

**ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ
ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ДРЕВЕСИНЕ**
CAPABILITIES OF THE INTERNAL FRICTION METHOD FOR DETECTING
INTERNAL STRESSES IN WOOD

Руссу А.В., кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Россия, Воронеж

Russu A.V., PhD in Technical Sciences, Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Хворых А.М., аспирант, преподаватель СПО, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Khvorykh A.M., Postgraduate student, College teacher, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Шамаев В.А., доктор технических наук, профессор, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Россия, Воронеж

Shamaev V.A., DrSc in Technical Sciences, Professor, Professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Аннотация. В работе исследованы возможности метода внутреннего трения для обнаружения и определения внутренних напряжений в древесине на основе анализа логарифмического декремента затухания δ изгибных колебаний. Эксперимент проведен на испытательной установке свободных изгибных колебаний с использованием образцов натурального и мореного дуба в радиальном и тангенциальном направлениях. Установлено, что увеличение внутренних напряжений приводит к соответствующему увеличению δ на 6–9%, причем наибольшие значения выявлены для тангенциального направления мореного дуба. Результаты подтверждают чувствительность метода внутреннего трения к микродефектам и анизотропии древесины, что согласуется с механизмами диссипации внутренней энергии на уровне древесных волокон. Данный метод может быть перспективен для неразрушающего контроля напряжений в строительных и нагруженных деревянных конструкциях.

Ключевые слова: внутренние напряжения, древесина, усушка, анизотропия, механические свойства, влажность, температурные градиенты, сушка древесины, деформации.

Abstract. The paper investigates the capabilities of the internal friction method for detecting and determining internal stresses in wood based on the analysis of the logarithmic damping decrement δ of bending vibrations. The experiment was conducted on a free bending vibration test setup using samples of natural and bog oak in the radial and tangential directions. It was found that an increase in internal stresses leads to a corresponding increase in δ by 6–9%, with the highest values found for the tangential direction of bog oak. The results confirm the sensitivity of the internal friction method

to microdefects and anisotropy of wood, which is consistent with the mechanisms of internal energy dissipation at the level of wood fibers. This method may be promising for non-destructive testing of stresses in building and loaded wooden structures.

Keywords: internal stresses, wood, shrinkage, anisotropy, mechanical properties, moisture, temperature gradients, wood drying, deformations.

Древесина – это ценный материал и возобновляемый природный ресурс. Для повышения эффективного и рационального ее использования в процессе обработки необходимо учитывать теоретические и прикладные аспекты древесиноведческой науки.

Внутренние напряжения являются причиной деформаций, растрескиваний, а также других дефектов, которые снижают качество материала и сокращают долговечность изделий из него. По этой причине особой ценностью обладают практические выводы теории, руководствуясь которыми можно улучшать качество изделий из древесины и композитов на ее основе, повышать безопасность конструкций и оптимизировать технологические процессы.

Внутренние напряжения в древесине часто возникают из-за нелинейных процессов, таких как усушка, набухание, релаксация напряжений и взаимодействие с внешними нагрузками. Что-то уже сделано для теоретического описания этих процессов, но теория внутренних напряжений в древесине развивается и окончательно еще не оформлена. На данный момент в этом направлении проделана большая работа, судя по тому значительному количеству публикаций, которые описывают внутренние напряжения в древесине, исходя из различных аспектов. Из отечественных авторов в первую очередь заслуживает внимание работа Уголева Б.Н. [1]. В ней приводятся данные по теоретическому исследованию напряжений в древесине, обобщению методов определения напряжений, разработкам новых методов производственного контроля напряжений в материале. Из зарубежных стоит указать на работу [2], в которой исследуются режимы сушки с применением анализа процессов на нейронных сетях для выявления оптимальных режимов работы, оценки внутренних напряжений и возможных дефектов, а также на работу [3], в которой предложена усовершенствованная модель оценки внутренних напряжений. Тем не менее, в экспериментальной части, учитывая повышенный запрос на различные прикладные задачи, в том числе с целью совершенствования технологий обработки древесины и создания материалов с улучшенными свойствами, ведутся интенсивные исследования.

Целью данной работы являлось исследование возможностей использования метода и установки для измерения внутреннего трения для выявления внутренних напряжений в древесине путем анализа логарифмического декремента затухания изгибных колебаний. Гипотеза исследования – величина логарифмического декремента затухания δ чувствительна к изменениям внутренних напряжений в древесине. Логарифмический декремент затухания δ находится по формуле

$$\delta = \log \left(\frac{A_n}{A_{n+1}} \right), \quad (1)$$

где A_n и A_{n+1} – амплитуды соседних периодов колебаний.

Величина внутреннего трения Q^{-1} связана с логарифмическим декрементом затухания δ следующим соотношением [4]:

$$Q^{-1} = \frac{\delta}{\pi}. \quad (2)$$

Для эксперимента были использованы образцы дуба черешчатого (*Quercus robur*) и мореного дуба. Заготовки дуба мореного получены из древесины, заготовленной в реке Медведица (приток реки Ока) в Тверской области (40 км от Твери). Возраст дуба мореного 2500-3000 лет [5]. Образцы готовились в радиальном и тангенциальном направлении, размеры 500x45x2,5 мм с контролируемыми уровнями внутренних напряжений, созданными путем термомеханического нагружения. Для реализации метода свободных изгибных колебаний с консольным закреплением образца была собрана экспериментальная установка (Рис 1.).

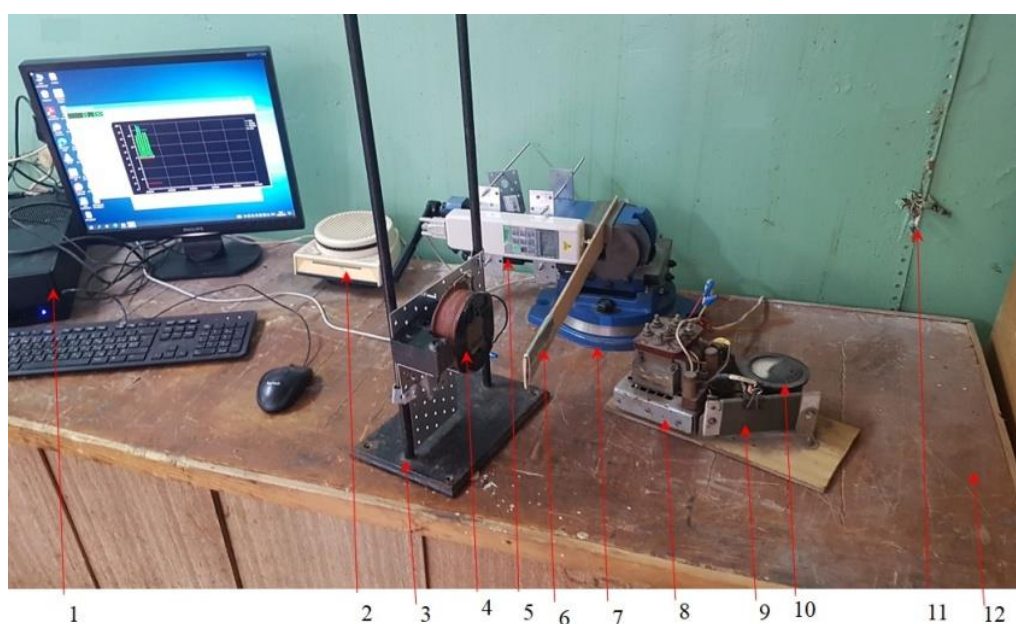


Рисунок 1 – Экспериментальная установка: 1 – персональный компьютер; 2 – стабилизатор напряжения; 3 – штатив; 4 – электромагнит; 5 – цифровой динамометр; 6 – образец древесины; 7 – трехпозиционная оснастка; 8 – трансформатор; 9 – реостат; 10 – амперметр; 11 – защитное заземление; 12 – рабочий стол

Возбуждение колебаний осуществлялось за счет механического импульса, а их регистрация – цифровым динамометром. Исследуемый параметр – логарифмический декремент затухания δ вычисляли по амплитудам последовательных колебаний согласно уравнению (1), которые измерялись при помощи цифрового динамометра Мегеон (Китай).

Эксперименты показали, что для натуральной древесины дуба и дуба мореного изменение δ почти пропорционально для радиального и тангенциального направлений. Для натуральной древесины дуба в радиальном и тангенциальном направлении рост величины δ составил ~ 6-7%. Для образца дуба мореного радиального направления также наблюдался рост величины ~ 6%, а для тангенциального направления – ~ 9 % (Рис. 2). Причем тангенциальное направление дуба мореного дает наибольшую величину δ в сравнении с другими образцами.

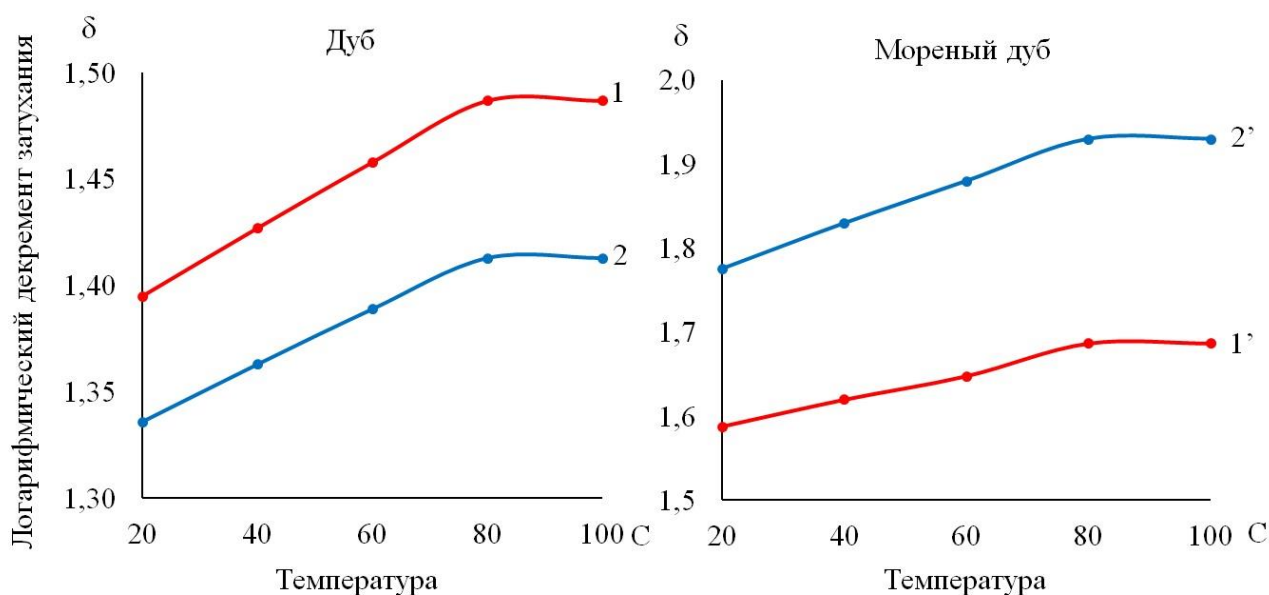


Рисунок 2 – Влияние температуры на величину δ натурального дуба и мореного дуба (1, 1' – радиальное направление; 2, 2' – тангенциальное направление)

Увеличение внутренних напряжений вызывает рост δ на 7-8% для термомеханически напряженных образцов. Эффект морения дуба значительно влияет на механические свойства древесины в тангенциальном направлении, чем в радиальном, то есть возрастает фактор влияния анизотропии древесины. Причем контрольные образцы демонстрируют стабильно низкие значения δ .

Причины роста δ с увеличением напряжений могут быть объяснены диссипацией внутренней энергии за счет микродефектов и перераспределения внутренних напряжений.

Эти результаты отчасти согласуются с известными данными о влиянии дефектов на внутреннее трение в полимерах и композитах. Но в отличие, например, от металлов в древесине доминируют механизмы внутреннего трения на уровне волокон, а не дислокаций.

Таким образом, метод внутреннего трения на основе изгибных колебаний может быть эффективен для обнаружения внутренних напряжений в древесине, а логарифмический декремент затухания является чувствительным параметром, позволяющим оценить уровень напряжений без разрушения образца. Перспективы данного исследования связаны с формированием научно-технической базы для разработки и конструирования портативных приборов оценивания внутренних напряжений в строительных конструкциях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уголев, Б.Н. Контроль напряжений при сушке древесины / Б.Н. Уголев, Ю.Г. Лапшин, Е.В. Кротов. – Москва: Лесная промышленность, 1980. – 205 с.
2. Yin, Q. Drying Stress and Strain of Wood: A Review / Q. Yin, H.-H. Liu // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11, No. 11. – P. 5023. – doi: <https://doi.org/10.3390/app11115023>.

3. Evaluation of the drying stress in industrial kiln-dried boards using a force-based technique / S. Leelatanon, S. Jantawee, S. Vannarat, N. Matan // *BioResources*. – 2019. – Vol. 14, No. 2. – P. 4403-4412. – doi: 10.15376/biores.14.2.4403-4412/

4. Постников, В.С. Внутреннее трение в металлах / В.С. Постников. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Металлургия, 1974. – 351 с.

5. Эффективная микроволновая сушка дуба / А.В. Руссу, В.А. Шамаев, И.Н. Медведев, Н.А. Трубников. – Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. – С. 256-268.

REFERENCES

1. Ugolev, B.N. Stress control during wood drying / B.N. Ugolev, Yu.G. Lapshin, E.V. Krotov. – Moscow: Lesnaya Promyshlennost, 1980. – 205 p.

2. Yin, Q. Drying Stress and Strain of Wood: A Review / Q. Yin, H-H. Liu // *Applied Sciences*. – 2021. – Vol. 11, No. 11. – P. 5023. – doi: <https://doi.org/10.3390/app11115023>.

3. Evaluation of the drying stress in industrial kiln-dried boards using a force-based technique / S. Leelatanon, S. Jantawee, S. Vannarat, N. Matan // *BioResources*. – 2019. – Vol. 14, No. 2. – P. 4403-4412. – doi: 10.15376/biores.14.2.4403-4412/

4. Postnikov, V.S. Internal friction in metals / V.S. Postnikov. – 2nd ed., revised. and add. – Moscow: Metallurgy, 1974. – 351 p.

5. Efficient microwave drying of oak / A.V. Russu, V.A. Shamaev, I.N. Medvedev, N.A. Trubnikov. – Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, 2022. – P. 256-268.