

Научная статья

УДК 674.812.02

DOI: 10.37482/0536-1036-2025-4-164-172

Особенности пропитки древесины водорастворимыми защитными средствами

А.А. Лычаков¹, канд. техн. наук, проф.; ResearcherID: [LKO-3615-2024](#),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1606-332X>

К.Н. Куликов¹, канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: [LKK-3749-2024](#),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4417-7344>

В.Н. Евгенов², начальник отдела; ResearcherID: [LIC-5261-2024](#),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2865-3799>

С.В. Лодочников^{2✉}, начальник отдела; ResearcherID: [LIC-3429-2024](#),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4003-8490>

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; a.lychakov@narfu.ru, k.kulikov@narfu.ru

²АО «НИПТБ «Онега», пр. Машиностроителей, д. 12, г. Северодвинск, Архангельская обл., Россия, 164509; evgenov@onegastar.ru, lodserg@onegastar.ru✉

Поступила в редакцию 15.10.24 / Одобрена после рецензирования 13.12.24 / Принята к печати 16.12.24

Аннотация. Пропитка древесины водорастворимыми средствами широко применяется в различных отраслях промышленности. К примеру, в судостроении такой способ подготовки сырья распространен при изготовлении строительных лесов: их обрабатывают антипиренами, чтобы достичь соответствия требованиям пожарной безопасности. Пропитка может проходить быстрее и эффективнее под давлением. С учетом данных об условном пределе прочности при сжатии поперек волокон для сосны и ели, а также характеристик стенов пропитки, модернизированных на предприятиях, практический интерес представляет исследование процесса пропитки при гидравлическом давлении 1...5 МПа. Для этого была разработана экспериментальная установка и изготовлены образцы из древесины ели, обладающие равными размерами, массой и влажностью, но различающиеся по типу древесины (ядровая, заболонная, смешанная), а также по расположению годовых колец (радиально или тангенциально). В ходе эксперимента изучалась зависимость глубины пропитки древесины для образцов древесины 6 групп от избыточного давления и продолжительности выдержки. В качестве раствора для пропитки использовался раствор метиленовой сини, что позволило оценить глубину пропитки образцов. Фиксировалось также сохранение формы лабораторных образцов после действия высокого гидравлического давления. Исходя из результатов исследования, наиболее целесообразным представляется повышение давления раствора в пропиточном цилиндре до 3 МПа, дальнейшее увеличение не приводит к значительным изменениям. Ощутимого влияния на форму лабораторных образцов гидравлического давления не наблюдалось. Полученные зависимости свидетельствуют о возможности существенно сократить продолжительность пропитки древесины водорастворимыми защитными средствами, что, в свою очередь, способствует росту производительности и снижению себестоимости конечной продукции.

Ключевые слова: пропитка древесины, высокое давление, антипирены, защитные средства, экспериментальная установка



Для цитирования: Лычаков А.А., Куликов К.Н., Евгенов В.Н., Лодочников С.В. Особенности пропитки древесины водорастворимыми защитными средствами // Изв. вузов. Лесн. журн. 2025. № 4. С. 164–172. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-4-164-172>

Original article

Features of Wood Impregnation with Water-Soluble Protective Agents

Aleksandr A. Lychakov¹, Candidate of Engineering, Prof.; ResearcherID: [LKO-3615-2024](https://orcid.org/0009-0000-1606-332X), ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1606-332X>

Konstantin N. Kulikov¹, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [LKK-3749-2024](https://orcid.org/0009-0006-4417-7344), ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4417-7344>

Vadim N. Evgenov², Head of Department; ResearcherID: [LIC-5261-2024](https://orcid.org/0009-0004-2865-3799), ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2865-3799>

Sergey V. Lodochnikov^{2✉}, Head of Department; ResearcherID: [LIC-3429-2024](https://orcid.org/0009-0000-4003-8490), ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4003-8490>

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnogo Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; a.lychakov@narfu.ru, k.kulikov@narfu.ru

