

УДК 621.002: 674.812

## ВЛИЯНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР И СТЕПЕНИ УПЛОТНЕНИЯ НА ТВЕРДОСТЬ ПРЕССОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Аксенов А.А., Малюков С.В.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, e-mail: aaa-aksenov@mail.ru

Определены значения твердости прессованной древесины с учетом анизотропии при температурах от +20 до –100 °С. Исследования твердости проведены в различных направлениях приложения нагрузки по отношению к расположению волокон для каждой экспериментальной температурной точки. Выявлено что с понижением температуры от +20 до –100 °С твердость прессованной древесины увеличивается. Наибольшую абсолютную величину имеет твердость в торцевом направлении к волокнам прессованной древесины. Анизотропия древесины оказывает незначительное влияние на характер изменения твердости в интервале температур от +20 до –100 °С. Определены значения твердости для торцевых поверхностей прессованной древесины при увеличении ее степени уплотнения от 0 до 0,57. Установлена эмпирическая зависимость для расчета твердости прессованной древесины в зависимости от степени уплотнения и температуры. Прессованная древесина может быть применена в узлах трения различных машин и механизмов, работающих в абразивных, агрессивных и влажных средах в различных диапазонах температур.

**Ключевые слова:** прессованная древесина, твердость, узел трения, отрицательная температура

## INFLUENCE OF NEGATIVE TEMPERATURES AND DEGREES OF HARDNESS SEALS COMPRESSED WOOD

Aksenov A.A., Malyukov S.V.

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, e-mail: aaa-aksenov@mail.ru

The values of hardness of molded wood with anisotropy in the temperature-RAN from +20 to –100 °С. Hardness studies conducted in various areas of application of the load in relation to the arrangement of fibers for each experimental temperature points. Revealed that with decreasing temperature from +20 to –100 °С hardness pressed wood rises. The greatest absolute value has a hardness in a face direction to the pressure-treated wood fibers. Anisotropy of wood has little impact on the variation of hardness in the temperature range from +20 to –100 °С. The values of hardness for the end surface of the pressure-treated wood when increasing the degree of compaction of from 0 to 0,57. Established an empirical relationship to calculate the hardness of a molded wood depending on the degree of compaction and temperature. Extruded wood can be used in the friction of various machines and mechanisms operating in abrasive, corrosive and wet environments in different temperature ranges.

**Keywords:** pressed wood, hardness, friction unit, negative temperature

Узлы трения являются ответственными и в то же время уязвимыми конструктивными элементами машин и механизмов, часто определяющими их надежность и ресурс. Эксплуатация их неизбежно связана с протеканием процессов изнашивания, интенсивность которых зависит от свойств материалов деталей, технологической подготовки поверхностей и их качества, от условий работы узла трения: нагрузки, скорости, температуры, смазки и др. Снижение интенсивности изнашивания является одной из самых острых проблем современности. Свыше 80% отказов машин происходит из-за износа узлов и деталей. Потери средств от трения и износа в развитых государствах достигают 4...5% национального дохода, а преодоление сопротивления трения поглощает во всем мире 20...25% вырабатываемой за год энергии [4].

Эксплуатация узлов трения многих машин и механизмов в различных отраслях промыш-

ленности протекает в абразивных, агрессивных и влажных средах в различных диапазонах температур. Одним из лучших антифрикционных материалов, способных работать в таких условиях, является прессованная древесина.

В настоящее время существуют различные способы прессования древесины: одноосное и контурное прессование, торцовое и продольное гнутье [5]. Для различных условий эксплуатации и в зависимости от конструкции узлов трения с подшипниками из прессованной древесины разработаны методики их инженерных расчетов [2].

Стандарт ГОСТ 13338-86 устанавливает метод определения статической твердости прессованной древесины. Сущность метода состоит в определении глубины отпечатка стального шарика диаметром 5 мм при внедрении его в образец размерами 15×15×45 мм или втулку внутренним диаметром не менее 50 мм с толщиной стенки более 3 мм размерами 15×3×45 мм [6].

В работе [1] проведены экспериментальные исследования зависимости твердости прессованной древесины от температуры с учетом анизотропии материала. Для испытаний были выбраны образцы прессованной древесины березы со средней степенью уплотнения  $\varepsilon = 0,5$ .

Испытания проводились при температурах  $+20, 0, -20, -50$  и  $-100^\circ\text{C}$ . В соответствии с требованиями точности число повторных опытов для каждой точки испытаний было принято равным 14 при доверительном интервале не менее 96%.

Для определения твердости прессованной древесины применялась экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1.

га укреплен уравнивающая систему противовес 18. Снизу на длинном плече двуплечего рычага 1 шарнирно закреплен шток 16 крепления шарика (индентора).

На пульте управления, прикрепленном к станине 10, располагаются кнопки включения 11 и выключения 12 прибора и сигнальные лампочки управления 13 и 14. К станине крепится индикатор 15 для замера глубины отпечатков. Индикатор 15 взаимодействует со штоком 16 через упор 17, прикрепленный к штоку.

Для изменения температуры азот из сосуда Дьюара 19 по изолированной трубке 20 через предохранительный клапан 21 и магнитный клапан 22, прикрепленный к крышке 23, подается в термокриокамеру 24.

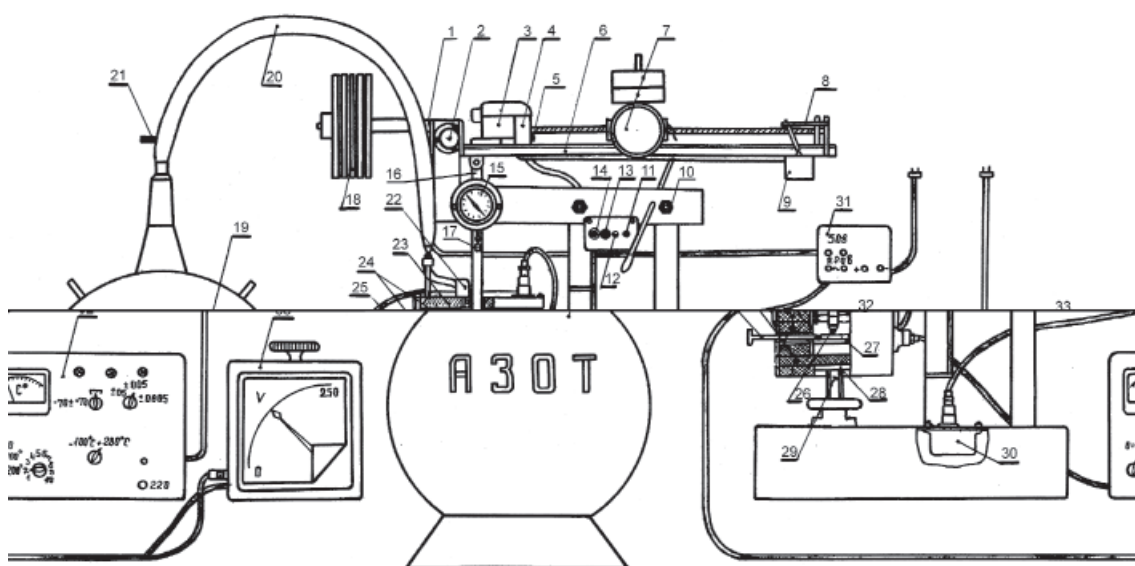


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для определения твердости в зависимости от температуры:

- 1 – двуплечий рычаг; 2 – опора; 3 – реверсивный двигатель; 4 – фрикционная передача; 5 – конечный выключатель; 6 – винт; 7 – груз; 8 – рычаг; 9 – переключатель; 10 – станина; 11 – кнопка включения; 12 – кнопка выключения; 13, 14 – сигнальные лампочки управления; 15 – индикатор; 16 – шток; 17 – упор; 18 – противовес; 19 – сосуд Дьюара; 20 – изолированная трубка; 21 – предохранительный клапан; 22 – магнитный клапан; 23 – крышка; 24 – термокриокамера; 25 – винт; 26 – шарик (индентор); 27 – образец; 28 – подставка; 29 – винтовой подъемник; 30 – реле времени; 31 – источник питания; 32 – электронный регулятор установки тепла-холода; 33 – регулятор напряжения

Рычажная система нагружения выполнена в виде двуплечего рычага 1, шарнирно закрепленного на опоре 2. Сверху в начале длинного плеча двуплечего рычага установлен реверсивный двигатель 3 с фрикционной передачей 4 и прикрепленным к ним конечным выключателем 5, кинематически связанным с двигателем винтом 6, с помощью которого перемещается груз 7. На конце длинного плеча двуплечего рычага 1 установлен рычаг 8 переключателя 9. На конце короткого плеча двуплечего рычага

Через изоляционную стенку термокриокамеры 24 проходит винт 25, перемещающий (координирующий) положение образца в камере по отношению к шарика 26. Образец 27 при испытании перемещается винтом 25 в направляющих так, что отпечатки шарика располагаются в ряд на расстоянии 5 мм. Термокриокамера 24 устанавливается на подставку 28 винтового подъемника 29.

В нижнем коробе станины 10 расположено реле времени 30, которое с помощью разъема и кабеля присоединяется

к источнику питания 31. Термокриокамера 24 разъемом и кабелем соединяется с передвижным электронным регулятором 32 установки тепла-холода. Для электропитания переменного напряжения нагревателей, входящих в установку тепла-холода, служит регулятор напряжения 33.

При проведении испытаний образец из прессованной древесины стандартных размеров устанавливается на дно термокриокамеры 24 (рис. 1) и с помощью винтового подъемника 29 создается предварительная нагрузка на шарик, равная 10 Н. Затем шкала индикатора прибора устанавливается на нуль, после чего с помощью рычажного механизма плавно увеличивается нагрузка на шарик до 250 Н в течение 30 с и выдерживается в течение 30 с, после чего нагрузка в течение 30 с плавно уменьшается до 10 Н. После снятия нагрузки делается выдержка до тех пор, пока стрелка индикатора не остановится, т.е. произойдет восстановление, и только после этого замеряется глубина восстановленного отпечатка. Глубина отпечатка измеряется с погрешностью не более 0,002 мм.

Твердость прессованной древесины определялась по формуле [6]

$$H = \frac{F}{2\pi R h}, \quad (1)$$

где  $H$  – твердость, Па;  $F$  – нагрузка, приложенная к шарик, Н;  $R$  – радиус шарика, м;  $h$  – глубина восстановленного отпечатка, м.

Так как древесина, в том числе и прессованная, представляет собой анизотропный материал, исследования твердости проводились в различном направлении приложения нагрузки по отношению к расположению волокон для каждой экспериментальной температурной точки в соответствии с ранее изложенной методикой.

По результатам экспериментальных исследований построены графики зависимости твердости прессованной древесины в различном направлении к волокнам от температуры, которые представлены на рис. 2.

Анализируя графики, представленные на рис. 2, можно сделать следующие выводы:

1. С понижением температуры от +20 до -100 °С твердость прессованной древесины увеличивается:

– при действии нагрузки в радиальном направлении к волокнам от 124,7 до 349,3 МПа;

– в тангенциальном – от 128,1 до 400,4 МПа;

– в торцевом – от 133,6 до 404,5 МПа.

2. Наибольшую абсолютную величину имеет твердость в торцевом направлении к волокнам прессованной древесины, следовательно, торцевая поверхность предпочтительнее для использования в качестве поверхности трения.

3. Анизотропия древесины оказывает незначительное влияние на характер изменения твердости в интервале температур от +20 до -100 °С.

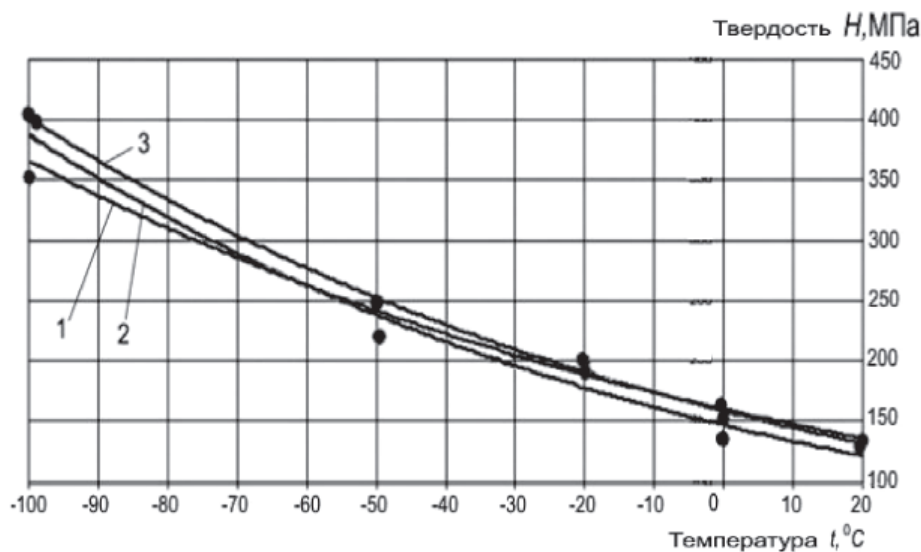


Рис. 2. Зависимость твердости прессованной древесины от температуры:  
 1 – в радиальном направлении к волокнам;  
 2 – в тангенциальном направлении к волокнам;  
 3 – в торцевом направлении к волокнам

Так как торцевая поверхность трения является оптимальной, по результатам экспериментальных данных изменения торцевой твердости прессованной древесины в интервале температур от +20 до -100°C получена аналитическая зависимость [3]:

$$H_T = 158,34e^{-0,0093t}, \quad (2)$$

где  $H_T$  – торцевая твердость прессованной древесины, МПа;  $t$  – температура, °C.

Для определения зависимости твердости прессованной древесины от степени уплотнения исследования проводились на экспериментальной установке, описанной ранее [1]. Для проведения измерений была подготовлена партия образцов, изготовленных из натуральной и прессованной древесины березы в соответствии с ГОСТ 13338-86 размерами 15×15×45 мм [6].

Каждый образец взвешивался до и после уплотнения для определения плотности и расчета степени уплотнения по формуле

$$\varepsilon = \ln \frac{\rho_1}{\rho_0}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  – степень уплотнения прессованной древесины;  $\rho_1$  – плотность после уплотнения, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_0$  – плотность до уплотнения (натуральной древесины), кг/м<sup>3</sup>.

Степень уплотнения образцов  $\varepsilon$  принимала следующие значения: 0,12; 0,15; 0,18; 0,25; 0,35; 0,50; 0,57. В соответствии с требованиями точности число повторных опытов для каждого значения

степени уплотнения было принято равным 12 при доверительном интервале не менее 95 %.

Измерения проводились при температуре +20°C только в торцевом направлении к волокнам, так как торцевая поверхность является оптимальной для трения. Твердость определялась в соответствии с ранее описанной методикой по формуле (1).

В результате экспериментальных исследований определена твердость прессованной древесины березы в зависимости от степени уплотнения и построен график зависимости, представленный на рис. 3.

Методом аппроксимации установлена эмпирическая зависимость твердости  $H$  от степени уплотнения  $\varepsilon$ :

$$H_T = 134,2\varepsilon + 69,91, \quad (4)$$

где  $H_T$  – торцевая твердость прессованной древесины, МПа;  $\varepsilon$  – степень уплотнения.

Установлено, что увеличение степени уплотнения до уровня 0,57 приводит к возрастанию твердости до 147 МПа торцевой поверхности прессованной древесины.

Анализируя графическую зависимость твердости прессованной древесины от степени ее уплотнения, можно сделать предположение, что в пределах степени уплотнения от 0 до 0,6 твердость изменяется по линейной зависимости (на рис. 3 показана пунктирной линией), т.е. твердость прямолинейно зависит от степени уплотнения древесины.

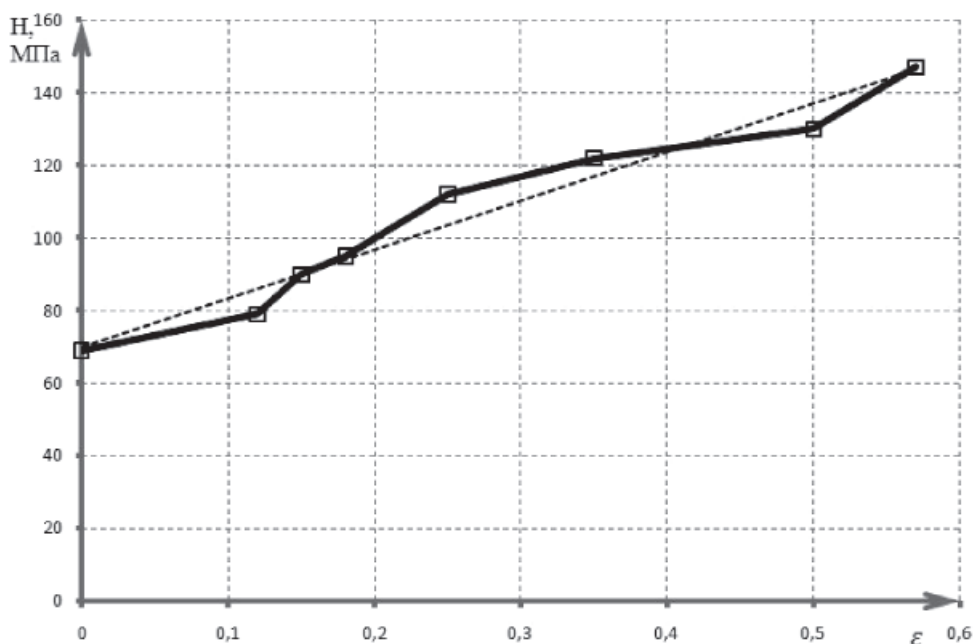


Рис. 3. Зависимость торцевой твердости прессованной древесины от степени ее уплотнения

Таким образом, рассчитав степень уплотнения прессованной древесины по формуле (3), можно определить торцевую твердость прессованной древесины по формуле (4). Однако это не позволяет определить твердость при конкретной температуре.

Для сопоставления формул (2) и (4) необходимо ввести коэффициент корреляции  $K$ , зависящий от степени уплотнения. Такой коэффициент был найден графическим методом и определяется по формуле

$$K = 1,0277\varepsilon + 0,5235, \quad (5)$$

где  $K$  – коэффициент корреляции;  $\varepsilon$  – степень уплотнения.

Тогда формула для расчета торцевой твердости прессованной древесины в зависимости от степени уплотнения и температуры запишется в виде

$$H_T = 158,34e^{-0,0093t} \cdot (1,0277\varepsilon + 0,5235). \quad (6)$$

### Выводы

1. Определены зависимости твердости прессованной древесины с учетом анизотропии от температуры.

2. Установлено, что наиболее целесообразно использовать торцевую поверхность прессованной древесины как поверхность трения.

3. Получена эмпирическая зависимость торцевой твердости прессованной древесины от температуры в интервале от +20 до –100°C.

4. Экспериментально определена зависимость торцевой твердости прессованной древесины от степени уплотнения, получена эмпирическая зависимость.

5. Выведена формула для определения торцевой твердости прессованной древесины в зависимости от степени уплотнения и температуры в интервале от +20 до –100°C.

### Список литературы

1. Аксенов А.А. Повышение надежности подшипников лесных машин, работающих при отрицательных температурах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 2003. – 18 с.

2. Аксенов А.А., Винник Н.И. Узлы трения с подшипниками из прессованной древесины. – Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2013. – 137 с.

3. Аксенов А.А., Малоюков С.В. Твердость и деформации прессованной древесины при отрицательных температурах // Лесотехнический журнал. – 2014. – Т.4. – № 3 (15). – С. 184–192.

4. Богданович П.Н., Прушак В.Я. Трение и износ в машинах: учеб. для вузов. – М.: Выш. шк., 1999. – 374 с.

5. Винник Н.И. Модифицированная древесина. – М.: Лесн. промышленность, 1980. – 158 с.

6. ГОСТ 13338-86. Древесина модифицированная. Метод определения твердости, временных упругих и временных остаточных деформаций. – Введ. 1986-03-01. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 8 с.

### References

1. Aksenov A.A. *Povyshenie nadezhnosti podshipnikov lesnykh mashin, rabotayushchikh pri otritsatelnykh temperaturakh*: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk [Improving the reliability of the bearings forestry machines operating at low temperatures. Cand. tech. sciences author. dis.]. Voronezh, 2003, 18 p.

2. Aksenov A.A., Vinnik N.I. *Uzly treniya s podshipnikami iz pressovannoy drevesiny* [The friction of the bearings of pressure-treated wood]. Saarbrücken, LAP LAMBERT, 2013, 137 p.

3. Aksenov A.A., Malyukov S.V. *Tverdost i deformatsii pressovannoy drevesiny pri otritsatelnykh temperaturah* [Hardness and deformation of molded wood at low temperatures]. *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 2014, Vol. 4, no. 3 (15), pp. 184–192. doi: 10.12737/6286.

4. Bogdanovich P.N., Prusak V.J. *Trenie i iznos v mashinakh* [Friction and wear in machines]. Moscow, 1999, 374 p.

5. Vinnik N.I. *Modifitsirovannaya drevesina* [Modified wood]. Moscow, 1980, 158 p.

6. *GOST 13338-86. Drevesina modifitsirovannaya. Metod opredeleniya tverdosti, vre-mennykh uprugikh i vremennykh ostatochnykh deformatsiy. Vved. 1986-03-01.* [GOST 13338-86. Modified wood. Method for determination of hardness, elastic time and temporary residual deformation. Enter. 1986-03-01]. Moscow, Publishing house of standards, 1986, 8 p.

### Рецензенты:

Афоничев Д.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой электротехники и автоматики, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж;

Пухов Е.В., д.т.н., доцент, заведующий кафедрой эксплуатации машинно-тракторного парка, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж.