

Научная статья
УДК 53.03

**К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО
РАСШИРЕНИЯ ВОДЫ НА МИКРОСТРУКТУРУ
ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ЕЕ НАГРЕВАНИИ**

**Иван Викторович Юдин¹, Кирилл Александрович Пирязев²,
Нина Сергеевна Камалова³, Наталья Юрьевна Евсикова⁴**

^{1, 2, 3, 4} Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г. Ф. Морозова, Воронеж, Россия

¹ rc@icmail.ru

² kirillasiris25082004@bk.ru

³ rcamel@yandex.ru

⁴ natalyaevsikova@mail.ru

Аннотация. В работе в рамках классической термодинамики рассматривается механизм влияния температурного расширения воды на энтропию клеточной стенки древесины при ее нагревании. Экспериментальные исследования зависимости коэффициента теплового расширения воды от температуры в диапазоне 40–70 °С выявили ее нелинейный характер. Анализ результатов показал наличие пиков увеличения относительного изменения энтропии клеточных стенок при определенных температурах.

Ключевые слова: температурное расширение воды, микроструктура древесины, динамика клеточной стенки, сушка древесины

Original article

**ON THE QUESTION OF THE INFLUENCE
OF THERMAL EXPANSION OF WATER
ON THE MICROSTRUCTURE OF WOOD DURING HEATING**

**Ivan V. Yudin¹, Kirill A. Piryazev², Nina S. Kamalova³,
Natalya Yu. Evsikova⁴**

^{1, 2, 3, 4} Voronezh State University of Forest and Technologies named after
G. F. Morozov, Voronezh, Russia

¹ rc@icmail.ru

² kirillasiris25082004@bk.ru

³ rcamel@yandex.ru

⁴ natalyaevsikova@mail.ru

© Юдин И. В., Пирязев К. А., Камалова Н. С., Евсикова Н. Ю., 2024

Abstract. The work, within the framework of classical thermodynamics, examines the mechanism of the influence of the thermal expansion of water on the entropy of the cellular network of wood when it is heated. Experimental studies of the dependence of the coefficient of thermal expansion of water on temperature in the range of 40-70 °C revealed its nonlinear nature. Analysis of the results showed the presence of peaks of increase in the relative change in the entropy of cell walls at certain temperatures.

Keywords: thermal expansion of water, wood microstructure, cell wall dynamics, wood drying

Несмотря на разнообразие современных материалов, древесина и композиты на ее основе широко востребованы в различных отраслях экономики [1–3]. С давних времен эту гетероструктуру природного происхождения модифицируют для изготовления изделий с необходимыми эксплуатационными свойствами. В настоящий момент исследуется изменение ее клеточной структуры под влиянием таких внешних факторов, как неоднородное температурное поле, электромагнитное поле высокой частоты, химическая обработка и т. д. [1, 4].

Все технологии обработки древесины включают операцию сушки, которую можно рассматривать как контролируемый процесс испарения влаги при термообработке [5]. Контроль за этой операцией определяет качество материала, полученного из сырой древесины. Эта важная операция осуществляется с помощью мониторинга интенсивности влагопереноса путем измерения перепада температур между поверхностью пиломатериалов и датчиками, вмонтированными в их толщу [3, 6]. По этой причине достаточно актуальной проблемой является понимание механизма влияния температуры на клеточные стенки древесины воды при устойчивом градиенте температуры в образце, т. к. в процессе нагревания вода расширяется и воздействует на их микроструктуру.

Цель данной работы – исследовать изменение коэффициента теплового расширения воды в интервале температур 40–70 °C и его возможное влияние на микроструктуру клеточной стенки древесины.

Для решения задачи рассмотрено изменение свободной энергии Гельмгольца $d\Psi$ древесины как сетчатого полимера [7–9] под воздействием температурного расширения воды. В качестве независимых переменных выбраны объем клеточной сетки V и температура T :

$$d\Psi = -SdT - pdV, \quad (1)$$

где S – энтропия элементов клеточной стенки; p – давление в сушильной камере. Для минимизации дефектов уникальной структуры древесины необходимо избегать изменения свободной энергии клеточных стенок, поэтому в процессе сушки можно считать, что $d\Psi \approx 0$. Тогда с учетом равен-

ства работ при объемном температурном расширении воды и деформации стенок из (1) получим, что

$$SdT = pdV_T = pV_T \frac{dV_T}{V_T}, \quad (2)$$

где V_T – объем воды в древесине при температуре T ; dV_T – ее объемное температурное расширение. Коэффициент температурного расширения воды определяется как [9]

$$\beta_T = \frac{dV_T}{dTV_T}. \quad (3)$$

Тогда из (2) с учетом (3) для S получается соотношение:

$$S = pV_T \frac{dV_T}{dTV_T} = \beta_T pV_T. \quad (4)$$

Поскольку вода – несжимаемая жидкость, а давление в сушильной камере поддерживается постоянным, то энтропия состояний клеточной стенки и ее изменение определяются именно изменениями коэффициента температурного расширения воды. По этой причине можно предположить, что

$$\frac{dS}{S} \approx \frac{d\beta_T}{\beta_T}. \quad (5)$$

Для исследования зависимости β_T от температуры использовалась установка, состоящая из электрической плитки (1), колбы с водой (2) и термометра (3) (рис. 1).

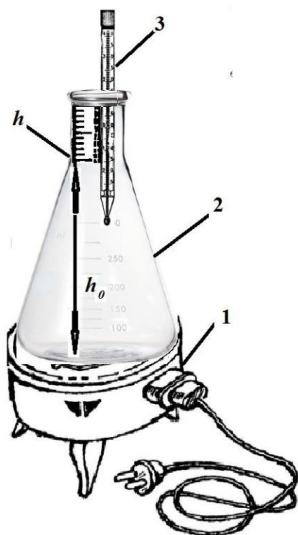


Рис. 1. Схема установки для измерения коэффициента температурного расширения

Изменение объема определялось по измерению высоты поднятия уровня воды в узкой части колбы h . Коэффициент температурного расширения оценивался по соотношению [9]:

$$\beta_t = \frac{3h}{h_0(t-t_0)} \left[1 + \frac{D}{d} + \left(\frac{D}{d} \right)^2 \right]^{-1} \quad (6)$$

где d и D – диаметры верхней части и дна колбы соответственно; h_0 – высота колбы без измерительной части; t_0 – температура окружающей среды.

При нагревании воды от 40 °С до 70 °С выяснилось, что изменение коэффициента температурного расширения не является линейным (рис. 2, а). Наблюдаются ярко выраженные участки стабилизации и роста. При этом абсолютная величина совпадает с табличными данными только при 40 °С ($\beta_T = 0,39 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$), а $\beta_T = 0,53 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ достигается при температуре 67 °С, а не при 60 °С, как это указано в табличных данных [9].

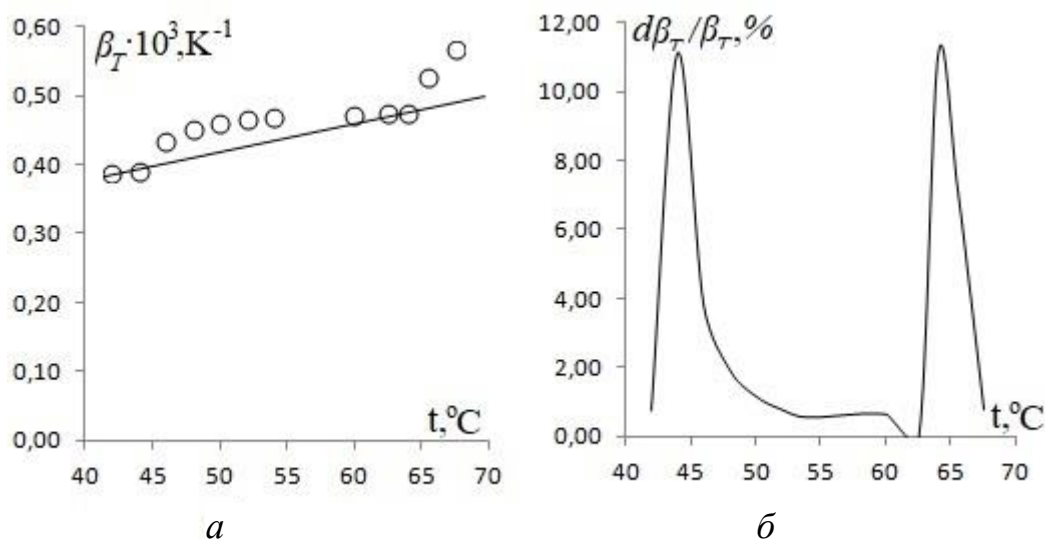


Рис. 2. Результаты эксперимента:
 а – оценка β_T по соотношению (6); б – оценка $\Delta\beta_T/\beta_T$

Расчет относительного изменения коэффициента температурного расширения и соответствующего возможного изменения энтропии клеточной стенки при нагревании воды выявил наличие двух пиков, превышающих 10 % (рис. 2, б). На основании этих данных можно предположить, что в процессе нагревания вода переходит из одного равновесного состояния в другое, что проявляется в изменении коэффициента температурного расширения.

Таким образом, проведенные исследования значительно расширяют существующие представления о механизмах взаимовлияния воды и клеточных стенок древесины. Рассуждения были проведены в рамках класси-

ческой термодинамики, поэтому не противоречат базовым представлениям о процессах в сложных структурах. Интересным является тот факт, что коэффициент температурного расширения претерпевает пульсирующее увеличение при определенных температурах.

Список источников

1. Шамаев В. А. Химико-механическое модифицирование древесины. Воронеж : Воронежская государственная лесотехническая академия, 2003. 260 с.
2. Камалова Н. С., Постников В. В. Физические основы модифицирования древесины. Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2019. 164 с.
3. Расев А. И. Сушка древесины. М. : Высшая школа, 1990. 224 с.
4. Матвеев Н. Н., Камалова Н. С., Евсикова Н. Ю. Поляризаационные явления в кристаллизующихся полимерах и биокомпозиционных материалах в неоднородном температурном поле : монография. Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2022. 311 с.
5. О механизме конвективной сушки древесины / П. А. Бекк, А. С. Агафонов, Е. Е. Шишкина [и др.] // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XIX Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов, Екатеринбург, 03–13 апреля 2023 года. Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. С. 409–411.
6. Болдырев П. В. Сушка древесины. СПб. : ПРОФ ИКС, 2002. 156 с.
7. Изменения клеточной стенки при механической активации растительной и дрожжевой биомассы / А. Л. Бычков, К. Г. Королев, Е. И. Рябчикова [и др.] // Химия растительного сырья. 2010. № 1. С. 49–56.
8. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика : учебное пособие. М. : Физматлит, 2006. 731 с.
9. Механика жидкости и газа : лабораторный практикум / Н. С. Камалова, Н. Ю. Евсикова, В. И. Лисицын [и др.]. Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2016. 62 с.