²Joint-Stock Company “Research and Development Design and Technology Bureau “Onega”, proezd Mashinostroitelej, 12, Severodvinsk, Arkhangelsk Region, 164509, Russian Federation; evgenov@onegastar.ru, lodserg@onegastar.ru✉

Received on October 15, 2024 / Approved after reviewing on December 13, 2024 / Accepted on December 16, 2024

Abstract. Wood impregnation with water-soluble agents is widely used in various industries. For example, in shipbuilding, this method of preparing raw materials is common in the manufacture of scaffolding: they are treated with fire retardants to meet fire safety requirements. Impregnation can be performed faster and more efficiently under pressure. Taking into account the data on the conditional compressive strength across fibers for pine and spruce, as well as the characteristics of impregnation stands upgraded at enterprises, it is of practical interest to study the impregnation process under hydraulic pressure of 1...5 MPa. For this purpose, an experimental setup has been developed and samples of spruce have been made, having equal dimensions, weight and moisture content, but differing in the type of wood (heartwood, sapwood and mixed), as well as in the arrangement of annual rings (radial or tangential). During the experiment, the dependence of the depth of wood impregnation for wood samples of 6 groups on excess pressure and duration of exposure has been studied. A methylene blue solution has been used as the impregnation solution, which has made it possible to estimate the depth of impregnation of the samples. The preservation of the shape of laboratory samples after exposure to high hydraulic pressure has also been recorded. Based on the results of the study, it seems most appropriate to increase the solution pressure in the impregnation cylinder to 3 MPa; a further increase does not lead to significant changes. No noticeable effect of hydraulic pressure on the shape of laboratory samples has been observed. The obtained dependencies indicate the possibility of significantly reducing the duration of wood impregnation with water-soluble protective agents, which, in turn, contributes to increased productivity and lower cost of final products.

Keywords: wood impregnation, high pressure, fire retarders, protective agents, experimental setup

For citation: Lychakov A.A., Kulikov K.N., Evgenov V.N., Lodochnikov S.V. Features of Wood Impregnation with Water-Soluble Protective Agents. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2025, no. 4, pp. 164–172. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-4-164-172>

Введение

Пропитка древесины широко применяется для уменьшения горючести древесины, что снижает риск пожаров и связанного с ними ущерба в различных отраслях промышленности (строительной, судостроительной, судоремонтной и др.) [1].

В судостроении значительный объем древесины используется для изготовления строительных лесов, преимуществом которых является возможность адаптации к различным формам и размерам судов. Некоторые предприятия судостроительной отрасли сами готовят пиломатериалы, пропитывая древесину в соответствии с инструкцией [17].

Огнезащита строительных лесов направлена на обеспечение безопасности рабочих, материалов и объектов судостроения и судоремонта. В связи с устойчивым высоким уровнем числа пожаров на судостроительных и судоремонтных предприятиях [13] вопрос необходимости такой подготовки является актуальным. Строительные леса, подмости должны быть изготовлены в соответствии с ОСТ 5.9029–84 «Пиломатериалы, прошедшие глубокую огнезащитную обработку антипирирами с учетом ограничений», ГОСТ Р 53292–2009, относиться к группе слабогорючих в соответствии с Федеральным законом от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (ст. 12, 13) или труднгорючих по ГОСТ 12.1.044–89.

Используемые пропиточные составы представляют собой водные растворы антипиринов, не образующих пленку, и формируют поверхностный огнезащитный слой (поверхностная пропитка) древесины или огнезащиту в ее объеме (глубокая пропитка) [4, 12]. Правила противопожарного режима в Российской Федерации, утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 16.09.2020 № 1479 и корпоративный стандарт системы менеджмента качества АО «ОСК» СТО ОСК.КСМК 12.003–2019 устанавливают требования к огнезащитному покрытию в соответствии с нормативными документами по пожарной безопасности, а также технической документацией изготовителя средства огнезащиты и (или) исполнителя огнезащитных работ. При отсутствии в технической документации сведений о периодичности проверки контроль качества огнезащитности производится не реже 1 раза в год.

Пропитка под давлением рабочей среды в пределах 0,07...0,20 МПа является наиболее распространенным методом введения защитных средств в материал при модифицировании древесины [3, 7]. Учитывая периодический характер работы данных участков, представляется целесообразным повышение их производительности в цикле без дополнительных инвестиционных затрат. Интенсификация процесса пропитки на этих участках за счет увеличения давления пропитки возможна при использовании оборудования, изготовленного реновацией из демонтируемых при утилизации кораблей устройств, рассчитанных на более высокие давления, чем серийно выпускаемые промышленностью автоклавы.

Целью исследования стало определение возможности сокращения продолжительности обработки древесины антипирирами при повышенном давлении без деформации образцов [5, 6, 18, 19].

Объекты и методы исследования

Применяются следующие основные режимы пропитки под давлением [13, 20–24]: 1) вакуум – гидравлическое давление – вакуум; 2) вакуум – атмосферное давление – вакуум; 3) воздушное давление – гидравлическое давление – вакуум; 4) многоцикличный режим (неоднократное повторение циклов вакуум – гидравлическое давление). Для пропитки водорастворимыми защитными средствами подходят режимы 1, 2, 4; для пропитки масляными защитными средствами – 2–4.

На практике пропитку древесины можно осуществлять как поперек, так и вдоль волокон, но по причине более простой аппаратной и технологической реализации пропитки поперек волокон длительное время модификация древесины проводилась в основном этим способом [9, 10, 15].

Исследования [8, 13] в области совершенствования технологических режимов пропитки под давлением до 2,0 МПа были направлены на обеспечение максимальных глубины, качества и производительности пропитки путем сочетания воздействия на древесину вакуума, воздушного давления, нагрева древесины и пропиточного раствора [16].

Ряд ученых при анализе проницаемости древесины газами и жидкостями [2, 11] проводили испытания при давлении до 1,0 МПа, считая, что древесина имеет сравнительно небольшую прочность при сжатии поперек волокон.

Вместе с тем, по данным [14], для основных промышленных пород древесины Северо-Запада России (сосны и ели) условный предел прочности при сжатии поперек волокон и влажности 12 % находится в пределах 5...7 МПа, а при влажности 30 % – составляет около 3 МПа. Объясняют это тем, что при пропитке древесины под давлением разность давлений в древесных слоях всегда меньше, чем при испытаниях на прочность, т. к. давление жидкости компенсируется давлением воздуха, сжимаемого в порах древесины.

Исходя из параметров стендов пропитки, модернизированных на предприятиях, практический интерес представляют исследования процесса пропитки древесины при гидравлическом давлении 1...5 МПа.

Для проведения исследования процесса пропитки древесины при высоком давлении на лабораторных образцах была разработана и изготовлена экспериментальная установка (рис. 1). Технические характеристики установки и эксперимента: количество образцов, размещаемых одновременно – 6 шт.; температура раствора в пропиточном цилиндре – 20...22 °С; давление раствора (P) в пропиточном цилиндре – 1...5 МПа; продолжительность (τ) выдержки под давлением – 3...30 мин.

Для проведения эксперимента были изготовлены образцы из древесины ели. Размер образцов – 32×45×270 мм. Боковые поверхности отфрезерованы для исключения влияния неровностей поверхности на глубину пропитки. Торцевые поверхности не имели сколов и трещин. Для предотвращения продольного движения раствора по образцу его торцевые поверхности обработаны силиконовым герметиком, который после высыхания образует прочную эластичную гидроизолирующую пленку. Эластичность гидроизолирующей пленки необходима при исследовании пропитки древесины поперек волокон при высоком давлении. Влажность образцов – не более 18 %. Контроль этого показателя осуществлялся кондуктометрическим электровлагомером.

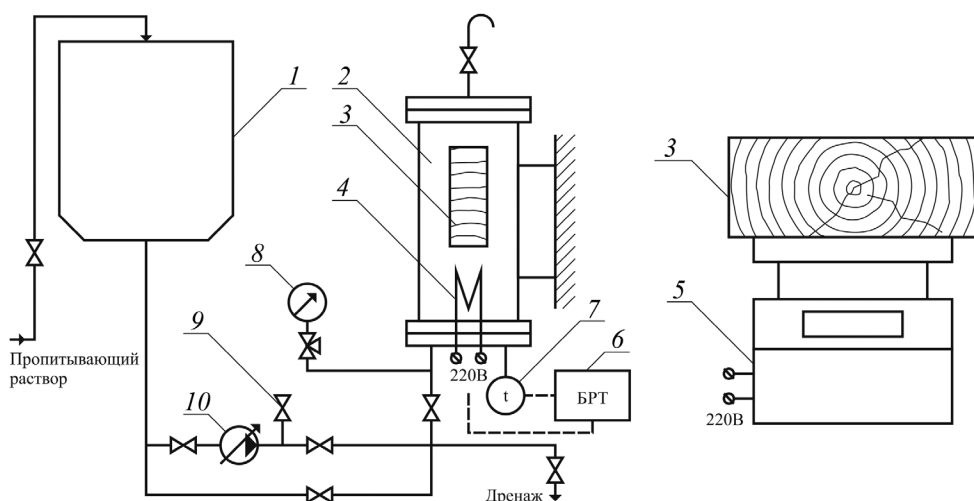


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – пропиточный цилиндр; 2 – бак пропиточного раствора; 3 – поршневой электронасос-дозатор ЭСКН-2/1-2; 4 – манометр; 5 – трубчатый нагревательный элемент; 6 – датчик температуры; 7 – блок регулирования температуры раствора в пропиточном цилиндре; 8 – предохранительный клапан; 9 – аналитические лабораторные весы ВАКТ-500Г-М; 10 – лабораторный образец

Fig. 1. The experimental setup scheme: 1 – impregnation cylinder; 2 – impregnation solution tank; 3 – piston electric dosing pump ESKN-2/1-2; 4 – pressure gauge; 5 – tubular heating element; 6 – temperature sensor; 7 – unit for regulating the temperature of the solution in the impregnation cylinder; 8 – safety valve; 9 – analytical laboratory balance VAKT-500G-M; 10 – laboratory sample

Отобранные образцы по массе и расположению годовых колец были разбиты на 6 групп (рис. 2). Отклонения масс образцов в каждой группе находились в пределах 5 % от среднего значения.

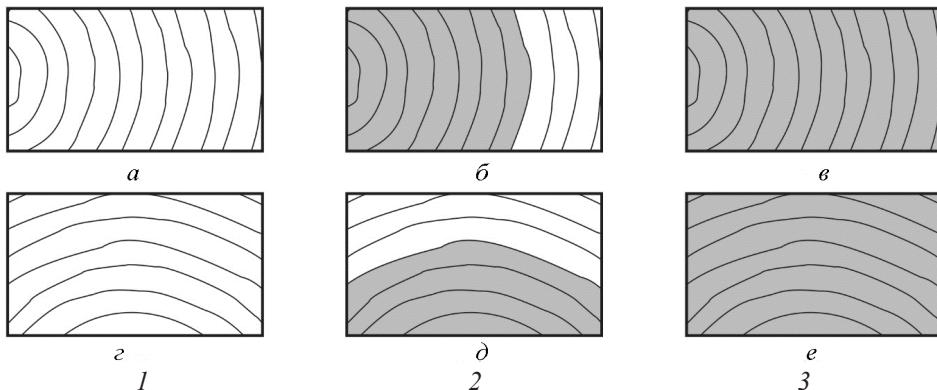


Рис. 2. Группы образцов по типу древесины и расположению слоев 1 – заболонная древесина; 2 – смешанная (ядровая заболонная) древесина; 3 – ядровая древесина; а, б, в – с радиальным расположением слоев; г, д, е – с тангенциальным

Fig. 2. The groups of samples by wood type and layering pattern: 1 – sapwood; 2 – mixed (heartwood and sapwood) wood; 3 – heartwood; а, б, в – with radial layering; г, д, е – with tangential layering

Экспериментально исследовалось влияние избыточного давления и продолжительности выдержки на глубину пропитки древесины. В качестве про-

питывающего раствора применялся 5%-й водный раствор метиленовой сини комнатной температуры (ГОСТ 4919.1–2016). Температура раствора поддерживалась в пределах 20...22 °С блоком регулирования температуры.

Пропитываемость δ оценивалась по относительному содержанию жидкости в древесине и определялась по формуле:

$$\delta = (m_2 - m_1) / m_1,$$

где m_1 и m_2 – масса образца до и после эксперимента соответственно.

Для получения зависимости δ от P и τ были взяты образцы из всех групп для каждого значения P и τ . Полученные значения усреднялись. Кроме указанных параметров оценивался характер распределения пропиточного раствора по поперечному сечению образца. Контролировалось также сохранение формы образцов, подверженных воздействию высокого гидравлического давления.

Результаты исследования и их обсуждение

В процессе пропитки отмечалось неравномерное распределение раствора по сечению (рис. 3). Глубина пропитки в радиальном направлении слоев древесины была в 1,5...3 раза меньше, чем в тангенциальном.

При повышении давления с 1 до 3 МПа δ возрастает более чем в 2 раза, а дальнейшее увеличение давления до >4 МПа не приводит к значительному приращению δ .

Полученные зависимости свидетельствуют о возможности существенно сократить продолжительность пропитки до нормативных показателей по массе пропитывающего раствора и глубине пропитки.

Ощутимого изменения формы образцов не наблюдалось.

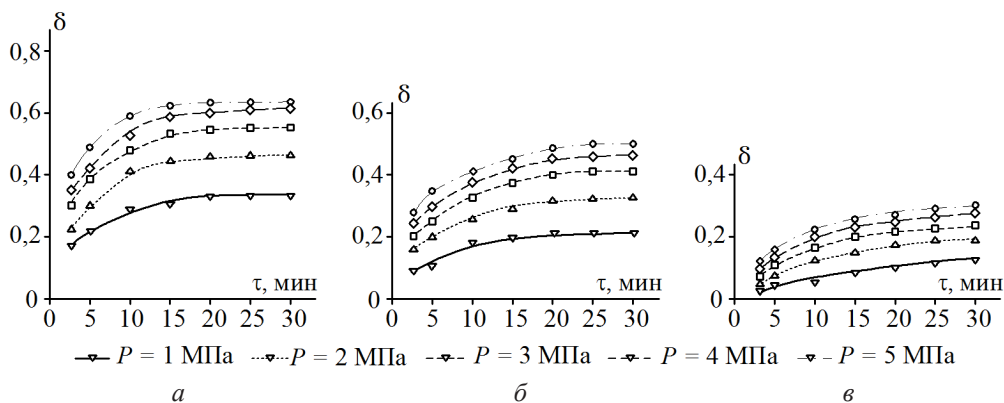


Рис. 3. Пропитываемость образцов из древесины а – заболонной; б – смешанной (ядровой заболонной); в – ядровой

Fig. 3. The impregnability of wood samples: а – sapwood; б – mixed (heartwood and sapwood); в – heartwood

Заключение

Полученные результаты являются продолжением исследований в направлении совершенствования технологии пропитки древесины в соответствии с параметрами, установленными стандартами ГОСТ 20022.7–82, ГОСТ 20012.0–82, ГОСТ 20022.13–81. Повышение давления при пропитке может стать факто-

ром, способствующим уменьшению продолжительности процесса до момента достижения заданных параметров, повышению производительности труда на вспомогательном производстве и снижению себестоимости конечной продукции предприятий.

По причине малых размеров образцов результаты представленного исследования могут носить предварительный характер. В ходе дальнейших научных изысканий следует провести испытания по пропитке древесины при повышенном давлении поперек и вдоль волокон на натурных образцах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 296 с.

Borovikov A.M., Ugolev B.N. *Wood Reference Book*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1989. 296 p. (In Russ.).

2. Горшин С.Н. Консервирование древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 335 с.

Gorshin S.N. *Wood Preservation*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1977. 335 p. (In Russ.).

3. Ермолин В.Н. Основы повышения проницаемости жидкостями древесины хвойных пород: моногр. Красноярск: СибГТУ, 1999. 100 с.

Ermolin V.N. *Fundamentals of Increasing the Permeability of Coniferous Wood with Fluids*: Monograph. Krasnoyarsk, Siberian State Technical University Publ., 1999. 100 p. (In Russ.).

4. Калниньш А.Я. Консервирование и защита лесоматериалов. М.: Лесн. пром-сть, 1962. 143 с.

Kalnins A.Ya. *Preservation and Protection of Timber*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1962. 143 p. (In Russ.).

5. Куницкая О.А., Бурмистрова С.С. Экспериментальные исследования процесса пропитки древесины гидроударом // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: сб. науч. тр. III Междунар. науч.-техн. конф. Кострома, 2015. С. 74–77.

Kunitskaya O.A., Burmistrova S.S. Experimental Studies of the Process of Wood Impregnation with Hydraulic Impact. *Current Problems and Prospects for the Development of the Timber Industry Complex*: Collection of Scientific Papers of the III International Scientific and Technical Conference. Kostroma, 2015, pp. 74–77. (In Russ.).

6. Куницкая О.А., Бурмистрова С.С. Моделирование процесса пропитки древесины в ударном пьезопериодическом поле // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 7-2(18-2). С. 55–59.

Kunitskaya O.A., Burmistrova S.S. Modeling Wood Impregnation Process in an Impact Piezoperiodic Field. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* = Current Directions of Scientific Research of the XXI Century: Theory and Practice, 2015, vol. 3, no. 7-2(18-2), pp. 55–59. (In Russ.).

7. Куницкая О.А., Бурмистрова С.С., Гончаров Ю.А. Поиск новых технических решений для повышения эффективности пропитки древесины // Интенсификация формирования и охраны интеллектуальной собственности: материалы республ. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию ПетрГУ. Петрозаводск, 2015. С. 16–17.

Kunitskaya O.A., Burmistrova S.S., Goncharov Yu.A. Search for New Technical Solutions to Improve the Efficiency of Wood Impregnation. *Intensification of the Formation and Protection of Intellectual Property*: Materials of the Republic Scientific and Practical Conference, Dedicated to the 75th Anniversary of the Petrozavodsk State University. Petrozavodsk, 2015, pp. 16–17. (In Russ.).

8. Ломакин А.Д. Защита древесины и древесных материалов. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 153 с.

Lomakin A.D. *Protection of Wood and Wood Materials*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 153 p. (In Russ.).

9. Оснач Н.А. Проницаемость и проводимость древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1964. 182 с.

Osnach N.A. *Permeability and Conductivity of Wood*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1964. 182 p. (In Russ.).

10. Патент 2646612 РФ, МПК B27K 3/02. Способ пропитки древесины: № 2017106989: заявл. 02.03.2017; опубл. 06.03.2018. Бюл. № 7 / В.А. Шамаев, Д.А. Паринов; патентообладатель: Воронеж. гос. лесотехн. ун-т им. Г.Ф. Морозова.

Shamaev V.A., Parinov D.A. *Method of Wood Impregnation*. Patent RF 2646612, 2018. (In Russ.).

11. Серговский П.С., Расцев А.И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1987. 360 с.

Sergovskij P.S., Rascev A.I. *Hydrothermal Treatment and Preservation of Wood*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1987. 360 p. (In Russ.).

12. Справочное руководство по древесине. Лаборатория лесных продуктов США / пер. с англ. Я. Горелика, Т. Михайловой. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 544 с.

Wood Reference Guide. U.S. Forest Products Laboratory. Trans. from English by Ya. Gorelik, T. Mikhailova. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1979. 544 p. (In Russ.).

13. Сухоловская П.В. Обеспечение пожарной безопасности на судостроительном заводе // Актуал. исследования. 2023. № 6(136). С. 40–45. Режим доступа: <https://apni.ru/article/5574-obespechenie-pozharnoj-bezopasnosti-na-sudost> (дата обращения: 11.06.25).

Sukholovskaya P.V. Ensuring Fire Safety at the Shipyard. *Aktual'nye issledovaniya*, 2023, no. 6(136), pp. 40–45. (In Russ.).

14. Харук Е.В. Проницаемость древесины газами и жидкостями. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 190 с.

Kharuk E.V. *Permeability of Wood to Gases and Liquids*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1976. 190 p. (In Russ.).

15. Шамаев В.А., Куницкая О.А., Григорьев И.В., Медведев И.Н., Паринов Д.А., Бурмистрова С.С. Пропитка древесины жидкостями под давлением // Системы. Методы. Технологии. 2018. № 4(40). С. 152–156.

Shamaev V.A., Kunitskaya O.A., Grigorjev I.V., Medvedev I.N., Parinov D.A., Burmistrova S.S. Wood Impregnation with Fluids under Pressure. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* = Systems. Methods. Technologies, 2018, no. 4(40), pp. 152–156. (In Russ.). <https://doi.org/10.18324/2077-5415-2018-4-152-156>

16. Шамаев В.А., Никулина Н.С., Медведев И.Н. Модифицирование древесины. М.: Наука, 2013. 456 с.

Shamaev V.A., Nikulina N.S., Medvedev I.N. *Wood Modification*. Moscow, Nauka Publ., 2013. 456 p. (In Russ.).

17. 741-42-668-77 Огнезащитная пропитка древесины. Инструкция, п/я А-7499, 1979.

741-42-668-77. *Fire-Retardant Impregnation of Wood*: Instruction, Post Office Box A-7499, 1979. (In Russ.).

18. Augustina S., Dwianto W., Wahyudi I., Syafii W., Gérardin P., Marbun S. D. Wood Impregnation in Relation to its Mechanisms and Properties Enhancement. *BioResources*, 2023, vol. 18, iss. 2, pp. 4332–4372. <https://doi.org/10.15376/biores.18.2.Augustina>

19. Frihart C.R. Adhesive Interactions with Wood. *Fundamental of Composite Processing*: Proceedings of a Workshop. Wisconsin, Madison, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2004, pp. 29–38.

<https://doi.org/10.2737/FPL-GTR-149>

20. Iida I., Yusuf S., Watanabe U., Imamura Y. Liquid Penetration of Precompressed Wood VII: Combined Treatment of Precompression and Extraction in Hot Water on the Liquid Penetration of Wood. *Journal of Wood Science*, 2002, vol. 48, pp. 81–85. <https://doi.org/10.1007/BF00766243>

21. Robinson T.J., Via B.K., Fasina O., Adhikari S., Carter E. Impregnation of Bio-Oil from Small Diameter Pine into Wood for Moisture Resistance. *BioResources*, 2011, vol. 6, no. 4, pp. 4747–4761. <https://doi.org/10.15376/biores.6.4.4747-4761>

22. Uphill S.J., Cosgrove T., Briscoe W.H. Flow of Nanofluids through Porous Media: Preserving Timber with Colloid Science. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2014, vol. 460, pp. 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.05.008>

23. Wardrop A.B., Davies G.W. Morphological Factors Relating to the Penetration of Liquids into Wood. *Holzforschung*, 1961, vol. 15, no. 5, pp. 129–141. <https://doi.org/10.1515/hfsg.1961.15.5.129>

24. Zhao Y., Zhao X., Iida I., Guo J. Studies on Pre-Treatment by Compression for Wood Impregnation II: The Impregnation of Wood Compressed at Different Moisture Content Conditions. *Journal of Wood Science*, 2019, vol. 65, art. no. 28. <https://doi.org/10.1186/s10086-019-1808-2>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest