

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВРЕМЕНИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ КРУЧЕНИИ

В.П. Ярцев¹, Г.М. Куликов², О.Н. Кожухина³

*Кафедры «Конструкции зданий и сооружений» (1),
«Прикладная математика и механика» (2),
«Городское строительство и автомобильные дороги» (3),
ГОУ ВПО «ТГТУ»; wolk231184@mail.ru*

Ключевые слова и фразы: время; галтель; деформация; длительное сопротивление; древесина; кручение; прочность; температура.

Аннотация: В нормативных документах отсутствуют сведения о деформационно-прочностных характеристиках древесины при кручении. Исследовано влияние рабочей длины образца (конструктивного элемента), температуры и времени на прочность и деформативность древесины при кручении. Даны рекомендации по определению расчетных механических характеристик древесины с учетом реальных условий эксплуатации.

Некоторые деревянные конструкции (колонны, элементы кружально-сетчатых сводов) работают в условиях воздействия сил кручения. Однако, в нормативных документах [1] отсутствуют сведения о расчетных характеристиках древесины при кручении. Поэтому в данной работе исследовано напряженно-деформированное состояние древесины при кратковременном и длительном кручении в широком диапазоне температур.

Механические испытания проводили на специальном шестипозиционном стенде с накладной термокамерой в режимах заданной постоянной скорости нагружения и заданных постоянных напряжений и температур [2]. Образцы в виде цилиндра диаметром 7 мм и длиной 33 мм с галтелью различной ширины вытачивали на токарном станке из древесины второго сорта различных пород (сосны, березы, дуба). В результате испытаний фиксировали деформацию образца (угол закручивания) при заданной скорости нагружения и время до разрушения (долговечность) при заданных напряжениях и температурах.

Вопрос о достоверности полученных экспериментальных результатов связан с разбросом отдельных измерений. Величина разброса определяется изотропностью структуры исследуемого материала и постоянством условий испытаний (изготовление образцов, колебания напряжения и температуры).

Для построения кривой разброса было испытано 100 образцов из березы 2-го сорта с галтелью $L = 1$ мм. Полученные результаты приведены на рис. 1, из которого видно, что зависимость имеет вид кривой распределения Гаусса и предельная величина разброса составляет менее 10 %.

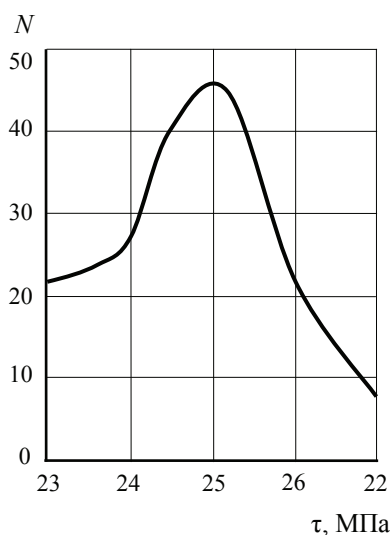


Рис. 1. Кривая разброса прочности при кручении древесины (образцов из березы) при $L = 1$ мм

чение предельного угла поворота указывает на более высокую эластичность этих пород древесины.

Влияние размеров концентратора напряжений (ширины галтели) на деформационно-прочностные характеристики древесины (на примере березы) показаны на рис. 2, из которого видно, что при увеличении ширины галтели от 1 до 5 мм (от 1/30 до 1/6 от длины образца) предельный угол закручивания резко возрастает, а разрушающее напряжение резко падает. Дальнейшее увеличение ослабления (длины галтели от 6 до 10 мм) в образце несущественно влияет на величины разрушающих деформаций и напряжений при кручении. Это, по-видимому, связано с механизмом разрушения древесины при кручении: скалывания вдоль волокон и их разрыва в пластической стадии деформирования. Теоретически величину угла закручивания φ и напряжения τ в галтели можно рассчитать по формулам [4]:

$$\varphi = \frac{M_k L}{GI_\rho}; \quad \tau = \frac{M_k}{W_\rho}; \quad M_k = Pr; \quad W_\rho = 0,3D^3,$$

где M_k – крутящий момент; L – ширина галтели; G – модуль сдвига; I_ρ – момент инерции при кручении; P – сила (нагрузка); r – длина плеча при кручении; W_ρ – момент сопротивления кручению; D – минимальный диаметр галтели. Полу-

Это позволяет при определении нормативных сопротивлений кручению использовать формулу [3]

$$R_{кр}^H = R_{вр} (1 - 2,25c_v),$$

где $R_{вр}$ – временное сопротивление (предел прочности при кручении и влажности 15%), c_v – коэффициент изменчивости (вариационный коэффициент).

Исследования деформационно-прочностных характеристик проводили на образцах с галтелью $L = 1$ мм из сосны, березы и дуба при температуре (20 ± 1) °С в режиме заданной скорости нагружения. Усредненные результаты шести измерений и рассчитанные из них величины модуля сдвига, предела прочности и текучести, а также угла поворота представлены в таблице, из которой видно, что начальный модуль сдвига при кручении для сосны имеет максимальную величину. Остальные механические характеристики для березы и дуба значительно выше, чем у сосны. Увели-

Прочностные и деформационные характеристики древесины при кручении

Основные механические характеристики	Порода		
	Сосна	Береза	Дуб
G – модуль сдвига, МПа	1	0,2	0,3
τ – разрушающее напряжение, МПа	17	28	45
τ_T – предел текучести, МПа	14	26	28
$\alpha_{пр}$ – предельный угол поворота, град	55	75	90
$\alpha_{п}$ – угол поворота до точки текучести, град	18	42	42

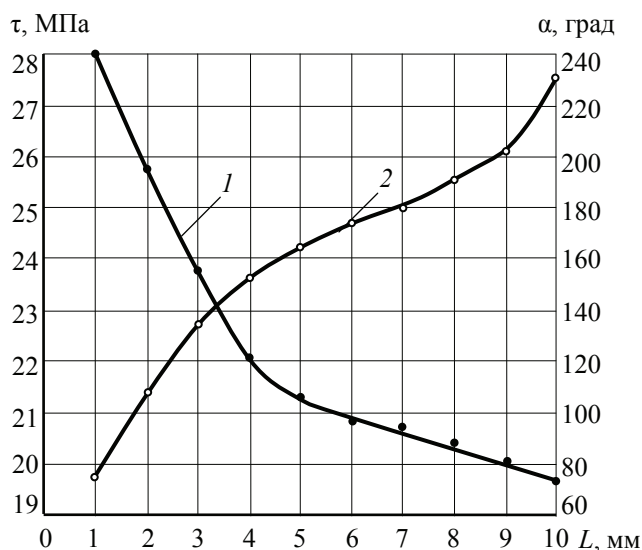


Рис. 2. Зависимость прочности (1) и предельного угла закручивания (2) при кручении древесины от размера галтели образца

ченные теоретические зависимости не совпадают с экспериментальными и это необходимо учитывать эмпирическими поправками при расчете деревянных элементов на кручение.

Влияние температуры на прочность древесины при кручении показано на рис. 3, из которого видно, что в эксплуатационном диапазоне положительных температур (0...+50 °С) разрушающее напряжение кручения падает не существенно, а с увеличением температуры до 500 °С – в 3–4 раза. Это, по-видимому, связано с размягчением древесных волокон и склеивающих их веществ, а также температурно-временной зависимостью прочности твердого тела [5].

Временная зависимость прочности древесины называется кривой длительного сопротивления [6]. Для ее построения испытания образцов (с галтелью $L = 1$ мм) проводили при постоянной температуре (20±1) °С и заданных постоянных напряжениях, фиксируя время от начала нагружения до разрушения образца. Результаты показаны на рис. 4.

Каждая точка на экспериментальных зависимостях является усредненным значением 6–12 измерений. На рис. 4 для сравнения также нанесены кривые длительного сопротивления при других видах нагружения – скалывании вдоль волокон и продольном изгибе. Экспериментальное оборудование, форма и размеры образцов для испытаний при скалывании и продольном изгибе описаны в [6]. Из рис. 4 видно, что предел длительного сопротивления ($\tau_{дл}$ и $\sigma_{дл}$ – величина напряжения, при котором процесс разрушения

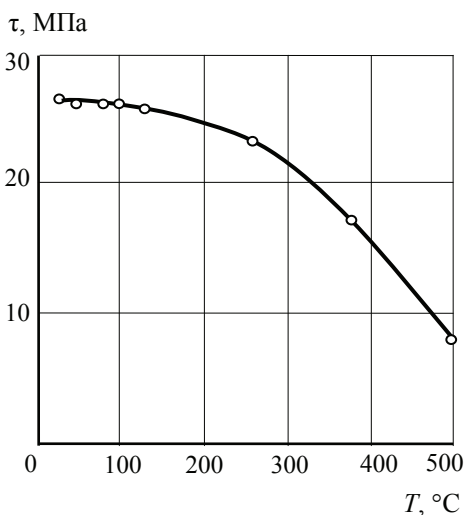


Рис. 3. Зависимость прочности при кручении древесины (образцов из березы) от температуры

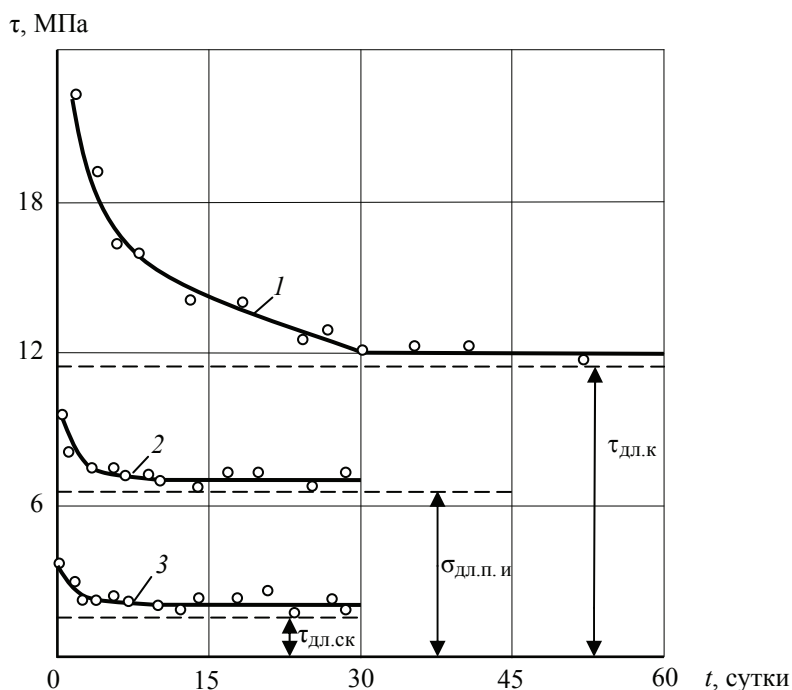


Рис. 4 Зависимость прочности древесины (образцов из березы) от времени действия нагрузки t при кручении (1), продольном изгибе (2) и скалывании вдоль волокон (3)

полностью затухает) зависит от вида напряженного состояния и симбатно изменяется с величиной предела кратковременного сопротивления (полученного в режиме заданной постоянной скорости нагружения). Это позволяет при расчете предельных длительных напряжений кручения использовать результаты ранее полученные для других видов нагружения.

Таким образом, при расчете круглых деревянных элементов на кручение необходимо учитывать влияние ширины поверхностных ослаблений (галтелей), высоких температур и времени эксплуатации.

Работа выполнена в рамках гранта Министерства образования и науки РФ 2.1.1./660, грант 080310.

Список литературы

1. Деревянные конструкции : СНиП II-25-80 : утв. Минстроем России : ввод. в действие с 1982-01-01. – М. : ГП ЦПП, 1955.
2. Ярцев, В.П. Прогнозирование работоспособности полимерных материалов в деталях зданий и сооружений : учеб. пособие / В.П. Ярцев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. – 150 с.
3. Карлсен, Г.Г. Конструкции из дерева и пластмасс / Г.Г. Карлсен. – М. : Стройиздат, 1975. – 688 с.
4. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. – М. : Наука, 1970. – 544 с.
5. Регель, В.Р. Кинетическая природа прочности твердых тел / В.Р. Регель, А.И. Слуцкер, Э.Е. Томашевский. – М. : Наука, 1976. – 560 с.
6. Ярцев, В.П. Влияние напряженного состояния, температуры и жидких сред на предел длительного сопротивления древесины / В.П. Ярцев // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2003. – Т. 9, № 4. – С. 718–721.

Influence of Temperature and Operating Time on Deformation and Strength Characteristics of Wood Substance under Torsion

V.P. Yartsev¹, G.M. Kulikov², O.N. Kozhukhina³

*Departments: «Construction of Buildings and Structures» (1),
«Applied Mathematics and Mechanics» (2),
«Civil Engineering and Automobile Roads» (3), TSTU;
wolk231184@mail.ru*

Key words and phrases: deformation; molding; prolonged resistance; strength; temperature; time; torsion; wood.

Abstract: The regulatory documents have no information on the deformation and strength characteristics of wood under torsion. The influence of the working length of a sample (structural element), temperature and time on the strength and deformation characteristics of wood under torsion is studied. The recommendations on the determination of computational mechanical characteristics of wood with regard to the real operating conditions are given.

Einwirkung der Temperatur und der Ausnutzungszeit auf die deformationsharte Charakteristiken des Holzes bei der Drehung

Zusammenfassung: In SNIP II-25-80 «Holzkonstruktionen» gibt es keine Angaben über die deformationsharten Charakteristiken des Holzes bei der Drehung. Es ist die Einwirkung der Arbeitslänge des Musters (Konstruktivelement), der Temperatur und der Zeit auf die Festigkeit und die Deformativität des Holzes bei der Drehung untersucht. Es sind die Empfehlungen für die Bestimmung der berechneten mechanischen Charakteristiken des Holzes mit Rücksicht auf realen Exploitationsbedingungen angegeben.

Influence de la température et du temps de l'exploitation sur les caractéristiques de déformation et de rigidité du bois lors du retordage

Résumé: Dans le snipe II-25-80 «Constructions en bois» il n'y a pas de renseignements sur les caractéristiques de déformation et de rigidité du bois lors du retordage. Est étudiée l'influence de la longueur de travail de l'échantillon (de l'élément constructif), de la température et du temps sur la rigidité et la capacité de déformation lors du retordage. Sont données les recommandations sur la définition des caractéristiques mécaniques du bois compte tenu des conditions réelles de l'exploitation.

Авторы: *Ярцев Виктор Петрович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений»; *Куликов Геннадий Михайлович* – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная математика и механика»; *Кожухина Ольга Николаевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги», ГОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Леденев Владимир Иванович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Городское строительство и автомобильные дороги», ГОУ ВПО «ТГТУ».