

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2025. Т. 27. № 1. С. 172–179.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2025; 27 (1): 172–179.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 674.02:533.924

DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-1-172-179

EDN: RTQDOW

ПОВЫШЕНИЕ БИОСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ ПУТЕМ ОБРАБОТКИ ПОТОКОМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ

Геннадий Георгиевич Волокитин¹, Владимир Алексеевич Черемных¹,
Александр Мартынович Адам², Юрий Сергеевич Саркисов¹

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия

²Национальный исследовательский

Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Аннотация. Актуальность. Одним из основных факторов, определяющих использование древесины в строительстве, считается её устойчивость к биологическим воздействиям – биостойкость. Наиболее распространенным способом защиты древесины от негативных воздействий являются специальные пропитки или покрытия, которые имеют определенные ограничения по сроку службы и условиям использования обработанной древесины. В качестве альтернативы этим методам рассматривается обработка древесины с помощью потока низкотемпературной плазмы.

Цель настоящей работы – определение влияния обработки поверхности изделий из древесины сосны потоком низкотемпературной плазмы на биостойкость обработанных изделий по интенсивности развития грибов на поверхности изделий.

Результаты. Исследования показали, что обработка поверхности изделий из сосны низкотемпературной плазмой способствует увеличению их биостойкости. На образцах, подвергнутых плазменной обработке, интенсивность роста грибов оказалась ниже по сравнению с необработанной древесиной и древесиной, обработанной специализированным защитно-декоративным покрытием.

Ключевые слова: низкотемпературная плазма, древесина, биостойкость, плазменная обработка, защитно-декоративное покрытие

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FEMN-2023-0003).

Для цитирования: Волокитин Г.Г., Черемных В.А., Адам А.М., Саркисов Ю.С. Повышение биостойкости строительных изделий из древесины сосны путем обработки потоком низкотемпературной плазмы // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 1. С. 172–179. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-1-172-179. EDN: RTQDOW

ORIGINAL ARTICLE

IMPROVEMENT OF BIOLOGICAL RESISTANCE OF PINE WOOD BUILDING PRODUCTS USING LOW-TEMPERATURE PLASMA

Gennady G. Volokitin¹, Vladimir A. Cheremnykh¹,
Aleksandr M. Adam², Yuri S. Sarkisov¹

¹*Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia*

²*National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia*

Abstract. Biological resistance of wood construction materials is one of the most important issues. Most often, specialized impregnations or coatings are used to protect wood from adverse factors. But the service life and operation conditions of impregnations and coatings are limited. As an alternative, it is proposed to treat the wood surface with low-temperature plasma.

Purpose: The surface treatment of pine wood products by low-temperature plasma and its effect on the biological resistance of treated products. The intensity of the fungi development on the product surface is investigated herein.

Research findings: The low-temperature plasma improves the biological resistance of pine wood products. The intensity of fungi development on the plasma-treated surface is lower than on the surface of un-treated wood and treated with specialized protective coating.

Keywords: low-temperature plasma, wood, biological resistance, plasma treatment, protective coating

Funding: This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. FEMN-2023-0003).

For citation: Volokitin G.G., Cheremnykh V.A., Adam A.M., Sarkisov Yu.S. Improvement of Biological Resistance of Pine Wood Building Products using Low-Temperature Plasma. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2025; 27 (1): 172–179. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-1-172-179. EDN: RTQDOW

Введение

Проблема биокоррозии особенно актуальна для конструкций из древесины. Повреждение плесневыми грибами приводит к снижению прочностных характеристик и эстетических свойств древесины [1]. И если в легкодоступных местах образование плесени на изделиях можно заметить и вовремя при-

нять меры, то в труднодоступных местах развитие неблагоприятных микроорганизмов может привести к выходу конструкции из строя [2, 3]. Поэтому для обеспечения расчетного срока службы деревянных конструкций необходимо предусмотреть защитные меры против образования и развития вредных микроорганизмов. На сегодняшний день наиболее часто для защиты древесины применяются специализированные пропитки. Они позволяют снизить интенсивность развития микроорганизмов на поверхности древесины. В качестве альтернативного метода повышения стойкости строительных изделий из древесины предлагается использовать обработку поверхности изделий потоком низкотемпературной плазмы [4]. Предполагается, что в результате термического воздействия происходит деструкция питательных для микроорганизмов веществ, за счет чего увеличивается стойкость к образованию плесени на поверхности [5].

Целью настоящей работы является изучение воздействия обработки поверхности сосновых изделий низкотемпературной плазмой на их биостойкость.

Материалы и методы исследования

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 9.050–2021, метод 1. Данный метод позволяет оценить биостойкость материала, основываясь на интенсивности роста плесневых грибов в условиях отсутствия дополнительного источника питания.

Образцы в виде пластин размером 50×50 мм и толщиной 10 мм были изготовлены из древесины сосны с влажностью 12 %, произрастающей в Томской области.

Для обработки древесины низкотемпературной плазмой использовалось специализированное оборудование [6] с плазменным генератором ВПР-410 мощностью 18,8 кВт, который обеспечивает удельный тепловой поток в $1,0 \cdot 10^6$ Вт/м². Сканирование поверхности обрабатываемых образцов проводилось со скоростью 0,074 м/с.

Образцы, обработанные потоком низкотемпературной плазмы, сравнивались с образцами, на поверхность которых было нанесено специализированное покрытие. В качестве специализированного покрытия был выбран состав «Акватекс» производства ООО «НПП Рогнеда» [7], как один из наиболее распространенных и относительно недорогих составов. Защитно-декоративное покрытие «Акватекс» содержит в составе антисептик и может применяться как снаружи, так и внутри нежилых и жилых помещений. Указанный срок службы этого покрытия может достигать 5 лет при условии, что будут соблюдены рекомендации производителя по эксплуатации обработанных изделий. Покрытие наносилось, согласно инструкции, в 3 слоя без предварительного грунтования.

Для приготовления суспензии использовался гриб *Trichoderma virens*, поскольку он способен к активной деструкции как целлюлозы, так и лигнина [8]. В качестве раствора для разведения суспензии применялась водопроводная вода, простерилизованная 30 мин при 1 атм. Стерилизация воды проводилась для исключения возможного заражения древесины спорами других грибов, находившихся в воде. Суспензия, разведенная в соотношении 1:15 согласно ГОСТ 9.048–89, наносилась на поверхность образцов с использованием

мелкодисперсного пульверизатора, при этом необходимо было избегать слияния капель.

Инфицированные и контрольные образцы помещали в чашки Петри и хранили в стеклянных эксикаторах, обеспечивая стабильные параметры температуры и влажности. После окончания выдерживания проводилась оценка биостойкости покрытия по интенсивности развития грибов на образцах по шкале ГОСТ 9.048–89.

Всего в работе рассматривалось 5 серий образцов с разной поверхностной обработкой:

- серия 1: исходная (необработанная) древесина без покрытий;
- серия 2: исходная (необработанная) древесина без покрытий с нанесенной на поверхность водой (для исключения возможного наличия спор различных грибов в древесине, использовавшейся для изготовления образцов);
- серия 3: исходная (необработанная) древесина без покрытий с нанесенной на поверхность суспензией;
- серия 4: древесина, обработанная потоком низкотемпературной плазмы, с нанесенной на поверхность суспензией;
- серия 5: древесина, обработанная специализированным антисептическим защитно-декоративным покрытием «Акватекс», с нанесенной на поверхность суспензией.

На рисунке представлены фотографии типичных образцов по окончании испытания. В таблице приведены результаты оценки биостойкости образцов, которые были подвергнуты различным методам обработки. Полученные данные позволяют провести сравнительный анализ эффективности применяемых защитных методов. Баллы в таблице отражают интенсивность развития грибов на поверхности образца и присваиваются согласно табл. 1 ГОСТ 9.048–89.

Результаты испытания образцов из сосны

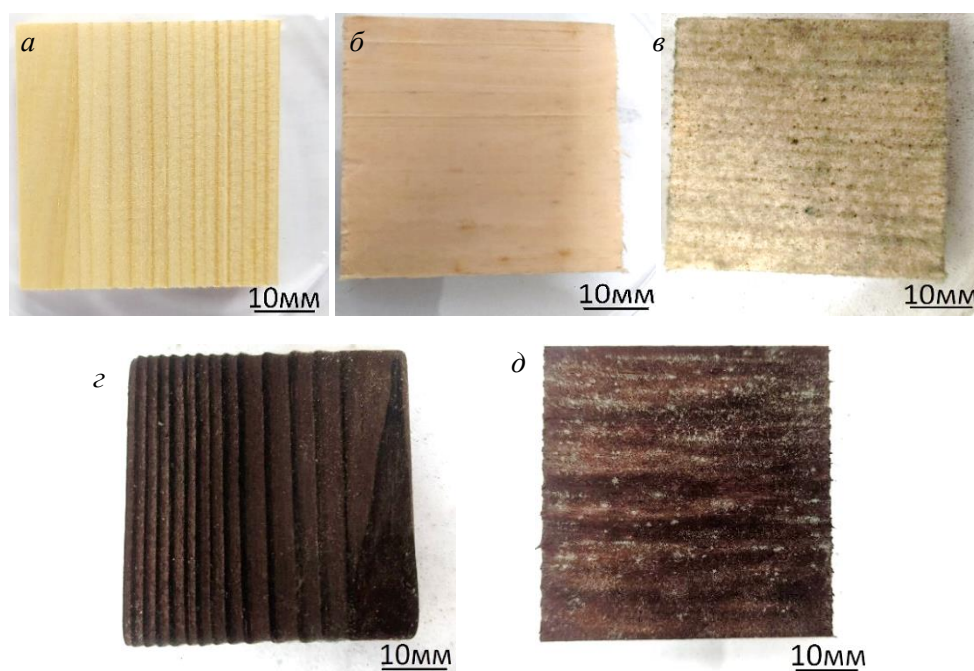
Test results of pine samples

№ п/п	Образец	Балл
1	Контрольный образец из исходной (необработанной) древесины	0
2	Образец из исходной древесины с нанесенной водой	0
3	Образец из исходной древесины с нанесенной суспензией	5
4	Образец из исходной древесины, обработанной низкотемпературной плазмой, с нанесенной суспензией	3
5	Образец из древесины, обработанной защитно-декоративным покрытием «Акватекс», с нанесенной суспензией	5

На контрольном образце и образце из исходной древесины с нанесенной водой следы развития грибов отсутствуют (рисунок, а, б), что подтверждает отсутствие спор грибов в исходной древесине и в воде, использовавшейся для приготовления суспензии. Интенсивность развития грибов на поверхности этих образцов, согласно табл. 1 ГОСТ 9.048–89, оценивается в 0 баллов.

На образце необработанной древесины с нанесенной суспензией спор грибов (рисунок, в) отчетливо видно развитие грибов равномерно по всей по-

верхности образца, что соответствует 5 баллам. На древесине, обработанной защитно-декоративным покрытием «Акватекс», с нанесенной суспензией (рисунк, д) развитие грибов менее интенсивно, чем на необработанной древесине с нанесенной суспензией. Однако прорастание спор отмечается по всей поверхности образца, также присутствуют локальные очаги развития мицелия общей площадью более 25 % от площади испытуемой поверхности образца, что также соответствует 5 баллам указанной ранее шкалы. На образце, обработанном потоком низкотемпературной плазмы, с нанесенной суспензией наблюдаются едва заметные локальные очаги развития мицелия (рисунк, з). Такая интенсивность развития оценивается в 3 балла.



Фотографии типичных образцов после испытания:

a – контрольный образец – исходная (необработанная) древесина без покрытий; *б* – образец исходной древесины, обработанный водой; *в* – образец исходной древесины с нанесенной суспензией; *з* – образец, обработанный потоком низкотемпературной плазмы, с нанесенной суспензией; *д* – образец, обработанный защитно-декоративным покрытием «Акватекс», с нанесенной суспензией

Photographs of wood samples after low-temperature treatment:

a – untreated wood without coating; *b* – wood sample treated with water; *c* – initial wood with deposited suspension; *d* – treated with low-temperature plasma with deposited suspension; *e* – treated with protective coating “Aquatex” with deposited suspension

Низкая интенсивность развития грибов на поверхности образцов, обработанных потоком низкотемпературной плазмы, связана с термодеструкцией питательной для грибов среды. При повышении температуры происходит разложение гемицеллюлозы, целлюлозы и лигнина в тонком верхнем слое древесины [5]. На глубине до 5 мм в древесине происходит уничтожение микроорга-

низмов за счет распределения температурных полей [9, 10]. Кроме того, в результате обработки потоком низкотемпературной плазмы происходит закупоривание пор на поверхности смолами, что затрудняет проникновение спор грибов вглубь древесины. При обработке защитно-декоративным покрытием «Акватекс» споры беспрепятственно проникают вглубь образца и начинают разрастаться изнутри. Поэтому интенсивность развития грибов на образцах, покрытых данным защитно-декоративным составом, выше, чем у образцов, обработанных потоком низкотемпературной плазмы.

Заключение

В ходе исследования было установлено, что обработка поверхности древесины низкотемпературной плазмой снижает интенсивность роста плесневых грибов. Это происходит за счет разрушения питательной среды для микроорганизмов и закупоривания пор древесины. Защитно-декоративные покрытия и пропитки не препятствуют проникновению спор грибов глубже пропитанной (защищенной) области.

Таким образом, степень защиты древесины существенно зависит от глубины проникновения защитного состава: чем глубже состав проникает в структуру древесины, тем более эффективной становится защита от различных негативных воздействий. Следовательно, изделия из древесины желательно обрабатывать на всю толщину. Глубокая пропитка древесины повышает себестоимость конечного продукта, поскольку увеличивается расход защитного состава и трудозатраты.

Таким образом, обработка древесины низкотемпературной плазмой может рассматриваться как альтернативный метод защитно-декоративной обработки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. Москва : ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. 351 с.
2. Стородубцева Т.Н., Аксомитный А.А., Донских Т.С. Защита древесины от влаги и гниения // Воронежский научно-технический вестник. 2014. Т. 3. № 4 (10). С. 68–73. EDN: TABHRZ
3. Девятникова Л.А., Симонова А.А. Влияние условий эксплуатации на разрушение конструкций жилых домов из древесины // Resources and Technology. 2020. Т. 17. № 3. С. 36–49. DOI: 10.15393/j2.art.2020.5242
4. Черемных В.А., Волокитин Г.Г., Клопотов А.А., Скрипникова Н.К. Перспективы использования плазменных технологий в области создания и обработки строительных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2022. № 8 (764). С. 65–72. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-764-8-65-72
5. Егорова А.Д. Характерные особенности термодревесины как строительного материала // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 106-10. С. 38–43. DOI: 10.18411/trnio-02-2024-549
6. Патент № 212821 Российская Федерация, МПК В27К 5/00. Устройство для обработки поверхности изделий из древесины низкотемпературными потоками плазмы : № 2021139632 : заявл. 29.12.2021 : опубл. 10.08.2022 / Волокитин Г.Г., Шеховцов В.В., Безухов К.А., Черемных В.А.
7. Защитно-декоративное покрытие для древесины «АКВАТЕКС 2в1» // Рогнеда : [сайт]. URL: <https://www.rogneda.ru/catalog/zaschitnoe-pokrytie-dlya-drevesiny/aquatex/>
8. Алашкин А.А., Кислицына О.В., Веснин Р.Л., Веретенникова Н.А. и др. Новое средство для обработки древесины антисептического действия, включающее олигомерные про-

- дукты химической деструкции полиэтилентерефталата // Химия растительного сырья. 2014. № 4. С. 243–249. DOI: 10.14258/jcprtm.201404356
9. Волокитин Г.Г., Устинова М.В., Черемных В.А. Определение влияния различных видов термической обработки на механические свойства древесины сосны с учетом их себестоимости // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 3. С. 210–218. DOI 10.31675/1607-1859-2024-26-3-210-218
 10. Бондарцев А.С. Пособие для определения домовых грибов / Акад. наук СССР. Ботан. ин-т им. В.Л. Комарова. Москва ; Ленинград : Изд-во Акад. наук СССР, 1956. 80 с.

REFERENCES

1. Ugolev B.N. Wood Science and Forest Commodity Science. Moscow, 2007. 351p. (In Russian)
2. Storodubtseva T.N., Aksomitny A.A., Donskikh T.S. Wood Protection from Moisture and Rot. *Voronezhskii nauchno-tehnicheskii Vestnik*. 2014; 3 (4 (10)): 68–73. (In Russian)
3. Devyatnikova L.A., Simonova A.A. Influence of Operating Conditions on Destruction of Wooden Houses. *Resources and Technology*. 2020; 17 (3): 36–49. DOI: 10.15393/j2.art.2020.5242 (In Russian)
4. Cheremnykh V.A., Volokitin G.G., Klopotov A.A., Skripnikova N.K. Prospects of Plasma Technologies in Creation and Processing of Building Materials. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2022; 8 (764): 65–72. (In Russian)
5. Egorova A.D. Thermally Modified Wood as a Building Material. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2024; (106-10): 38–43. DOI: 10.18411/tmio-02-2024-549 (In Russian)
6. Volokitin G.G., Shekhovtsov V.V., Bezukhov K.A., Cheremnykh V.A. Device for Surface Treatment of Wood Products with Low-Temperature Plasma. UMP Rus. Fed. No. 212821 U1. 2022. (In Russian)
7. Protective and decorative coating “Aquatex 2 in 1” for wood. Available: www.rogneda.ru/catalog/zaschitnoe-pokrytie-dlya-drevesiny/aquatex/ (In Russian)
8. Alalykin A.A., Kislitsyna O.V., Vesnin R.L., Veretennikova N.A., et al. New Wood Preservative with Oligomeric Products of Polyethylene Terephthalate Chemical Degradation. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2014; (4): 243–249. DOI: 10.14258/jcprtm.201404356 (In Russian)
9. Volokitin G.G., Ustinova M.V., Cheremnykh V.A. Influence of Thermal Treatment on Mechanical Properties of Pine Wood with Regard to Prime Cost. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2024; 26 (3): 210–218. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-3-210-218 (In Russian)
10. Bondartsev A.S. Manual for Identifying House Fungi. Leningrad, 1956. 80 p. (In Russian)

Сведения об авторах

Волокитин Геннадий Георгиевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, vgg-tomsk@mail.ru

Черемных Владимир Алексеевич, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, vacheremnykh@gmail.com

Адам Александр Мартынович, канд. биол. наук, докт. техн. наук, профессор, Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, adam@green.tsu.ru

Саркисов Юрий Сергеевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, sarkisov@tsuab.ru

Authors Details

Gennady G. Volokitin, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, vgg-tomsk@mail.ru

Vladimir A. Cheremnykh, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, vacheremnykh@gmail.com

Aleksandr M. Adam, PhD, Professor, National Research Tomsk State University, 36, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia, adam@green.tsu.ru

Yuri S. Sarkisov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, sarkisov@tsuab.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 23.01.2025
Одобрена после рецензирования 03.02.2025
Принята к публикации 06.02.2025

Submitted for publication 23.01.2025
Approved after review 03.02.2025
Accepted for publication 06.02.2025