

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-135-144](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-135-144)

EDN: EDFFAP

УДК 674.04: 620.173.2

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ И ПРОПИТКИ ПОЛИМЕРНЫМ СОСТАВОМ НА ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАТИВНЫЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ

Н.В. КОЛЕСНИКОВ✉

М.В. АРИСКИН, канд. техн. наук

Д.О. МАРТЫШКИН

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, ул. Германа Титова, д. 28, г. Пенза, 440028, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Древесина, несмотря на широкое применение, обладает сравнительно невысокой прочностью, что обуславливает необходимость разработки методов улучшения ее свойств. В статье рассмотрены основные способы модификации: термообработка и пропитка полимерными составами. Термообработка повышает устойчивость к гниению и снижает влагопоглощение. Пропитка обеспечивает защиту от биологических воздействий, практически нулевое влагопоглощение и повышенную износостойкость.

Цель. Сравнение физико-механических и прочностных свойств обычной, термообработанной и пропитанной полимерным составом древесины сосны.

Материалы и методы. Выполнены натурные испытания деревянных образцов из сосны второго сорта на сжатие вдоль волокон с фиксацией вертикальных напряжений сжатия и деформаций. Испытания выполнены на гидравлическом прессе с максимальной нагрузкой 50 т. Для фиксации деформаций и напряжений использовалось тензометрическое оборудование.

Результаты. В ходе проведения натурных испытаний были определены физико-механические характеристики обычной, термообработанной, пропитанной полимерным составом, термообработанной и пропитанной полимерным составом древесины. Определен предел прочности исследуемых образцов и построены графики относительных деформаций, показывающие изменение пределов прочности древесины для упругой стадии работы материала. Согласно результатам натурных испытаний, упругая стадия работы древесины при сжатии доходит до 120 кН.

Выводы. На основании натурных испытаний установлено, что термообработка и пропитка древесины полимерными составами приводят к снижению деформативности, увеличению хрупкости и колкости материала (о чем свидетельствует характер разрушения образцов), уменьшению прочности и модуля упругости материала на 5–10%. Однако модификация древесины обеспечивает повышенную защиту от биологических воздействий и влаги, увеличивая срок службы конструкции.

Ключевые слова: анизотропные материалы, термообработка древесины, стабилизация древесины, полимерный состав, деформативность, моделирование, программный комплекс ANSYS

Для цитирования: Колесников Н.В., Арискин М.В., Мартышкин Д.О. Влияние термообработки и пропитки полимерным составом на прочностные и деформативные свойства древесины. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2025;45(2):135–144. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-135-144](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-135-144)

Вклад авторов

Колесников Н.В. – сбор и анализ результатов натурных испытаний, выполнение расчетов, написание текста научной работы.

Арискин М.В. – постановка задач научной работы, анализ результатов научной работы.

Мартышкин Д.О. – выполнение натурных испытаний и анализ полученных данных.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 13.01.2025

Поступила после рецензирования 01.03.2025

Принята к публикации 06.03.2025

INFLUENCE OF THERMAL TREATMENT AND POLYMER IMPREGNATION ON THE STRENGTH AND DEFORMATION PROPERTIES OF WOOD

N.V. KOLESNIKOV✉

M.V. ARISKIN, Cand. Sci. (Engineering)

D.O. MARTYSHKIN

Penza State University of Architecture and Construction, German Titov str., 28, Penza, 440028, Russian Federation

Abstract

Introduction. Despite its widespread use, wood is relatively weak. This has led to the development of methods to enhance its properties. This article examines two primary methods of modification: thermal treatment and impregnation with polymer compounds. Thermal treatment increases resistance to decay and reduces water absorption. Impregnation provides protection against biological agents, enhances wear resistance, and achieves nearly zero water absorption.

Aim. This paper aims to compare the physical, mechanical, and strength properties of untreated, thermally treated, and polymer-impregnated pine wood.

Materials and methods. Natural compression tests were conducted on second-grade pine wood specimens along the fiber direction. Vertical compressive stresses and deformations were recorded. The tests were performed using a hydraulic press with a maximum load capacity of 50 tons. Strain and stress measurements were taken using a strain gauge.

Results. During the in-place tests, the physical-mechanical properties of untreated, thermally treated, polymer-impregnated, and both thermally treated and polymer-impregnated wood were determined. The ultimate strength of the samples was identified and graphs of relative deformations were constructed to show changes in wood strength limits during the elastic stage of material behavior. According to the in-place test results, the elastic stage of wood compression extends up to 120 kN.

Conclusions. In-place tests revealed that thermal treatment and polymer impregnation of wood results in reduced deformability and increased brittleness and friability of the material, as evidenced by the nature of sample failure. Additionally, there is a 5–10 % decrease in material strength and elastic modulus. However, wood modification enhances protection against biological agents and moisture, thereby extending the service life of the structure.

Keywords: anisotropic materials, wood thermal treatment, wood stabilization, polymer composition, deformability, modeling, ANSYS software complex

For citation: Kolesnikov N.V., Ariskin M.V., Martyshkin D.O. Influence of thermal treatment and polymer impregnation on the strength and deformation properties of wood. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2025;45(2):135–144. [In Russian]. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-135-144](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-135-144)

Authors contribution statement

Kolesnikov N.V. – collection and analysis of in-place test results, calculations, and drafting of the scientific manuscript.

Ariskin M.V. – formulation of research objectives and analysis of research results.

Martyshkin D.O. – conducting in-place tests and analyzing the obtained data.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 13.01.2025

Revised 01.03.2025

Accepted 06.03.2025

Введение

Древесина как материал известна человечеству с давних времен. Ее использовали для создания орудий труда, мебели и строительства. Натуральная древесина является конструкционным материалом сравнительно невысокой прочности, потому актуальна разработка новых способов повышения прочностных и деформативных свойств древесины для расширения областей ее применения.

Одним из вариантов модификации является термообработка. Этот процесс заключается в нагреве древесины до определенной температуры, что приводит к изменению ее структуры и свойств. Так, термообработанная древесина становится более устойчивой к гниению, не подвержена воздействию вредителей, значительно уменьшается ее способность к влагопоглощению, при этом древесина сохраняет свою естественную текстуру и красоту.

Еще один способ модификации – пропитка древесины жидкими термоотверждающими полимерными составами (стабилизация древесины). В результате древесина становится полностью не подвержена биологическим воздействиям, имеет околонулевой процент влагопоглощения (это особенно важно для древесины, которая находится в условиях повышенной влажности), а также повышается ее износостойкость (актуально для отделочных материалов, орудий труда, мебели).

Далее на основе натуральных образцов термообработанной и пропитанной древесины необходимо рассмотреть изменение прочностных и деформативных свойств, а также напряженно-деформированное состояние (НДС) на основе результатов расчета образцов в программном комплексе ANSYS.

Экспериментальная часть

Для определения прочностных и деформативных характеристик были проведены натурные испытания образцов. Для этого были изготовлены деревянные бруски с размерами $50 \times 50 \times 200$ (h) мм из сосны второго сорта.

Процесс термообработки древесины производится в специальной вакуумно-сушильной камере, в которой материал плавно нагревается в течение нескольких часов до температуры

170–190 °С (в безвоздушной среде) и находится в таком состоянии в течение 5–6 часов, в зависимости от сорта и твердости древесины, что приводит к изменению свойств древесины. Древесина приобретает темный оттенок, сравнимый с коричневым или шоколадным цветом, который усиливает естественные узоры и текстуру дерева (рис. 1).

Пропитка жидкими термоотверждающими полимерами (состав фирмы 100TERM) для стабилизации древесины аналогично термообработке производится при помощи вакуумирования в специальной камере в течение нескольких часов (рис. 2а). При отсутствии вакуумной камеры древесину можно оставить погруженной в состав в течение нескольких недель. Полимеры проникают в поры древесины, а затем запекаются в печи при температуре 100–120 °С, в зависимости от применяемого полимера (рис. 2б). Полимер также подчеркивает узор и текстуру дерева, для большей контрастности в полимер можно добавлять различные красители.

Далее выполнено определение фактического модуля упругости модифицированной древесины (термообработанной, стабилизированной полимером, термообработанной и стабилизированной полимером) на основе испытаний на 4-точечный изгиб брусков размерами 30 × 30 × 200 мм в соответствии с ГОСТ 16483.9-73 [1]. Согласно результатам испытаний установлено увеличение деформативности стабилизированного образца на 5–10 %, что говорит о снижении несущей способности. Изменение значения модуля упругости обычной древесины и термообработанной составляет ±5 %.



Рис. 1. Общий вид образцов: а – брусок 50 × 50 × 200 мм из термообработанной сосны; б – брусок 50 × 50 × 200 мм из стабилизированной сосны; в – брусок 50 × 50 × 200 мм из термообработанной и стабилизированной сосны
Fig. 1. General view of the specimens: а – 50 × 50 × 200 mm block of thermally treated pine; б – 50 × 50 × 200 mm block of stabilized pine; в – 50 × 50 × 200 mm block of thermally treated and stabilized pine



а (a)

б (b)

Рис. 2. Оборудование для стабилизации: а – вакуумный шкаф; б – сушильный шкаф**Fig. 2.** Equipment for stabilization: a – vacuum chamber; b – drying oven

Проведенные испытания образцов показали значения определяемых характеристик, близкие к значениям, приведенным в СП 64.13330.2017 [2]. На этом основании при моделировании и расчете принимались табличные значения расчетных характеристик древесины сосны второго сорта.

Далее были выполнены испытания образцов, которые производились на гидравлическом прессе П-500 (рис. 3а). Нагружение образцов производилось непрерывно со скоростью 5 кН/мин. Для равномерного распределения нагрузки на торец образца устанавливалась дополнительная оснастка (рис. 3а). Для определения нормальных напряжений сжатия на поверхность образцов наклеены тензорезисторы, подключенные к комплекту для тензометрии (рис. 3а). Испытания проводились до полного разрушения образцов (рис. 3б, в). Методика проведения испытаний аналогична [3].

Графики относительных деформаций сжатия образцов представлены на рис. 4, согласно которому упругая стадия работы термообработанных материалов доходит до 115 кН. Внешний вид графиков говорит о хрупкости полученного материала, что подтверждается характером разрушения образцов (рис. 3в).

Согласно результатам натурных испытаний, образцы были замоделированы в программном комплексе (ПК) ANSYS. Методика моделирования образцов, а также возможность применения ПК ANSYS описаны в [3]. Объемная конечно-элементная модель образца и схема приложения нагрузки показаны на рис. 5.

Далее представлены результаты расчета в ПК ANSYS: перемещения и напряжения сжатия (рис. 6).

На основе результатов натурных испытаний и компьютерного моделирования образцов построены графики распределения вертикальных напряжений сжатия σ_y (рис. 7). Как отмечено ранее, специфика оборудования предполагает нагружение образца до величины 5 кН, что отображено на рис. 7.



Рис. 3. Испытание деревянных образцов на сжатие: *а* – образец в прессе П-500; *б* – общий вид разрушения термообработанного образца; *в* – общий вид разрушения термообработанного и стабилизированного образца
Fig. 3. Compression testing of wooden specimens: *a* – specimen in the P-500 press; *b* – general view of the failure of a thermally treated specimen; *c* – general view of the failure of a thermally treated and stabilized specimen

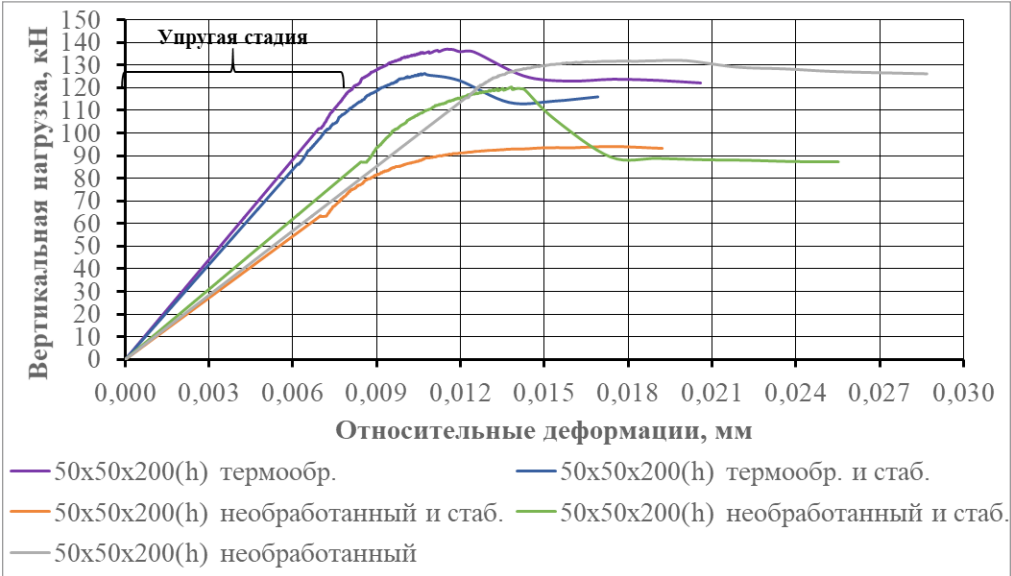
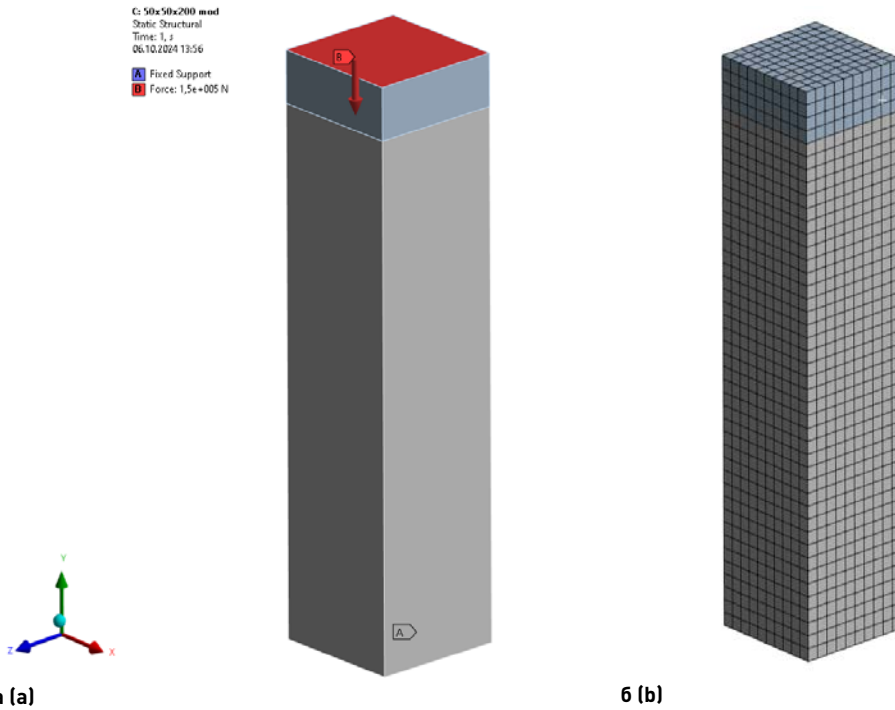


Рис. 4. Относительные деформации образцов
Fig. 4. Relative deformation of the specimens

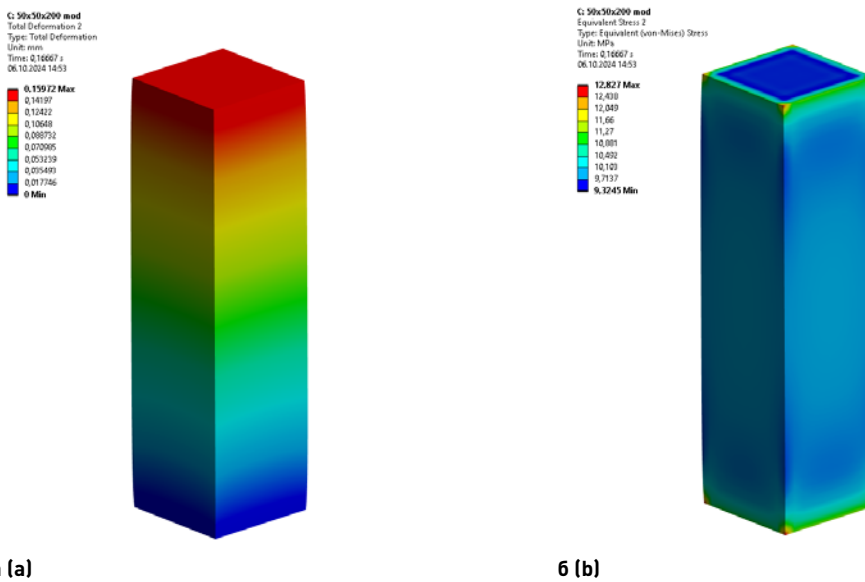


a (a)

b (b)

Рис. 5. Объемная конечно-элементная модель образца в ПК ANSYS: а – общий вид, схема нагружения; б – сетка элементов

Fig. 5. Three-dimensional finite element model of the specimen in ANSYS software: a – general view, loading scheme; b – element mesh



a (a)

b (b)

Рис. 6. а – Вертикальные напряжения сжатия при нагрузке 25 кН в ПК ANSYS; б – вертикальные перемещения при нагрузке 25 кН в ПК ANSYS

Fig. 6. a – Vertical compressive stresses at a load of 25 kN in ANSYS software; b – vertical displacements at a load of 25 kN in ANSYS software

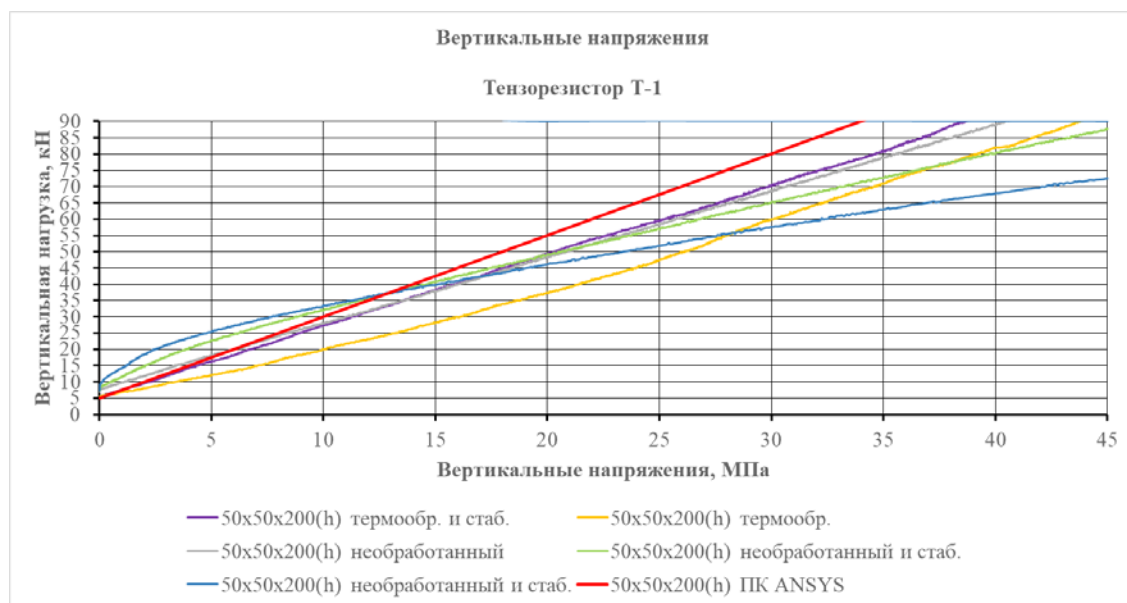


Рис. 7. Графики распределения вертикальных напряжений сжатия σ_y образцов
Fig. 7. Distribution of vertical compressive stresses σ_y in the specimens

Согласно рис. 7, установлена сходимость результатов натурных испытаний и компьютерного моделирования для упругой стадии работы материала (до 120 кН), что подтверждает правильность создания объемной конечно-элементной модели образцов.

Заключение

Модифицированная древесина обладает рядом преимуществ по сравнению с обычной: она не подвержена биологическим воздействиям, защищена от насекомых и практически полностью не впитывает воду (стабилизированная древесина). Однако обработка древесины, включающая воздействие высокой температуры и пропитку различными составами, снижает ее деформативность и прочность, делая более хрупкой и колкой (о чем свидетельствует характер разрушения образцов). Кроме того, такая обработка приводит к снижению модуля упругости материала на 5–10%.

Важно отметить, что степень пропитки образцов полимерным составом составляла около 25–40%. Соответственно, увеличение степени пропитки приведет к еще большему снижению прочностных и деформативных свойств.

Таким образом, современные методы обработки позволяют значительно улучшить свойства древесины и расширить область ее применения. Именно поэтому прочностные и деформативные свойства древесины, подверженной термообработке и пропитке полимерным составом, становятся предметом все большего внимания исследователей.

Список литературы

1. ГОСТ 16483.9-73. Древесина. Методы определения модуля упругости при статическом изгибе. Москва: ИПК Издательство стандартов; 1999.
2. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 [интернет]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456082589>.
3. Колесников Н.В., Арискин М.В., Мартышкин Д.О., Меркушов А.В. Совершенствование расчетов соединений анизотропных конструкционных материалов. Вестник НИЦ «Строительство». 2024;41(2):69–78. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2\(41\)-69-78](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2(41)-69-78).
4. Данилов В.М., Ерофеев А.В., Горохов Т.И. Возможности программного комплекса ANSYS для решения научно-практических задач в строительстве. В: Молодые ученые – развитию национальной технологической инициативы (Поиск 2021). Сб. материалов Национальной (с международным участием) молодежной науч.-техн. конф. Иваново: ИВГПУ; 2021, с. 182–185.
5. Мартыненко Т.М., Пронкевич С.А., Мартыненко И.М., Максимович В.А. Анализ прочности узловых соединений при различных исполнениях конструкции на основе моделирования в среде ANSYS. В: Механика исследования и инновации. Междунар. сб. науч. ст. Гомель; 2022, Вып. 15, с. 147–151.
6. Козлов Д.В., Муйземнек А.Ю., Гуськов М.С. Варианты упрощения модели расчета композиционного материала в программном комплексе ANSYS. В: Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы. Сб. ст. по материалам VIII Всероссийской межвузовской науч.-практ. конф. Пенза: ПГУ; 2021, с. 362–363.
7. Шемякин Е.И., Тутурин С.В., Короткина М.Р. Разрушение древесины при сжатии. Вестник МГУЛ – Лесной Вестник. 2005;(3):56–70.
8. Морозов Е.М., Муйземнек А.Ю., Шадский А.С. ANSYS в руках инженера: Механика разрушения. 2-е изд. Москва: ЛЕНАНД; 2010.
9. Разумов А.Е., Хузеев М.В., Ахметова Д.А., Шайхутдинова А.Р. Экспериментальные исследования механических свойств термомодифицированной древесины. Вестник Казанского технологического университета. 2012;15(2):31–33.
10. Рязанов Д.В. Современные технологии модифицирования древесины. Вестник науки [интернет]. 2022;3(2). Режим доступа: <https://www.xn----8sbempclwd3bmt.xn--p1ai/article/5326>.

References

1. State Standard 16483.9-73. Wood. Methods for determination of modulus of elasticity in static bending. Moscow: IPC Publishing House of Standards; 1999. (In Russian).
2. SP 64.13330.2017. Timber structures. Updated version of SNiP II-25-80 [internet]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/456082589> (In Russian).
3. Kolesnikov N.V., Ariskin M.V., Martyshkin D.O., Merkuшов A.V. Improved calculations of joints in anisotropic structural materials. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2024;41(2):69–78. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2\(41\)-69-78](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2(41)-69-78).
4. Danilov V.M., Erofeev A.V., Gorokhov T.I. Possibilities of the ANSYS software complex for solving scientific and practical problems in construction. In: Young scientists – development of the national technological initiative [Search 2021]. Collection of materials of the National (with international participation) Youth Scientific and Technical Conference. Ivanovo: Ivanovo State Polytechnic University (ISPU); 2021, pp. 182–185. (In Russian).
5. Martynenko T.M., Pronkevich S.A., Martynenko I.M., Maksimovich V.A. Analysis of the strength of nodal joints in various design designs based on modeling in the ANSYS environment. In: Mechanics of research and innovation. International collection of scientific articles. Issue 15. Gomel; 2022, pp. 147–151. (In Russian).
6. Kozlov D.V., Muizemnek A.Yu., Guskov M.S. Options for simplifying the calculation model of composite material in the ANSYS software package. In: Information technologies in science and education. Problems and prospects. Collection of articles based on the materials of the VIII All-Russian Interuniversity Scientific and Practical Conference. Penza: PSU; 2021, pp. 362–363. (In Russian).
7. Shemyakin E.I., Tuturin S.V., Korotkina M.R. Destruction of wood during compression. Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik. 2005;(3):56–70. (In Russian).

8. *Morozov E.M., Muyzemnek A.Yu., Shadsky A.S.* ANSYS in the hands: The mechanics of destruction. 2nd ed. Moscow: LENAND; 2010. [In Russian].
9. *Razumov A.E., Khuzeev M.V., Akhmetova D.A., Shaikhutdinova A.R.* Experimental studies of the mechanical properties of thermally modified wood. Bulletin of the Kazan Technological University. 2012;15(2):31–33. [In Russian].
10. *Ryazanov D.V.* Modern technologies of wood modification. Science Bulletin [internet]. 2022;3(2). Available at: <https://www.xn----8sbempclcwd3bmt.xn--p1ai/article/5326>. [In Russian].

Информация об авторах / Information about the authors

Никита Викторович Колесников✉, аспирант кафедры строительных конструкций, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза
e-mail: ko1esnikov.1998@list.ru

Nikita V. Kolesnikov✉, Graduate Student, Department of Building Structures, Penza State University of Architecture and Construction, Penza
e-mail: ko1esnikov.1998@list.ru

Максим Васильевич Арискин, канд. техн. наук, доцент кафедры строительных конструкций, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза
e-mail: m.v.ariskin@mail.ru

Maxim V. Ariskin, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Department of Building Structures, Penza State University of Architecture and Construction, Penza
e-mail: m.v.ariskin@mail.ru

Даниил Олегович Мартышкин, ассистент кафедры строительных конструкций, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза
e-mail: historical95@mail.ru

Daniil O. Martyshkin, Assistant, Department of Building Structures, Penza State University of Architecture and Construction, Penza
e-mail: historical95@mail.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author