

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2026. Т. 28. № 3. С. 203–213.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2026; 28 (3): 203–213.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 69.01

<https://doi.org/10.31675/1607-1859-2026-28-3-203-213>



EDN: OBEOJY

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Сергей Владимирович Деордиев¹, Павел Андреевич Радченко²,
Андрей Васильевич Радченко²

¹Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

²Институт физики прочности и материаловедения

Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск, Россия

Аннотация. Актуальность исследования поведения анизотропных материалов при ударе определяется потребностью в получении знаний об их свойствах и прогнозировании реакции на динамическую нагрузку элементов конструкций, состоящих из анизотропных материалов.

Цель – экспериментальные и численные исследования динамической прочности и деформативности древесины сосны в зависимости от направления и скорости действия нагрузки.

Методы. В рамках работы предложена математическая модель поведения древесины при динамических нагрузках, учитывающая анизотропию ее упругих и прочностных свойств. Модель учитывает зависимость прочностных свойств от скорости нагружения и влажности материала. Моделирование проводится в рамках феноменологического подхода механики деформируемого твердого тела в трехмерной постановке, численное моделирование – методом конечных элементов.

Результаты. Исследовано влияние ориентации волокон на прогиб образца, выявлена зависимость между направлением и скоростью действия нагрузки и динамической прочностью и деформативностью древесины сосны.

Ключевые слова: математическая модель, анизотропия, древесина, прочность, динамическое нагружение, моделирование, граничные условия

Финансирование: математическая модель и программный комплекс EFES созданы в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, проект FWRW-2026-0003.

Для цитирования: Деордиев, С.В., Радченко, П.А., Радченко, А.В. Моделирование деформирования и разрушения древесины при динамических нагрузках // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2026. Т. 28. № 3. С. 203–213. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2026-28-3-203-213>. EDN: OBEOJY

ORIGINAL ARTICLE

**MODELING OF WOOD DEFORMATION
AND DESTRUCTION UNDER DYNAMIC LOADING****Sergey V. Deordiev¹, Pavel A. Radchenko², Andrey V. Radchenko²**¹*Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia*²*Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia*

Abstract. Purpose: Experimental investigation of the dynamic strength and deformability of pine wood as a function of the loading direction and rate; numerical simulation of deformation and failure of small, clean specimens under dynamic load.

Methodology/approach: Modeling is carried out within the framework of the phenomenological approach to the mechanics of a deformable solid in a three-dimensional formulation, numerical modeling is carried out by the finite element method.

Research findings: A model is proposed for the wood behavior under dynamic loads, taking into account the anisotropy of its elastic and strength properties. The model considers the dependence of strength properties on the loading rate and moisture content of the material.

Practical implications: The anisotropic model allows describing real properties of wood: the difference in elastic and strength properties of the material in different directions, as well as their different values under compression and tension.

Value: The proposed approach has no restrictions on the geometry and number of elements, and allows using any initial and boundary conditions. In the future, it will allow modeling the behavior of complex wooden structures under dynamic loading.

Keywords: mathematical model, anisotropy, wood, strength, dynamic loading, modeling, boundary conditions

Funding: This work and proprietary EFES software were conducted and designed under the government contract for the Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, research line FWRW-2026-0003.

For citation: Deordiev, S.V., Radchenko, P.A., Radchenko, A.V. Modeling of Wood Deformation and Destruction under Dynamic Loading. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2026; 28(3): 203–213. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2026-28-3-203-213>. EDN: OBEOJY

Имеющиеся результаты об особенностях поведения анизотропных материалов касаются в основном статических нагрузок и охватывают класс задач, основанных на приближениях теории тонких оболочек [1, 2]. Проведенные исследования механических свойств древесины различных пород при статических нагрузках широко представлены в работах С.Б. Турковского [3] и В.Н. Волынского [4]. Большой вклад в исследование зависимости прочности древесины от времени действия нагрузки внесли Н.Л. Леонтьев [5], Ю.М. Иванов [6], Л.М. Перельгин [7], W. Madsen [8]. Это относится как к экспериментальным исследованиям, так и к математическому и численному моделированию. Существующие инженерные методики [9], основанные на упрощенных подходах, не позволяют проследить за динамикой разрушения анизотропных материалов и влияния на этот процесс волновых явлений, эволюция которых при ударном воздействии является одним из определяющих факторов. Экспериментальным исследованиям деформационно-прочностных свойств древесины различных пород при динамических

