

**ВЛИЯНИЕ ВИДА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ,  
ТЕМПЕРАТУРЫ И ЖИДКИХ СРЕД НА ПРЕДЕЛ  
ДЛИТЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ****В.П. Ярцев***Кафедра «Конструкции зданий и сооружений», ТГТУ**Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым*

**Ключевые слова и фразы:** жидкая среда; кратковременное и длительное сопротивление; продольный и поперечный изгиб; термофлуктуационный и атермический механизм разрушения.

**Аннотация:** Исследовано влияние различных факторов на предел длительного сопротивления древесины. Предложена физическая трактовка механизма его появления на основе термофлуктуационных представлений о разрушении древесины на клеточном уровне.

---

Зависимость времени до разрушения (долговечности  $\tau$ ) любых твердых тел (включая и древесину) от напряжения  $\sigma$  и температуры  $T$  описывается обобщенным уравнением Журкова [1]

$$\tau = \tau_m \exp \left[ \frac{U_0 - \gamma \sigma}{RT} \left( 1 - \frac{T}{T_m} \right) \right], \quad (1)$$

где  $\tau_m$ ,  $U_0$ ,  $\gamma$ , и  $T_m$  – физические константы,  $R$  – универсальная газовая постоянная.

Согласно (1) при  $\sigma = 0$  долговечность конечна. Это значит, что разрушение может произойти при любой сколь угодно малой нагрузке и даже при ее отсутствии. Однако в ряде теорий [2 – 4] предполагается, что существует некоторое конечное напряжение, при котором долговечность становится бесконечно большой. Это напряжение называется безопасным. Экспериментально для гомогенных полимеров обнаружить безопасное напряжение очень сложно ввиду малости его величины. Для древесины безопасное напряжение называется пределом длительного сопротивления и составляет 0,5 – 0,6 временного сопротивления разрушению (десятки МПа). Физическая природа предела длительного сопротивления до сих пор не ясна, поэтому в данной работе исследовано влияние различных факторов на его поведение.

В качестве объекта исследования была выбрана древесина сосны первого сорта. Испытания на многопозиционных специальных стендах проводили при продольном и поперечном изгибе. Образцы размерами 10 × 10 × 500 мм и 10 × 8 × 170 мм дисковой пилой вырезали из досок вдоль волокон, обрабатывали рубанком и шлифовали наждачной шкуркой. Повышенные температуры создавали накладными термокамерами и с помощью потенциометров поддерживали их постоянными с точностью ±1 °С. Экспериментальные данные обрабатывали в координатах  $\sigma - \lg \tau$  (рис. 1).

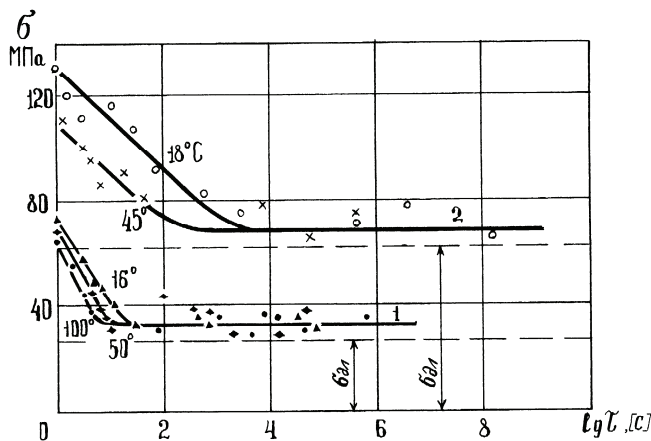


Рис. 1 Влияние температуры на кривые длительного сопротивления неподсечной сосны при продольном (1) и поперечном (2) изгибе

Полученные кривые имеют асимптотический характер, а их асимптоты определяют величины предела длительного сопротивления  $\sigma_{дл}$ . Из рис. 1 видно, что при продольном изгибе  $\sigma_{дл}$  в два раза меньше, чем при поперечном. Такое соотношение получается при расчете эффективного напряжения, исходя из линейной эпюры при изгибе и интегрирования напряжения по объему образца. При незначительном деформировании полиметилметакрилата  $\sigma_c : \sigma_n \approx 0,5$  [1]. Разрушение при изгибе наступает в зоне максимальных напряжений – в области растяжения поверхностного слоя. Поскольку сопротивление разрушению оказывает не вся толщина образца, а лишь этот слой, то эффективность изгибающей силы при разрушении должна быть больше, чем при деформировании.

Действительно, для различных марок пластмасс [5] рассчитанное нами соотношение величин допускаемых напряжений при сжатии и изгибе колеблется в пределах 0,5...0,87, что в среднем составляет 0,7. Причины такого колебания, по-видимому, связаны с различием как условий испытания (данные взяты из разных источников), так и физического состояния разных пластмасс при температуре испытания (комнатной). Сопоставление расчетных сопротивлений древесины сосны и ели при сжатии в продольном направлении волокон и изгибе в поперечном также дает значение 0,7. Это указывает на универсальность данного соотношения при разрушении любых высокомолекулярных материалов.

Для выявления влияния состояния древесины на  $\sigma_{дл}$  кривые длительного сопротивления построены при поперечном изгибе для подсечной и неподсечной сосны. Структура подсечной сосны отличается пустыми смоляными ходами и меньшей плотностью древесины. Подсечная древесина имеет меньшее кратковременное сопротивление, но, как показали испытания, одинаковый предел длительного сопротивления с неподсечной древесиной (табл. 1). Это показывает, что наличие смолы в сосне не влияет на величину  $\sigma_{дл}$ .

Влияние времени выдержки в воде и растворе  $\text{CuSO}_4$  на предел длительного сопротивления показано в табл. 1, из которой видно, что с увеличением влажности  $\sigma_{дл}$  падает при испытании образцов как продольным, так и поперечным изгибом. В растворе  $\text{CuSO}_4$  в течение 24 часов предел длительности сопротивления падает почти в два раза при поперечном изгибе. По-видимому, раствор  $\text{CuSO}_4$ , проникая в древесинное вещество вызывает его хемодеструкцию. При продольном изгибе  $\sigma_{дл}$  меняется незначительно из-за дополнительного сжатия вдоль волокон.

Таблица 1

**Влияние жидких сред на предел длительного сопротивления (МПа)  
сосны при изгибе**

Вид изгиба	Среда	Время действия в часах				
		0	0,08	0,5	24	более 2000
поперечный	–	60	–	–	–	–
поперечный	сосновая смола	–	–	–	–	60
поперечный	вода	60	50	48	40	–
продольный	– » –	30	27	25	20	–
поперечный	20% р-р CuSO <sub>4</sub>	60	45	40	35	–
продольный	– » –	30	28	27	25	–

Наиболее важным для понимания физической природы предела длительного сопротивления является изучение влияния на него температуры. Древесина имеет сложную анизотропную структуру на микро- и макроуровне. Поэтому при анализе причин возникновения предела длительного сопротивления древесины необходимо в первую очередь рассмотреть ее микроструктуру.

Основу древесинного вещества составляют целлюлозные волокна, которые представляют собой природный полимерный материал. Однако для полимеров предел длительного сопротивления экспериментально не обнаружен. Следовательно, исходя из химического состава древесины, нельзя объяснить его физическую природу.

Для понимания механизма возникновения длительного сопротивления необходимо рассмотреть строение клетки древесины. Она представляет собой многослойную оболочку, соединенную с соседними клетками межклеточным веществом. Опытты по разрушению древесины на клеточном уровне показали, что межклеточное вещество очень прочно, а отделение клетки друг от друга происходит по первичному слою менее прочной клетки, но никогда по прослойке межклеточного вещества. Это позволяет предположить, что межклеточное вещество имеет строение, аналогичное строению высокопрочных неорганических стекол [2].

Доказано, что высокопрочные стекла разрушаются по атермическому механизму в отличие от других твердых тел, разрушение которых имеет термофлуктуационный механизм. Высокопрочные стекла при достижении предельного напряжения разрушаются на большее количество мелких осколков. По аналогии с высокопрочными стеклами межклеточное вещество, являясь связующим древесины, – природный высокопрочный материал бездефектной структуры. При достижении напряжения, выше предела длительного сопротивления, по всему объему нагруженного образца древесины разрушается межклеточное вещество. Как показали испытания, предел длительного сопротивления древесины не зависит от температуры (см. рис. 1), что подтверждает атермический механизм его разрушения при достижении  $\sigma_{дл}$ .

После распада межклеточного вещества основное древесинное вещество разрушается по термофлуктуационному механизму (как любые другие полиме-

ры), что проявляется в резкой температурно-временной зависимости прочности древесины при напряжениях выше предела длительного сопротивления (рис. 1).

Итак, полученные результаты позволили объяснить физическую природу предела длительного сопротивления древесины.

#### *Список литературы*

1. Ратнер С.Б., Ярцев В.П. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность. – М.: Химия, 1992. – 320 с.
2. Бартнев Г.М. Строение и механические свойства неорганических стекол. – М.: Стройиздат, 1966. – 216 с.
3. Бартнев Г.М., Зуев Ю.С. Прочность и разрушение высокоэластичеких материалов. – М.: Химия, 1964. – 320 с.
4. Бартнев Г.М., Френкель С.Я. Физика полимеров // Под ред. А.М. Ельяшевича. – Л.: Химия, 1990. – 442 с.
5. Мирзоев Р.Г. и др. Основы конструирования и расчета деталей из пластмасс и технологической оснастки для их изготовления. – М.-Л.: Машиностроение, 1972. – С. 20 – 21.

---

### **Influence of Tense Condition Type, Temperature and Liquid Media on the Limit of Long-Term Wood Resistance**

V.P. Yartsev

*Department "Construction of Buildings and Structures", TSTU*

**Key words and phrases:** liquid media; short-term and long-term resistance; buckling and lateral bending; thermofluctual and a-thermal destruction mechanism.

**Abstract:** The influence of different factors on the behavior of long-term wood resistance limit is examined. Physical interpretation of its appearance mechanism on the basis of thermofluctual notion about wood destruction on cell level is suggested.

---

### **Einwirkung der Art des Spannungszustandes, der Temperatur und der Flüssigmedien auf die Grenze des dauernden Holzwiderstandes**

**Zusammenfassung:** Es ist die Einwirkung der verschiedenen Faktoren auf die Grenze des dauernden Holzwiderstandes untersucht. Es ist die physikalische Deutung des Mechanismus ihrer Erscheinung auf Grund der Thermostreungsvorstellungen über den Holzerfall auf dem Zellenniveau vorgeschlagen.

---

### **Influence du type de l'état de contrainte de la température et des milieux liquides sur la limite de la résistance de longue durée du bois**

**Résumé:** Est étudiée l'influence de différents facteurs sur le comportement de la limite de la résistance de longue durée du bois. Est proposée l'interprétation physique du mécanisme de son apparition à la base des représentations de thermofluctuation sur la destruction du bois au niveau des cellules.