвига вдоль волокон.

Сопротивления сдвигу древесины ели при влажности 12 и 30 % приняли равными 6,8 и 4,4 МПа соответственно, а отношение C_y/C_x — равным 0,25 [6]. Модули сдвига при этих значениях влажности, равные соответственно 765 и 200 МПа соответственно, определили с учетом поправок на влажность, согласно [6], по данным Штамера, приведенным в работе [5] для ели с примерно таким же модулем упругости E_x , что и наши образцы (разница при влажности 15 % составляет 4,8 %).

Результаты испытаний показали, что наблюдается принципиальное различие процесса разрушения двух подобных изгибаемых элементов в зависимости от влажности: разрушение сухого началось в растянутой зоне с образования трещины на кромке под сучком, а влажного — в сжатой зоне с образованием складки. У влажного образца число разрывов в растянутой зоне существенно больше, процесс разрушения не концентрировался в каком-либо одном очаге, как у сухого.

Прирост относительных деформаций ϵ_x в сучке у обоих образцов с самого начала был больше, чем в остальных точках. Во влажном состоянии образца они распределены по длине более равномерно, т. е. прирост деформаций в сучке не так резко увеличен по сравнению с приростом деформаций в присучковой зоне, как у того же образца в сухом состоянии (рис. 2). В сжатой зоне прирост деформаций во влажном состоянии больше, чем в сухом.

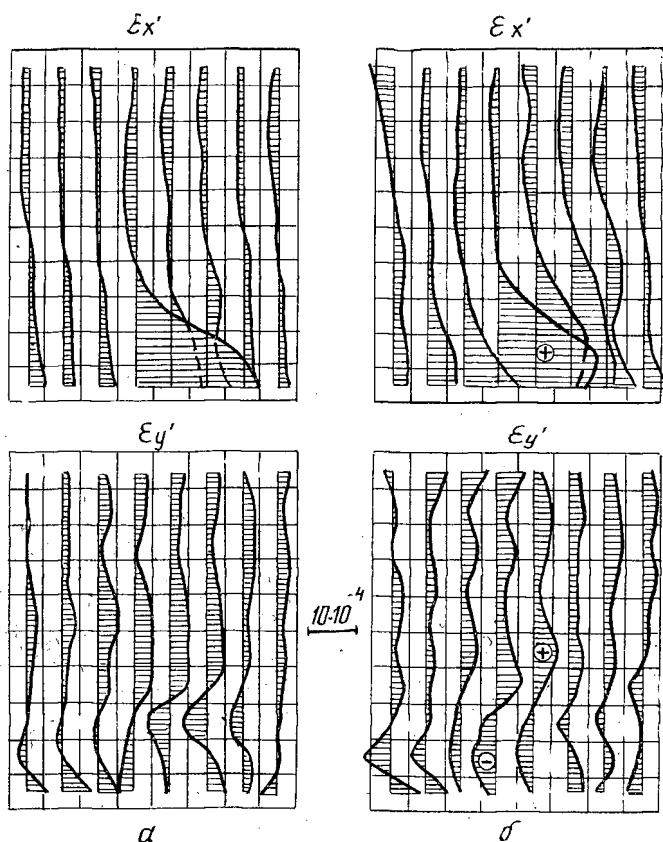


Рис. 2. Прирост относительных деформаций в присучковой зоне образца № 1 в сухом (а) и влажном (б) состоянии при увеличении нагрузки от 0 до 0,8 кН

Расположение точек с минимальным коэффициентом запаса в основном соответствовало очагам разрушения элементов. Первопричинами разрушения явились: отрыв вдоль волокон — вблизи сучка у растянутой кромки, смятие вдоль волокон — у сжатой кромки, затем происходили разрывы вдоль и преимущественно поперек волокон — в сучке и присучковой зоне. У образца № 1 теоретическая разрушающая нагрузка при влажности 30 % составила 4,8 кН (фактическая — 5,3 кН) по k_{min} в сжатой зоне, при влажности 12 % — 4,6 кН по k_{min} в растянутой зоне; у образца № 2 — 5,6 и 3,6 кН соответственно (фактическая при 12 % — 6,2 кН).

Разрушение древесины в отдельных точках-очагах не означало одновременной потери несущей способности образцов. Поэтому фактическое ее значение выше теоретического, а результаты проведенного анализа позволяют выявить лишь некоторые качественные закономерности поведения древесины в присучковой зоне при разной влажности, не претендуя на количественные оценки.

У обоих образцов во влажном состоянии k_{min} в растянутой зоне выше, чем в сухом, а в сжатой — наоборот. Следовательно, этот коэффициент, равный отношению предела прочности материала к напряжению (R/σ), в слабых точках при увлажнении элемента увеличивается. Это означает, что напряжения в этих точках уменьшаются в большей степени, чем прочность. По высоте сечения происходит перераспределение отношений прочности и напряжения, благоприятное для несущей способности элемента.

Возникает вопрос, за счет чего при увлажнении древесины может происходить увеличение коэффициента запаса в очаге разрушения изгибаемого элемента.

Очаг разрушения сухого элемента располагается в каком-либо из сечений присучковой зоны. В этом сечении вблизи нижней кромки (рис. 1) древесина работает под действием нормальных растягивающих напряжений, направленных под углом к волокнам, а вблизи верхней кромки — под действием напряжений сжатия вдоль волокон. Упругие постоянные древесины вдоль волокон и под углом к ним неодинаковы, т. е. элемент в данном сечении разномодульный по высоте. Нормальные напряжения растяжения или сжатия по сечению такого элемента распределяются пропорционально модулям упругости составляющих его слоев.

Увеличение влажности древесины изменяет эти характеристики в неодинаковой степени (табл. 2).

Рассмотрим, например, сечение I—I (рис. 1). Угол наклона волокон вблизи растянутой кромки к продольной оси элемента составляет 90° . Модуль упругости E_y при увлажнении снижается в процентном отношении примерно в полтора раза больше, чем E_x в сжатой зоне. В результате нормальные напряжения в растянутой кромке уменьшаются в большей степени, чем в сжатой. Соппротивление растяжению R_{py} снижается в меньшей степени, чем модуль упругости, а следовательно, и напряжения. В сжатой зоне картина обратная. Таким образом, отношение R/σ , т. е. коэффициент запаса в растянутой зоне, должно возрасти, а в сжатой снизиться, что и подтвердилось экспериментом. Тот же вывод получим для элемента с любым другим углом наклона волокон, по крайней мере от 90 до 45° , т. е. с другим расположением сучков, в том числе без выхода их на кромку.

Сказанное подтверждается результатами статистической обработки большого числа испытаний, проведенных Б. Мэдсенем [8], которые показали, что у сырого пиломатериала процент разрушений с образованием складки в сжатой зоне в 1,6—2 раза выше, чем у сухого,

У изгибаемого элемента из чистой прямослойной древесины разрушение начинается в сжатой зоне. При увлажнении прочность сжатой зоны снижается существенно больше, чем модуль упругости, а следовательно, и напряжения, а в растянутой — наоборот. Поэтому коэффициент запаса в сжатой зоне не увеличивается. Характер разрушения при увлажнении не меняется, очагом разрушения остается сжатая зона, а степень влияния влажности при изгибе практически та же, что и при сжатии, или незначительно меньше, что и наблюдалось в опытах на чистой древесине.

С этих позиций объясняется также и зависимость степени влияния влажности от прочности пиломатериала [7, 8]. Прочность пиломатериала зависит от размера, формы и расположения сучков, точнее, от углов наклона волокон в зоне сучка. А исходя из приведенных рассуждений, степень влияния влажности на распределение напряжений по сечению также зависит от углов наклона волокон. Отсюда прослеживается роль сучков в поведении древесины при увлажнении.

Таким образом, при увлажнении изгибаемого элемента в зоне сучка происходит перераспределение напряжений, благоприятное для его несущей способности, что компенсирует общее снижение прочности древесины. Причиной этого перераспределения является различие степени влияния влажности на механические характеристики древесины вдоль волокон и под углом к ним.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Воронов А. Н., Гениев Г. А. Техническая теория линейного деформирования каменной кладки при плоском напряженном состоянии // Исследования по теории и методам расчета строительных конструкций.—М.: ЦНИИСК, 1984. [2]. Джоунс Р., Уайтс К. Голографическая и спекл-интерферометрия.—М.: Мир, 1986. [3]. Древесина. Показатели физико-механических свойств. РТМ.—М.: Стандартгиз, 1962. [4]. Леонтьев Н. Л. Упругие постоянные древесины.—М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. [5]. Митинский А. И. Упругие постоянные древесины как ортотропного материала // Тр. ЛТА.—Л., 1948.—Вып. 63. [6]. Перельгин Л. М., Уголев Б. Н. Древесиноведение.—М.: Лесн. пром-сть, 1971. [7]. Савков Е. И. Прочность пиломатериалов.—М.: Гослесбумиздат, 1962. [8]. Madsen B., Janzen W., Zwaagstra J. Moisture effects in lumber // Structural research.—Vancouver: University of British Columbia, 1980.—Rep. N 27.

Поступила 16 марта 1987 г.

УДК 621.922

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭПОКСИДНО-ФЕНОЛЬНОЙ СВЯЗКИ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

А. В. ЯКУБОВСКИЙ, И. И. ХРОМЧАК, И. Н. ГОНЧАР,
А. Д. ПРИСТАЯ

Львовский лесотехнический институт
Мукачевская экспериментальная лыжная фабрика

При изготовлении шлифовальных инструментов, предназначенных для абразивной обработки древесных и других материалов, широко применяют эпоксидно-фенольную связку, состоящую из эпоксидной смолы ЭД-20 и связующего фенолформальдегидного порошкообразного (СФП) [2]. Так как при изготовлении инструмента необходимо предварительно смешивать эпоксидную смолу с СФП, то из-за высокой консистенции связки трудно получить качественную формовочную массу. Использование чистой эпоксидной смолы в качестве увлажнителя зерна с последующим введением в абразивную массу СФП не дает положительных результатов, так как на границе раздела абразивный мате-