нагрузках посвящены работы зарубежных (S.R. Reid, J.J. Hartigan, L. Severa, J. Buchar [10–13]) и отечественных (А.П. Большаков, М.А. Балакшина, Н.Н. Гердюков [14–17]) авторов. Развитие технологии изготовления конструкций из древесины расширяет возможности ее использования в составе несущих систем, в том числе уникальных зданий. При определении напряженно-деформированного состояния деревянных конструкций от действия технологических и аварийных нагрузок большой интенсивности возникает необходимость уточнения деформационно-прочностных свойств древесины. Таким образом, актуальность исследований поведения анизотропных материалов при ударе определяется потребностью в получении знаний об их свойствах и прогнозированием реакции на динамическую нагрузку элементов конструкций, состоящих из анизотропных материалов [18].

Цель работы – экспериментальным путем исследовать динамическую прочность и деформативность древесины сосны в зависимости от направления и скорости действия нагрузки, а также провести численное моделирование деформирования и разрушения при динамических нагрузках на малых чистых образцах.

В рамках исследуемой модели рассмотрим результаты экспериментальных исследований, которые включали испытания на поперечный изгиб по трехточечной схеме 40 малых образцов из древесины сосны влажностью 8 % со скоростями перемещения захвата – 4 мм/мин (квазистатические испытания), 1 м/с, 13 м/с (скорость относительных деформаций $4,38 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$; $6,934 \text{ с}^{-1}$; $52,2 \text{ с}^{-1}$). На каждой скорости нагружения было испытано 24 образца, 12 образцов нагружались в радиальном направлении и 12 – в тангенциальном. Геометрические размеры образцов принимались в соответствии с размерами захватов на поперечный изгиб испытательной машины. Длина образцов (вдоль волокон) принята 55 мм (расчетный пролет составил 40 мм), ширина и высота – 10 мм. Образцы изготовлены в заводских условиях из древесины сосны. Погрешность геометрических размеров образцов не превышала 0,1 мм, прямые углы между смежными гранями проверялись контрольным угольником.

Все испытания проводились до разрушения образцов. Экспериментальные исследования осуществлялись на сервогидравлической испытательной машине для испытаний с высокой интенсивностью и скоростью деформаций – Instron VHS 8802 (рис. 1). При динамическом испытании подвижный захват набирал заданную скорость, и образец вступал в контакт с неподвижным индентором. Скорость захвата до контакта с образцом, в момент контакта и после оставалась неизменной, что позволило не учитывать инерционные силы. Наконечник индентора для динамических испытаний сферический, диаметром 20 мм.

На основании всех полученных данных были определены зависимости напряжения, модуля упругости, касательного напряжения и предела пропорциональности от скорости нагружения.

Также были посчитаны коэффициенты вариации (табл. 1, 2) для каждого исследуемого параметра по формулам

$$Xm = \frac{\sum Xi}{n}; \quad S = \sqrt{\frac{1}{1-n} \sum (Xm - Xi)^2}; \quad v = \frac{S}{Xm} B,$$

где Xm – средний показатель механической характеристики; Xi – значения характеристик отдельных образцов; n – число малых образцов.

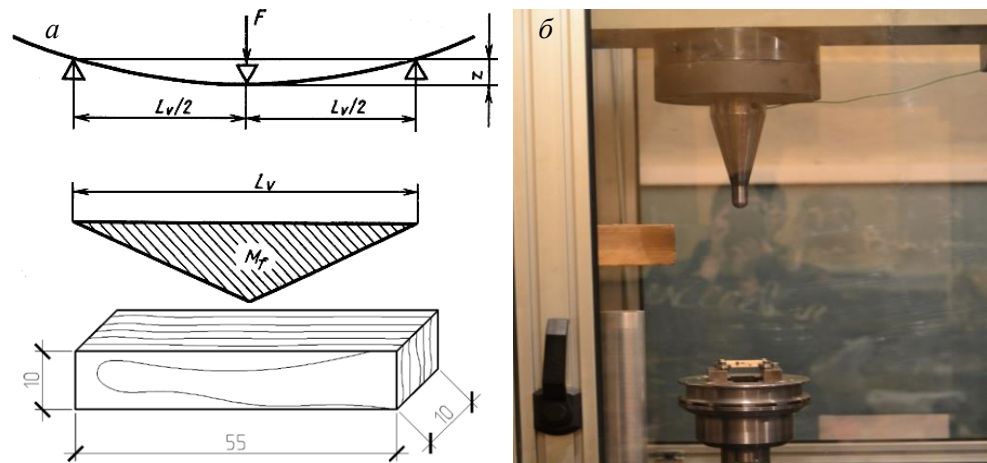


Рис. 1. Общий вид испытания на динамическую нагрузку:

a – трехточечная схема нагружения при изгибе; общий вид образца для испытаний; *b* – сервогидравлическая испытательная машина Instron VHS 8802

Fig. 1. General view of the dynamic load test:

a – three-point bending; *b* – Instron VHS 8802 servo-hydraulic testing machine

Таблица 1

Средние показатели механических характеристик малых образцов

Table 1

Mechanical properties of small samples

Скорость, с^{-1}	Предел прочности σ , МПа	Касательное напряжение τ , МПа	Модуль упругости E , МПа	Предел пропорциональности $\sigma_{\text{пр}}$, МПа
$4,38 \cdot 10^{-4}$	64,118	16,397	11 944,2	30,0
6,934	73,87	17,935	11 503,49	44,1
52,2	91,153	23,162	11 738,0	81,3

Таблица 2

Значения коэффициентов вариации механических характеристик малых образцов

Table 2

Variation coefficients of mechanical properties of small samples

Скорость, с^{-1}	Коэффициент вариации предела прочности σ , %	Коэффициент вариации касательного напряжения τ , %	Коэффициент вариации модуля упругости E , %	Коэффициент вариации предела пропорциональности $\sigma_{\text{пр}}$, %
$4,38 \cdot 10^{-4}$	22,67	20,85	16,12	18,68
6,934	14,82	14,34	10,86	12,43
52,2	8,12	8,13	6,89	8,12

В результате проведенных испытаний были построены зависимости (рис. 2).

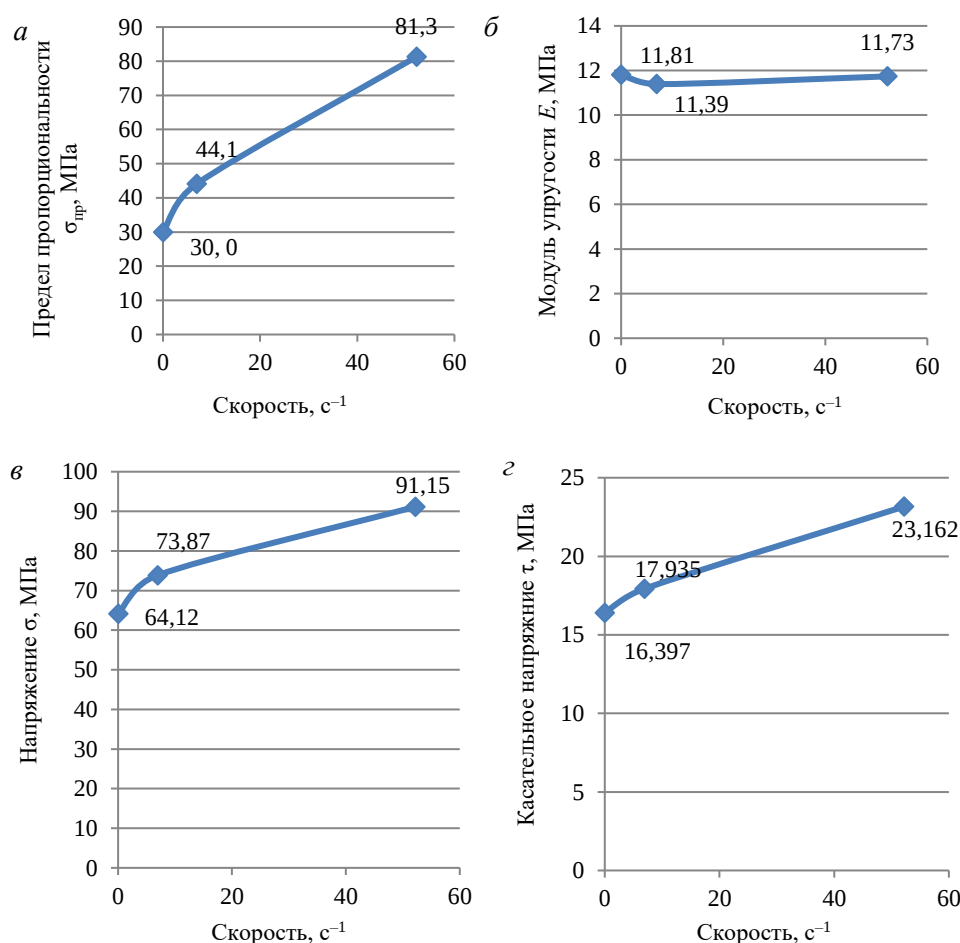


Рис. 2. Зависимости от скорости нагружения:

а – предела пропорциональности; б – модуля упругости; в – временного сопротивления; г – касательного напряжения

Fig. 2. Loading rate dependences obtained for different parameters:

a – proportionality limit; b – modulus of elasticity; c – time resistance; d – tangential stress

По данным зависимостям были сделаны следующие выводы: временное сопротивление с увеличением скорости нагружения увеличивается на 42,2 %, касательное напряжение увеличивается на 41,3 %, модуль упругости остается практически неизменным и колеблется в районе 11 700 МПа. Предел пропорциональности увеличивается более чем в два раза. Значения коэффициентов вариации практически не превышают 10 %.

Далее был проведен численный эксперимент по динамическому деформированию и разрушению древесины. Задача решалась в трехмерной динамической постановке явным методом конечных элементов с использованием авторского программного комплекса EFES [1, 9]. Общее число конечных элементов в расчетной сетке составляло около 4 млн. Рассматривалось взаимодействие k тел в общей трехмерной постановке в декартовой системе координат XYZ . Форма

каждого тела и занимаемая им область D_k ($k=1, 2, 3, \dots$), ограниченная поверхностью Σ_k , определены изначально. Поверхности Σ_k каждого тела разделяются на свободные $\Sigma_k^{\text{своб}}$ и контактные $\Sigma_k^{\text{конт}}$.

Основная система уравнений математической модели, описывающих нестационарные адиабатные движения сжимаемой среды в произвольной системе координат ($i = 1, 2, 3$), включает следующие уравнения [1]:

– уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div} \rho \vec{v} = 0;$$

– уравнение движения

$$\rho a^k = \nabla_i \sigma^{ki} + F^k,$$

$$\text{где } a^k = \frac{\partial v^k}{\partial t} + v^i \nabla_i v^k;$$

$$\nabla_i \sigma^{ki} = \sigma_i^{ki} + \sigma^{mi} \Gamma_{mi}^k + \sigma^{ki} \Gamma_{mi}^m;$$

– уравнение энергии

$$\frac{dE}{dt} = \frac{1}{\rho} \sigma^{ij} e_{ij},$$

где ρ – плотность среды; $\vec{v}$ – вектор скорости; a^k – компоненты вектора ускорения; F^k – компоненты вектора массовых сил; Γ_{mi}^k – символы Кристоффеля; σ^{ij} – контравариантные компоненты симметричного тензора напряжений; E – удельная внутренняя энергия; e_{ij} – компоненты симметричного тензора скоростей деформаций: $e_{ij} = \frac{1}{2} (\nabla_i v_j + \nabla_j v_i)$.

Связь компонент тензора напряжений и тензора скоростей деформаций до разрушения проходит по обобщенному закону Гука:

$$\frac{D\sigma^{ij}}{Dt} = C^{ijkl} e_{kl},$$

где C^{ijkl} – упругие константы материала;

$$C^{1111} = \frac{1}{E_2 A} \left(\frac{1}{E_3} - \frac{v_{23}^2}{E_2} \right); \quad C^{1122} = \frac{1}{E_3 A} \left(\frac{v_{31} v_{23}}{E_2} + \frac{v_{12}^2}{E_1} \right);$$

$$C^{1133} = \frac{1}{E_2 A} \left(\frac{v_{12} v_{23}}{E_1} + \frac{v_{31}}{E_3} \right); \quad C^{2222} = \frac{1}{E_3 A} \left(\frac{1}{E_1} - \frac{v_{31}^2}{E_3} \right);$$

$$C^{2233} = \frac{1}{E_1 A} \left(\frac{v_{12} v_{31}}{E_3} + \frac{v_{23}}{E_2} \right); \quad C^{3333} = \frac{1}{E_1 A} \left(\frac{1}{E_2} - \frac{v_{12}^2}{E_1} \right);$$

$$C^{1212} = G_{12}; \quad C^{2323} = G_{23}; \quad C^{1313} = G_{13};$$

$$A = \frac{1}{E_1 E_2 E_3} \left(v_{12} v_{23} v_{31} - \frac{E_1}{E_3} v_{31}^2 - \frac{E_2}{E_1} v_{12}^2 - \frac{E_3}{E_2} v_{23}^2 \right).$$

Зная девять величин технических постоянных в главных осях симметрии ортотропного материала, можно определить величину любой постоянной в произвольном направлении, что необходимо при определении деформированного состояния в случае, когда направление действующих напряжений не совпадает с направлением осей симметрии.

Разрушение дерева описывалось при помощи критерия прочности по предельным деформациям. Учитывалось различие прочностных характеристик не только по каждому из направлений, но и между растяжением и сжатием.

На рис. 3 представлено распределение в образце нормальных компонент тензора напряжений σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{zz} в плоскости ZX. Растягивающие напряжения локализованы вблизи тыльной поверхности образца, сжимающие – на лицевой поверхности в контактной области. Влияние ориентации волокон на прогиб образца можно оценить по графикам на рис. 4.

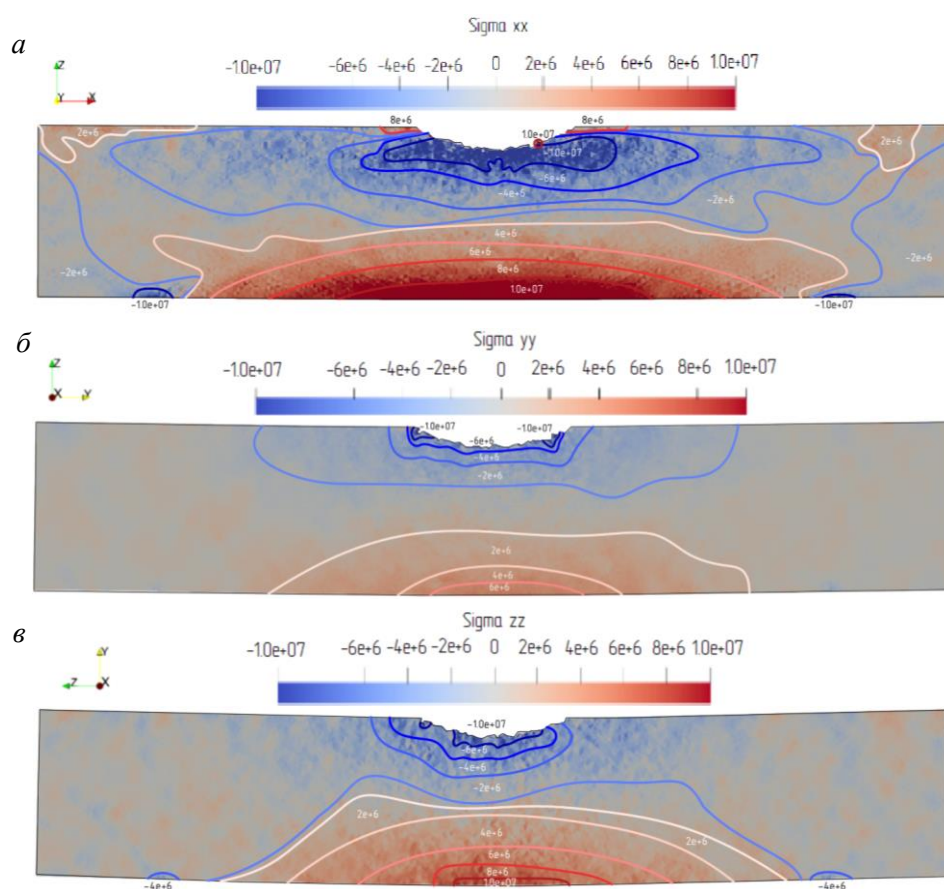


Рис. 3. Распределение нормальных компонент тензора напряжений в образце в сечении ZX при скорости нагружения $V = 13$ м/с:

а – продольная ориентация волокон; б – тангенциальная ориентация волокон; в – радиальная ориентация волокон

Fig. 3. Distribution of normal stress tensor components in ZX section at 13 m/s loading rate and different fiber orientations:

a – longitudinal; b – tangential; c – radial

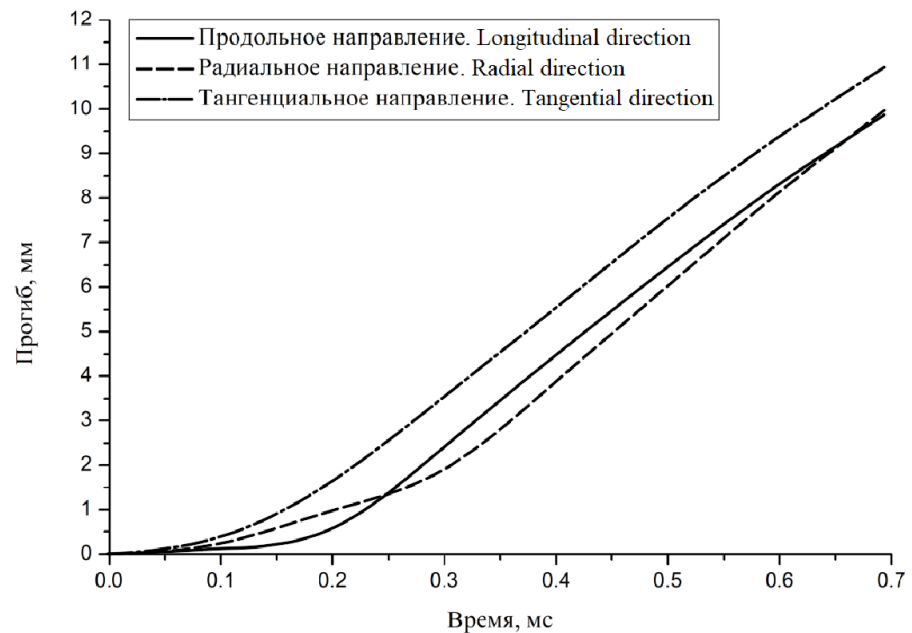


Рис. 4. Сравнение прогиба образцов в зависимости от ориентации волокон

Fig. 4. Sample bending vs. fiber orientation

Расчеты показывают, что максимальные значения прогиба образца наблюдаются при тангенциальной ориентации волокон, они на 10,5 % превышают значения прогибов при продольной и радиальной ориентации в момент времени 0,7 мс.

Выводы

1. Экспериментально исследована динамическая прочность и деформативность древесины сосны в зависимости от направления и скорости действия нагрузки. Установлено, что временное сопротивление с повышением скорости нагружения увеличивается на 42,2 %, касательное напряжение – на 41,3 %, модуль упругости остается практически неизменным и колеблется в районе 11 700 МПа. Предел пропорциональности увеличивается более чем в два раза. Значения коэффициентов вариации практически не превышают 10 %.

2. В рамках феноменологического подхода предложена модель деформирования и разрушения древесины при динамических нагрузках с учетом анизотропии упругих и прочностных свойств.

3. Создана численная методика, позволяющая проводить исследования свойств широкого класса таких материалов с различной степенью анизотропии и симметрией свойств, напряженно-деформированного состояния и разрушения конструкций в трехмерной постановке.

4. Численно исследовано влияние ориентации волокон на прогиб образца. Установлено, что максимальные значения прогиба образца наблюдаются при тангенциальной ориентации волокон. Они на 10,5 % превышают значения прогибов при продольной и радиальной ориентации в момент времени 0,7 мс.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Радченко, А.В., Радченко, П.А.* Ударно-волновые процессы и разрушение в анизотропных материалах и конструкциях. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2015. 204 с. ISBN 978-5-93057-672-6. EDN: WNNIFD
2. *Ашкенази, Е.К.* Анизотропия древесины и древесных материалов. Москва : Лесная промышленность, 1978. 224 с.
3. *Турковский, С.Б.* Разработка и экспериментальные исследования несущих деревянных конструкций на основе соединений с наклонно вклеенными связями : специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Турковский Станислав Борисович. Москва, 2001. 96 с.
4. *Волынский, В.Н.* Взаимосвязь и изменчивость показателей физико-механических свойств древесины. 2-е изд. Санкт-Петербург : Лань, 2019. 218 с. ISBN 978-5-8114-1308-9.
5. *Леонтьев, Н.Л.* Длительное сопротивление древесины. Москва : Гослесбумиздат, 1957. 130 с.
6. *Иванов, Ю.М., Славик, Ю.Ю.* Оценка длительной прочности древесины при изгибе по результатам кратковременных испытаний // Лесной журнал. 1981. № 2. URL: <https://lesnoizhurnal.ru/apxiv/1981/%E2%84%962-1981.pdf> (дата обращения: 21.04.2026).
7. *Перельгин, Л.М.* Древесиноведение. Москва : Лесная промышленность, 1962, 284 с.
8. *Madsen, B.* Duration of load test for wet lumber in bending // *Forestr Products Journal*. 1975. № 5. P. 33–40.
9. *Radchenko, P.A., Radchenko, A.V., Batuev, S.P., Kanutkin, A.V.* Application of the finite element method to evaluate the effectiveness of spacecraft protective screens // *Acta Astronautica*. 2025. V. 229. P. 466–470.
10. *Reid, S.R., Peng, C.* Dynamic uniaxial crushing of wood // *International Journal of Impact Engineering*. 1997. V. 19. P. 531–570. DOI: 10.1016/S0734-743X(97)00016-X. EDN: AQNWRL
11. *Harrigan, J.J., Reid, S.R., Reddy, T.R.* Inertial effects on the crushing strength of wood loaded along the grain // *Experimental Mechanics*. Balkema, Rotterdam. P. 193–198.
12. *Severa, L., Buchar, J., Vlach, B., Havlichek, M.* Behaviour of wood under dynamic three point bending // *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelinae Brunensis*. 1999. V. XLVIII. P. 27–32.
13. *Buchar, J., Rolc, S., Lisy, J., Schwengmeier, J.* Model of wood response to the high velocity of loading // 19th International Symposium of Ballistics. Interlaken, Switzerland, 2001. P. 1447–1453.
14. *Большаков, А.П., Балакишина, М.А., Гердюков, Н.Н., Зотов, Е.В., Музыря, А.К., Плотников, А.Ф., Новиков, С.А., Синицын, В.А., Шестаков, Д.И., Щербак, Ю.И.* Демпфирующие свойства секвойи, березы, сосны и осины при ударном нагружении // *Прикладная механика и техническая физика*. 2001. Т. 42. № 2 (246). С. 23–32. EDN: ONTJIB
15. *Большаков, А.П., Гердюков, Н.Н., Зотов, Е.В.* Исследование влияния скорости нагружения, угла ориентации волокон и температуры на прочностные характеристики березы // *ПМТФ*. 1998. Т. 39. № 6. С. 153–158.
16. *Деордиев, С.В., Копаница, Д.Г., Копаница, Г.Д., Тутатчиков, Р.С.* Экспериментальные исследования клеодошчатых балок на поперечный изгиб при действии статической и кратковременной динамической нагрузки // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2014. № 3 (44). С. 96–111.
17. *Деордиев, С.В., Копаница, Д.Г., Тутатчиков, Р.С., Бирсенов, А.И.* Экспериментальные исследования клеодошчатых стоек на продольное сжатие при действии статической и динамической нагрузки // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2015. № 6 (53). С. 106–115.
18. *Глухих, В.Н. Черных, А.Г.* Анизотропия древесины. Технологический аспект. Санкт-Петербург : Изд-во СПбГАСУ, 2013. 240 с.

REFERENCES

1. *Radchenko, A.V., Radchenko, P.A.* Shock-Wave Processes and Destruction in Anisotropic Materials and Structures. Tomsk: TSUAB, 2015. 204 p. ISBN 978-5-93057-672-6. EDN: WNNIFD (In Russian)

2. Ashkenazi, E.K. Anisotropy of Wood and Wooden Materials. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1978. 224 p. (In Russian)
3. Turkovsky, S.B. Development and Experimental Studies of Load-Bearing Timber Structures Based on Joints with Angled Glulam Members: Specialization 05.23.01 Building Structures, Buildings, and Structures. DSc Abstract. Moscow. 2001. 96 p. (In Russian)
4. Volynsky, V.N. Interrelation and Variability of Physical and Mechanical Properties of Wood. 2nd edn. Saint-Petersburg: Lan', 2019. 218 p. ISBN 978-5-8114-1308-9. (In Russian)
5. Leontiev, N.L. Long-term Resistance of Wood. Moscow: Goslesbumizdat, 1957, 130 p. (In Russian)
6. Ivanov, Yu.M., Slavik, Yu.Y. Prolonged Bending Strength of Wood Measured in Dynamic Tests. *Lesnoy zhurnal*, 1981; (2). Available: <https://lesnoi-zhurnal.ru/apxiv/1981/%E2%84%962-1981.pdf> (accessed April 21, 2026). (In Russian)
7. Pereygin, L.M. Wood Science. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1962, 284 p. (In Russian)
8. Madsen, B. Duration of Load Test for Wet Lumber in Bending. *Forest Products Journal*. 1975; (5): 33–40.
9. Radchenko, P.A., Radchenko, A.V., Batuev, S.P., Kanutkin, A.V. Application of the Finite Element Method to Evaluate the Effectiveness of Spacecraft Protective Screens. *Acta Astronautica*, 2025; 229: 466–470.
10. Reid, S.R., Peng, C. Dynamic Uniaxial Crushing of Wood. *International Journal of Impact Engineering*. 1997; 19: 531–570. DOI: 10.1016/S0734-743X(97)00016-X. EDN: AQNWRL
11. Harrigan, J.J., Reid, S.R., Reddy, T.R. Inertial Effects on the Crushing Strength of Wood Loaded along the Grain. In: *Experimental Mechanics*. Allison, Ed. Balkema, Rotterdam. Pp. 193–198.
12. Severa, L., Buchar, J., Vlach, B., Havlichek, M. Behaviour of Wood under Dynamic Three-Point Bending. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelinae Brunensis*. 1999; XLVIII: 27–32.
13. Buchar, S. Rolc, J., Lisy, J. Schwengmeier. Model of wood response to the high velocity of loading. In: *Proc. 19th Int. Symp. of Ballistics*, 7–11 May 2001, Interlaken, Switzerland. Pp. 1447–1453.
14. Bolshakov, A.P., Balakshina, M.A., Gerdyukov, N.N., Zotov, E.V., Muzyria, A.K., Plotnikov, A.F., Novikov, S.A., Sinitsyn, V.A., Shestakov, D.I., Shcherbak, Yu.I. Damping Properties of Sequoia, Birch, Pine and Aspen under Shock Loading. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. 2001; 42(2): 202–210. EDN: YYGNVE
15. Bolshakov, A.P., Gerdyukov, N.N., Zotov, E.V. Influence of Loading Speed, Fiber Orientation Angle and Temperature on Strength properties of Birch. *Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika*. 1998; 39(6): 153–158. (In Russian)
16. Deordiev, S.V., Kopanitsa, D.G., Kopanitsa, G.D., Tutatchikov, R.S. Transverse Bending Tests of Laminated Beams under Static and Short-Term Dynamic Loads. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2014; 3(44): 96–111. (In Russian)
17. Deordiev, S.V., Kopanitsa, D.G., Tutatchikov, R.S., Bersenev, A.I. Longitudinal Compression Tests of Laminated Beams under Static and Dynamic Loads. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015; 6(53): 106–115. (In Russian)
18. Glukhykh, V.N., Chernykh, A.G. Anisotropy of Wood. Technological Aspect. Saint-Petersburg, 2013. 240 p. (In Russian)

Сведения об авторах

Деордиев Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент, Инженерно-строительный институт Сибирского федерального университета, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82, deordievsv@yandex.ru

Радченко Павел Андреевич, докт. физ.-мат. наук, доцент, Институт физики прочности и материаловедения им. В.Е. Панина Сибирского отделения РАН, 634055, пр. Академический, 2/4, pavel@ispms.ru

Радченко Андрей Васильевич, докт. физ.-мат. наук, профессор, Институт физики прочности и материаловедения им. В.Е. Панина Сибирского отделения РАН, 634055, пр. Академический, 2/4, andrey-radchenko@live.ru

Authors Details

Sergey V. Deordiev, PhD, A/Professor, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, deordievsv@yandex.ru

Pavel A. Radchenko, DSc, Professor, The Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Tomsk, Russia, 8/2, Akademicheskii Ave., 634021, Tomsk, Russia, pavel@ispms.ru

Andrey V. Radchenko, DSc, Professor, The Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Tomsk, Russia, 8/2, Akademicheskii Ave., 634021, Tomsk, Russia, andrey-radchenko@live.ru

Вклад авторов

Деордиев С.В. – постановка и проведение экспериментальных исследований, обработка и анализ полученных данных.

Радченко П.А. – численная реализация расчетной схемы, проведение численных экспериментов, анализ результатов расчетов.

Радченко А.В. – создание численной методики, создание математической модели деформирования и разрушения древесины.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

Deordiev S.V. – experiments, data curation.

Radchenko P.A. – numerical calculations and experiments, data curation.

Radchenko A.V. – numerical methodology, mathematical model of wood deformation and destruction.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 12.02.2026
Одобрена после рецензирования 12.05.2026
Принята к публикации 13.05.2026

Submitted for publication 12.02.2026
Approved after review 12.05.2026
Accepted for publication 13.05.2026