

7. Rusalenko A.I. Determination of the depth of groundwater in forest phytocenoses. Minsk, 2009. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/143994632.pdf> (data obrashcheniya: 14.10.2023).
8. Ways to fight forest fires [Elektronnyj resurs]. URL: <https://59.mchs.gov.ru/deyatnost/press-centr/novosti/3192062> (data obrashcheniya: 12.11.2023).
9. Volkova YU.V., SHkvarov A.I., Duhopel'nikova N.R., Rudevskij V.M. Application of wellpoint installations in St. Petersburg // Nedelya nauki SPbPU: materialy nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem (19-24 noyab. 2018 g.). SPb., 2018. P. 136-138.
10. Methods for lowering groundwater during construction [Elektronnyj resurs]. URL: <https://borey-stroy.ru/articles/vidy-i-sposoby-vodoponizheniya> (data obrashcheniya: 14.10.2023).
11. Arutyunyan R.N. Vacuum dewatering in construction practice. M.: Strojizdat, 1990. 184 p.
12. Dewatering plants - Motor pumps [Elektronnyj resurs]. URL: <http://avtocity-nn.ru/catalog/oborudovanie/nasosnoe-oborudovanie/motopompy/ustanovki-vodoponizheniya/> (data obrashcheniya: 14.11.2023).
13. Vacuum installation Storm M [Elektronnyj resurs]. URL: <https://gruntvacuum.ru/katalog-oborudovaniya/vakuumnaya-ustanovka-shtorm-m/> (data obrashcheniya: 12.11.2023).
14. Handbook of Public Works. Foundations and foundations / pod obsch. red. M.I. Smorodina. M.: Strojizdat, 1974. 372 p.
15. Myasishchev D.G., SHostenko D.N. Substantiation of the structure of the system of self-propelled equipment for extinguishing forest fires // Forestry Engineering Journal. 2019. V. 9. № 2 (34). P. 172-177.
16. Eliseev A.A., Tarasova V.A. Using a John Deere forwarder to put out forest fires // Social'no-ekonomicheskie i tekhnicheskie sistemy: issledovanie, proektirovanie, optimizaciya. 2021. № 2 (88). P. 78-85.
17. Kovalev R.N., Enaleeva-Bandura I.M., Baranov A.N., Grigor'eva O.I., Grigor'ev I.V. Mathematical model for determining the optimal location of forest fire and chemical stations, taking into account the level of development of transport networks on the territory of the forest fund // Resources and Technology. 2021. V. 18. № 4. P. 77-92.
18. Komissarov P.I. Application of additive technologies for groundwater level monitoring in forest areas // Lomonosovskie nauch. chteniya studentov, aspirantov i molodyh uchenyh - 2023: sb. materialov konf. (1-30 apr. 2023 g.). Arhangel'sk, 2023. P. 339-341.
19. Lorenc A.S., Lorenc A.V. Environmental safety during the operation of a wellpoint installation for extinguishing forest fires // Lomonosovskie nauch. chteniya studentov, aspirantov i molodyh uchenyh - 2023: sb. materialov konf. (1-30 apr. 2023 g.). Arhangel'sk, 2023. P. 401-403.
20. Polvinen D.A. Dewatering plants, wellpoints (ejectors, light wellpoints) // Lomonosovskie nauch. chteniya studentov, aspirantov i molodyh uchenyh - 2023: sb. materialov konf. (1-30 apr. 2023 g.). Arhangel'sk, 2023. P. 570-574.
21. Lorenc A.S. Influence of bonitet on the groundwater level in the forest phytocenosis // Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: materialy Vos'moj Vseros. nac. nauch.-prakticheskoy konf. s mezhdunar. uchastiem (24 maya 2022 g.). Petrozavodsk, 2022. P. 103-104.

УДК 674

DOI: 10.18324/2077-5415-2023-4-129-135

## Повышение эффективности формирования защитно-декоративного покрытия древесины с помощью ультразвуковой обработки

В.А.Соколова<sup>1а</sup>, Ю.И. Беленький<sup>2б</sup>, С.А. Угрюмов<sup>3с</sup>

<sup>1</sup> Институт энергетики и автоматизации Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, ул. Ивана Черных, 4, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Институт технологии Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, ул. Ивана Черных, 4, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Институт технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, Россия

<sup>а</sup> sokolova\_vika@inbox.ru, <sup>б</sup> 2000k1p@gmail.com, <sup>с</sup> ugr-s@yandex.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>, <sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>,

<sup>с</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1605-5834>

Статья поступила 27.09.2023, принята 31.10.2023

*В статье рассматривается вопрос повышения эффективности отделки древесины лакокрасочными материалами с помощью предварительной ультразвуковой обработки. Представлены результаты экспериментальных исследований образцов из древесины сосны с водно-дисперсионными лакокрасочными покрытиями. Рассматриваются варианты обработки образцов древесины ультразвуком до и после нанесения лакокрасочного покрытия. Установлено, что образцы древесины сосны с водно-дисперсионным лакокрасочным материалом, обработанные предварительно ультразвуком, обладают более высокими показателями адгезии, чем образцы, не обработанные ультразвуком. Сделан вывод, что обработка ультразвуком влияет на качество и физико-механические свойства древесины и покрытий. Результаты исследований показали, что толщина покрытий на образцах из древесины сосны с водно-дисперсионным лакокрасочным покрытием, предварительно обработанным ультразвуком, значительно больше, чем толщина покрытий других экспериментальных образцов. Это объясняется тем, что клетки ранней древесины сминаются (уплотняются), и вследствие этого уменьшается объем внутренней полости клеток. Доказано, что ультразвуковая обработка оказывает влияние на физико-механические свойства древесины, изменяя их. Предлагается использование ультразвуковой обработки в технологии формирования лакокрасочных покрытий на древесине. Применение ультразвуковой обработки перед нанесением лакокрасочного покрытия на древесину позволит повысить эффективность*

формирования покрытий, сократить расход материала и улучшить качество и прочность покрытий, что является важным в процессе обработки древесины и производстве изделий из древесины.

**Ключевые слова:** адгезия, отделка; формирование покрытий; ультразвуковая обработка.

## Increasing the efficiency of forming a protective and decorative wood coating using ultrasonic treatment

V.A. Sokolova<sup>1a</sup>, Yu.I. Belenky<sup>2b</sup>, S.A. Ugryumov<sup>3c</sup>

<sup>1</sup> Institute of Energy and Automation of Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design; 4, Ivan Chernykh St., St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Institute of Energy and Automation of Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design; 4, Ivan Chernykh St., St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Institute of Technological Machines and Forest Transport of St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov; 5, Institutsky Per., St. Petersburg, Russia

<sup>a</sup> sokolova\_vika@inbox.ru, <sup>b</sup> 2000klp@gmail.com, <sup>c</sup> ugr-s@yandex.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>, <sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1605-5834>

Received 27.09.2023, accepted 31.10.2023

*The article discusses the issue of increasing the efficiency of finishing wood with paints and varnishes using preliminary ultrasonic treatment. The issue of physical chemistry of surfaces is considered, namely, such indicators as adhesion and wetting. The results of experimental studies of pine wood samples with water-dispersion paint and varnish coatings are presented. Options for treating wood samples with ultrasound before and after applying paint and varnish are considered. It has been established that pine wood samples with water-dispersed paint and varnish material, pre-treated with ultrasound, have higher adhesion rates. It is concluded that ultrasonic treatment affects the quality and physical and mechanical properties of wood and coatings. The research results have shown that the thickness of the coatings on pine wood samples with a water-dispersion paint and varnish coating pre-treated with ultrasound is significantly greater than the thickness of the coatings of other experimental samples. This is explained by the fact that the cells of early wood are crushed (compacted), and as a result, the volume of the internal cavity of the cells decreases, which ultimately affects the consumption of paint and varnish material. It has been proven that ultrasonic treatment of wood affects the physical and mechanical properties of wood, changing them. The use of ultrasonic treatment in the technology of forming paint and varnish coatings on wood is proposed. The use of ultrasonic treatment before applying paint and varnish to wood will increase the efficiency of coating formation, reduce material consumption and improve the quality and strength of coatings, which is important in the process of wood processing and the production of wooden products.*

**Keywords:** adhesion; finishing; coating formation; ultrasonic treatment.

**Введение.** Особенности строения древесины играют важную роль в ее восприимчивости к различным видам трансформаций. Например, анатомическое строение клеток и тканей может определять скорость и направление проникновения различных веществ в древесину, а также ее текучесть и устойчивость к воздействию факторов окружающей среды.

Размеры и формы клеток древесины могут различаться в зависимости от породы дерева. Например, в древесине лиственных пород преобладают сосудистые элементы, которые обеспечивают эффективную транспортную систему для воды и питательных веществ. В то же время, в древесине хвойных пород преобладают трахеиды, которые могут быть более длинными и узкими, что придает им большую прочность и устойчивость.

Строение клеток древесины также может влиять на ее реакцию на химические воздействия, такие как обработка пропиткой или модификация древесины. Размер и форма клеток могут определять степень проникновения химических соединений в структуру древесины, а также их распределение внутри нее.

Кроме того, ячеистая структура древесины влияет на ее механические свойства. Например, волокнистые элементы и трахеиды обеспечивают древесине механическую прочность и устойчивость к нагрузкам. Ориентация и расположение этих элементов определяют механические свойства древесины, такие как прочность на сжатие, растяжение или изгиб.

Таким образом, понимание строения и особенностей древесины является важным для промышленной обработки, использования и модификации древесины, а также для оценки ее качества и свойств в конкретных условиях эксплуатации.

Формирование лакокрасочных покрытий на древесине является сложным процессом, в котором взаимодействие между лакокрасочным материалом и подложкой играет ключевую роль в обеспечении качества покрытия.

Физическое взаимодействие между лакокрасочным материалом и подложкой осуществляется через нанесение покрытия на поверхность древесины с образованием адгезионного контакта. При этом происходит взаимное проникновение молекул лакокрасочного материала и древесины, обеспечивая сцепление покрытия с подложкой.

Химическое взаимодействие между лакокрасочной композицией и древесиной может происходить через образование химических связей, реакций стягивания или кросс-связей между молекулами композиции и древесины. Это может сильно повлиять на адгезию и прочность покрытия. Также важно учитывать совместимость физико-химических свойств лакокрасочной композиции и древесины для обеспечения стабильности и долговечности покрытия.

Глубина протекания физических и химических реакций между покрытием и древесиной также влияет на качество покрытия. Чем более глубоко физическое или химическое

воздействие происходит в структуре древесины, тем более прочным и стабильным будет адгезионный контакт.

Важно отметить, что защитно-декоративные покрытия должны быть долговечными, устойчивыми к воздействию окружающей среды, механическим нагрузкам и другим факторам. Поэтому правильное взаимодействие между лакокрасочной композицией и древесиной играет решающую роль в формировании покрытия с высокой производительностью и долговечностью.

В целом понимание природы взаимодействия между лакокрасочным материалом и древесиной является важным для создания высококачественных и долговечных лакокрасочных покрытий на древесине.

Применение ультразвуковых колебаний позволяет достичь ряда преимуществ при обработке древесины и нанесении лакокрасочных покрытий. Во-первых, ультразвуковые волны могут проникать глубоко в материал, что позволяет обработать внутренние слои древесины или равномерно нанести покрытие на всю поверхность. Во-вторых, ультразвук может повысить адгезию между лакокрасочным материалом и подложкой, что обеспечивает лучшую прочность и долговечность покрытия. В-третьих, ультразвук способен активировать химические процессы, такие как отверждение лака, что помогает быстрее и более эффективно формировать покрытие [1; 2].

Использование ультразвука также может привести к снижению времени и энергозатрат при обработке древесины и формировании покрытий, а также улучшить качество и эстетический вид конечного продукта. Более того, ультразвуковые методы могут быть использованы для предотвращения или уменьшения деформаций, трещин и других дефектов древесины, что повышает ее прочность и долговечность.

Таким образом, метод ультразвуковых колебаний представляет собой перспективное направление в области обработки древесины и формирования лакокрасочных покрытий. Его использование может привести к улучшению качества продукции, повышению производительности и эффективности процессов, а также уменьшению времени и затрат [3].

В связи с этим были проведены исследования влияния ультразвуковой обработки на адгезию защитно-декоративных покрытий.

Адгезия определяет прочность связи между двумя соприкасающимися фазами, в данном случае, между лакокрасочным покрытием и древесиной. Работа и энергия адгезии определяются как обратимые работы и энергии, требуемые для разделения двух фаз, которые изначально имели общую поверхность раздела.

При расчете работ и энергии адгезии учитывается площадь  $1 \text{ см}^2$ . При этом не учитываются краевые эффекты, т. е. вкрапления, каналы и другие особенности на поверхности, которые могут повлиять на адгезию. Эти показатели работ и энергии адгезии играют важную роль в оценке качества лакокрасочных покрытий на древесине. Чем выше работа и энергия адгезии, тем сильнее связь между покрытием и древесиной и тем более стабильным и прочным будет покрытие.

Применение правильных методов и материалов может помочь усилить адгезию между лакокрасочным материалом и древесиной, а также обеспечить лучшую стойкость покрытия к воздействию окружающей среды и механическим нагрузкам.

Важно отметить, что качество адгезии также может зависеть от других факторов, таких как предварительная подготовка поверхности, применение регуляторов адгезии или промежуточных слоев, а также условий окружающей среды и использования. Поэтому важно учитывать все эти

факторы при формировании лакокрасочных покрытий на древесине [4].

Работа адгезии представлена формулой:

$$W_{A(B)B(A)} = \gamma_{A(B)} + \gamma_{B(A)} + \gamma_{AB} = W_{AB} - \pi_{A(B)} - \pi_{B(A)}. \quad (1)$$

Уравнение (1) можно объединить с различными полуэмпирическими уравнениями:

$$W_{A(B)B(A)} = 2\gamma_{B(A)}, \quad (2)$$

что хорошо согласуется с данными для системы «бензол – вода».

Уравнение Джирифалько и Гуда дает:

$$W_{AB} = 2(\gamma_A \gamma_B)^{1/2}. \quad (3)$$

Если А — твердое тело, а В — жидкость, имеющая на А определенный краевой угол, то:

$$W_{A(B)B(A)} = \gamma_{B(A)}(1 + \cos \theta_B). \quad (4)$$

Вместе с соотношением Зисмана это уравнение дает следующее выражение:

$$W_{A(B)B(A)} = \gamma_{B(A)}(2 + \beta \gamma_C) - \beta \gamma_{B(A)}^2. \quad (5)$$

Из уравнения следует, что изменением  $\gamma_{B(A)}$  работа адгезии данной твердой поверхности проходит через максимум.

Дифференцируя уравнение (5) и приравнявая производную нулю, получаем:

$$W_{max} = \left(\frac{1}{\beta}\right) \left(1 + \frac{\beta \gamma_C}{2}\right)^2, \quad (6)$$

Для низкоэнергетических поверхностей  $\beta$  соответствует около 0,04, и  $W_{max}$  приблизительно равна их критическому поверхностному натяжению  $\gamma_C$ .

В практических случаях, когда имеется контакт между двумя разнородными материалами, например, древесиной и лакокрасочным материалом, важно, чтобы работа адгезии превышала работу когезии менее прочного материала.

Если работа когезии (внутренние силы в материале) превышает работу адгезии (силы взаимодействия между материалами), то соединение может быть менее прочным и подвержено разрушению, отслаиванию или другим проблемам [4].

Величина адгезии напрямую зависит от процессов смачивания и краевого угла смачивания, но на ее величину оказывают также влияние другие факторы, которые необходимо учитывать при разработке технологии и выборе материалов.

На адгезию влияют также состав и структура материалов, их поверхностная энергия, наличие загрязнений и оксидных пленок на поверхности, а также условия окружающей среды (температура, влажность и т. д.).

Для повышения адгезии можно применять различные методы и технологии, такие как предварительная обработка поверхности, использование промежуточных слоев адгезии, использование специальных присадок и добавок к лакокрасочным составам, выбор оптимальных условий окружающей среды и т. д.

Уравнение Юнга описывает связь между краевым углом смачивания жидкости на поверхности твердого тела, поверхностным натяжением жидкости и разницей между поверхностным натяжением жидкости и интерфейсного натяжения жидкость-пар:

$$\cos \theta = (\gamma_{SV} - \gamma_{SL})/\gamma_{LV}. \quad (7)$$

Смачивание происходит, когда жидкость распространяется на поверхности твердого материала. Смачивание будет происходить при условии, что краевой угол достаточно мал, и коэффициент растекания имеет положительное значение:

$$S_{L/S} = \gamma_{SV} - \gamma_{LV} - \gamma_{SL}. \quad (8)$$

Следовательно, чтобы обеспечить растекание, в первом приближении необходимо по возможности уменьшить  $\gamma_{SL}$  и  $\gamma_{LV}$ .

Хорошая смачиваемость обеспечивается образованием тонкой и равномерной жидкой пленки на поверхности материала. Это позволяет увеличить эффективность смачивания и уменьшить гистерезис краевого угла. Жидкая пленка легко адаптируется к микрорельефу поверхности и обеспечивает лучший контакт между жидкостью и поверхностью, что способствует более эффективному смачиванию. Таким образом, подвижность поверхностно-активного вещества в пленке является важным свойством для обеспечения хорошего смачивания.

Капиллярный подъем происходит в узких или капиллярных каналах, где доминирующей силой является поверхностное натяжение жидкости. В таких каналах молекулы жидкости стремятся сократить свою поверхностную энергию и стягиваются к центру капилляра.

Краевой угол, т. е. угол между поверхностью тела и поверхностью жидкости, также играет роль в капиллярном подъеме. Если краевой угол меньше  $90^\circ$  (гидрофильная поверхность), то жидкость будет подниматься по капилляру выше уровня внешней жидкости. Если краевой угол больше  $90^\circ$  (гидрофобная поверхность), то жидкость будет опускаться в капилляре ниже уровня внешней жидкости.

Однако в некоторых случаях смачивание может быть определено не только краевым углом и капиллярным подъемом, но также и разностью давлений на искривленной поверхности мениска.

Капиллярное давление в поре с радиусом (или эквивалентным радиусом)  $r$  равно:

$$\Delta P = 2\gamma_{LV} \cos \frac{\theta}{r}. \quad (9)$$

Уравнение (9) целесообразно представить в двух различных формах. Если  $\theta$  не равен нулю:

$$\Delta P = 2(\gamma_{SV} - \gamma_{SL})/r. \quad (10)$$

Поскольку обычно изменить  $\gamma_{SV}$  практически невозможно, чтобы  $\Delta P$  было большой, следует, по возможности, уменьшить  $\gamma_{SL}$ . Однако при  $\theta = 0$  уравнение (9) принимает следующий вид:

$$\Delta P = 2\gamma_{LV}/r, \quad (11)$$

И теперь  $\Delta P$  тем больше, чем больше  $\gamma_{LV}$ . Таким образом, задача сводится к тому, чтобы найти такое поверхностно-активное вещество, которое уменьшало бы  $\gamma_{SL}$ , но не снижало бы  $\gamma_{LV}$ . Поскольку любое поверхностно-активное вещество влияет на оба межфазных натяжения, выбор реагента, дающего такой сложный эффект, проводится с учетом свойств каждой конкретной системы. Естественно, эта задача более трудна, чем выбор обычных смачивателей.

Кроме большого  $\Delta P$ , желательно также, чтобы скорость движения жидкости в капиллярах была достаточно велика. В горизонтальных капиллярах и вообще, если силами тяжести можно пренебречь, скорость движения жидкости определяется уравнением Уошборна:

$$V = \frac{r\gamma_{L_1L_2} \cos \theta_{SL_1L_2}}{4(\eta_{L_1}l_1 + \eta_{L_2}l_2)}, \quad (12)$$

Это уравнение записано для такой системы, в которой жидкость  $L_2$  вытесняется жидкостью  $L_1$  [5].

**Описание объекта исследования.** В работе были проведены экспериментальные исследования влияния ультразвуковой обработки на качество защитно-декоративного покрытия древесины, а именно на величину адгезии покрытия.

В качестве подложки использовали древесину сосны, так как сосна обладает высокими физико-механическими свойствами и широким распространением [6].

В качестве лакокрасочных материалов в исследованиях использовали водно-дисперсионный акриловый лак «Лакра». Технические характеристики лакокрасочного материала представлены в табл. 1.

Адгезию определяли двумя методами: методом решетчатых надрезов и с помощью механического адгезиметра «Novotest» АМЦ-1 [7].

В работе необходимый объем выборки для получения достоверных средних значений исследуемых экспериментальных данных рассчитывался с учетом результатов предварительных оценочных экспериментов. Важными характеристиками экспериментальных данных являлись среднее значение выборки (арифметическое среднее), дисперсия (среднее квадратическое отклонение) и стандартная ошибка (стандартное отклонение среднего значения). Для достоверной оценки среднего значения была учтена гетерогенность среди исследуемых объектов. Для этого использовали формулы, учитывающие различие дисперсий в подгруппах выборки [8].

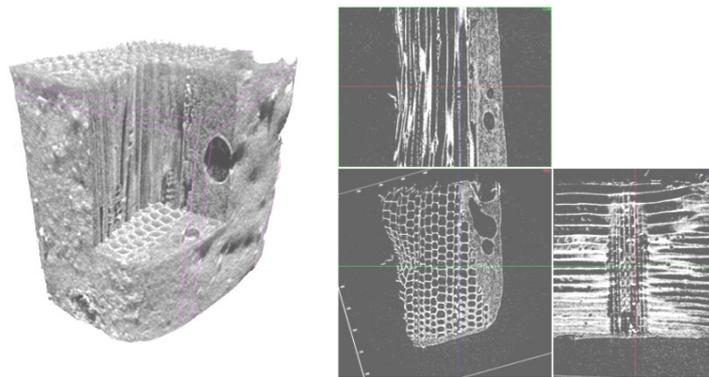
**Таблица 1.** Технические характеристики водно-дисперсионного акрилового лака

Типичные свойства	Водно-дисперсионный акриловый лак «Лакра»
Состав	Водная акриловая дисперсия, светопрочные пигменты, целевые добавки (коалесцент, антифриз, загуститель, пеногаситель, диспергатор, консервант, фунгицид)
Расход, кг на м <sup>2</sup> , мл/м <sup>2</sup>	80–120
Степень блеска	Шелковисто-матовый
Время высыхания	При температуре 20 °С и относительной влажности 70 % — 1 ч, при повторном нанесении — 2 ч

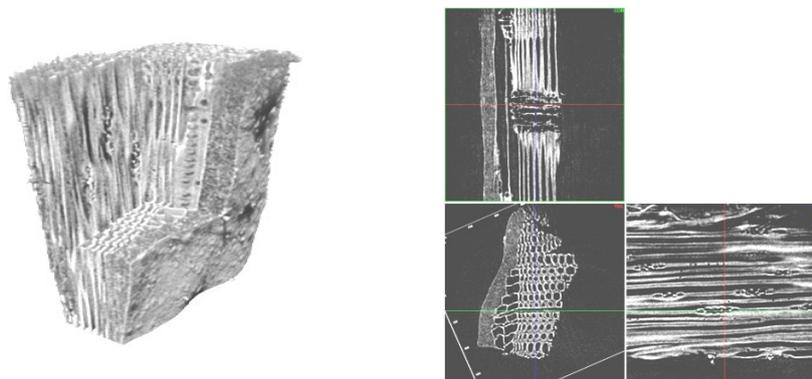
Для проведения многофакторного эксперимента был выбран набор факторов, которые могут оказывать влияние на выходной параметр. Выбор постоянных факторов был основан на априорных данных и предварительных исследованиях. Выбор переменных факторов был основан на предварительных поисковых экспериментах, где исследовались различные

комбинации переменных факторов и их влияние на выходной параметр [9; 10–14].

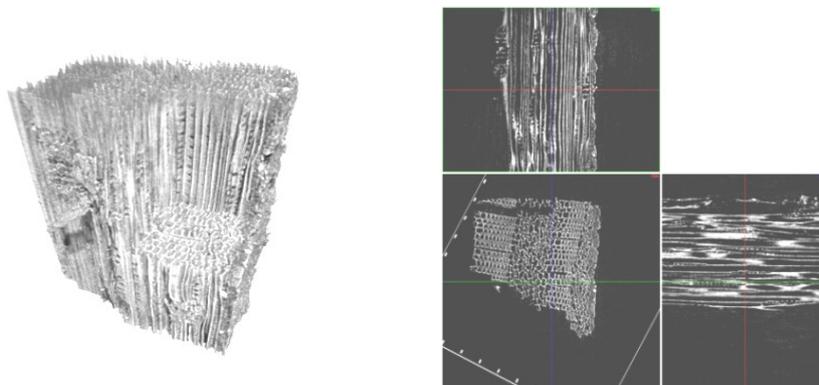
На рис. 1–3 представлены фотографии образцов из древесины сосны радиального, тангенциального и поперечного срезов.



**Рис. 1.** Фотография образца из древесины сосны с водно-дисперсионным лакокрасочным покрытием



**Рис. 2.** Фотография образца из древесины сосны с водно-дисперсионным лакокрасочным покрытием, предварительно обработанного ультразвуком



**Рис. 3.** Фотография образца из древесины сосны с водно-дисперсионным лакокрасочным покрытием и обработанного ультразвуком

Эксперименты были проведены на следующих образцах:

- образец из древесины сосны с водно-дисперсионным лакокрасочным материалом;
- образец из древесины сосны с водно-дисперсионным лакокрасочным материалом, предварительно обработанный ультразвуком (до нанесения покрытия);
- образец из древесины сосны, обработанный ультразвуком с водно-дисперсионным лакокрасочным материалом (обработка ультразвуком после нанесения лакокрасочного покрытия).

По результатам анализа полученных данных можно сделать вывод, что толщина покрытия у образца из древесины сосны с водно-дисперсионным лакокрасочным покрытием составляет 25 мкм. На образце из породы сосны с водно-дисперсионным лакокрасочным покрытием, предварительно

обработанным ультразвуком, наблюдается деформация нескольких поверхностных слоев клеточных стенок древесины. Заметно смятие ряда клеток ранней древесины в слоях, примыкающих к обработанной поверхности. Наблюдается локальное искривление сердцевинных лучей. Тотального разрушения клеточных оболочек нет. Лакокрасочное покрытие проникает в деформированные слои клеток не глубоко. Толщина покрытия составляет 35 мкм. После обработки поверхности образца из древесины сосны с водно-дисперсионным лакокрасочным покрытием, обработанного ультразвуком, наблюдается деформация только клеток ранней древесины в двух годичных слоях. Клетки уплотнены в равной степени. Локальное искривление сердцевинных лучей. Тотального разрушения клеточных оболочек нет. При этом слои клеток поздней древесины между деформированными слоями остаются недеформированными.

Лакокрасочное покрытие проникает глубоко внутрь. Толщина покрытия данного образца существенно меньше, чем толщина покрытия на образце из древесины сосны с водно-дисперсионным лакокрасочным покрытием, предварительно обработанного ультразвуком. Толщина покрытия составляет 18

мкм. Это объясняется тем, что лакокрасочный материал проникает в деформированные клетки.

Результаты исследований по определению показателя адгезии представлены в табл. 2 и 3.

**Таблица 2.** Результаты исследований по определению адгезии методом решетчатых надрезов

Образцы	Адгезия, баллы
Образец из древесины сосны с водно-дисперсионным лакокрасочным покрытием	2
Образец из древесины сосны с водно-дисперсионным лакокрасочным покрытием, предварительно обработанный ультразвуком	1
Образец из древесины сосны с водно-дисперсионным лакокрасочным покрытием и обработанный ультразвуком	2

**Таблица 3.** Результаты исследований по определению адгезии с помощью механического адгезиметра «Novotest» АМЦ-1

Образцы	Адгезия, МПа	Диаметр, мм
Образец из древесины сосны с водно-дисперсионным лакокрасочным покрытием	1	15,1
Образец из древесины сосны с водно-дисперсионным лакокрасочным покрытием, предварительно обработанный ультразвуком	1,6	15,1
Образец из древесины сосны с водно-дисперсионным лакокрасочным покрытием и обработанный ультразвуком	1,2	15,1

Как видно (табл. 2 и 3), хорошей адгезией обладают покрытия образцов, которые сначала обрабатывались ультразвуком, а потом были нанесены лакокрасочные покрытия, что согласуется с результатами двух методов определения адгезии.

**Результаты и их обсуждение.** Как показали исследования, на образцах из древесины сосны наблюдается высокая деформация слоев клеток. На образце из древесины сосны с водно-дисперсионным лакокрасочным покрытием и обработанном ультразвуком наблюдается деформация клеток в двух годичных слоях. Это обусловлено наличием ярко выраженной поздней древесины в годичном слое сосны. Поздняя древесина отличается высокой плотностью и повышенными физико-механическими свойствами, в отличие от ранней древесины [15; 16].

Таким образом, можно сделать вывод, что обработка ультразвуком влияет на качество и физико-механические свойства древесины и покрытий. Толщина покрытий на образцах из древесины сосны с водно-дисперсионным лакокрасочным покрытием, предварительно обработанных ультразвуком, значительно больше, чем толщина покрытий других экспериментальных образцов. Это можно объяснить тем, что клетки ранней древесины сминаются (уплотняются), и вследствие этого уменьшается объем внутренней полости клеток, что, в конечном счете, влияет на расход лакокрасочного материала.

Ультразвуковая обработка древесины может способствовать лучшему проникновению лакокрасочных материалов в структуру древесины, что позволяет достичь более равномерного и эффективного покрытия поверхности. Как результат, расход лакокрасочных материалов может быть сокращен, при этом сохраняя высокое качество покрытия. Это может быть полезной особенностью для экономии материалов и снижения затрат на процесс отделки древесины.

Таким образом, исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что ультразвуковая обработка древесины оказывает влияние на физико-механические свойства древесины, изменяя их.

Ультразвуковая обработка древесины может быть использована для изменения физических и механических свойств материала. Воздействие ультразвука на древесину может приводить к уплотнению поверхностного слоя, повы-

шению его плотности и улучшению адгезии с лакокрасочными материалами.

Параметры ультразвуковой обработки, такие как амплитуда вибрации, частота, продолжительность и режимы воздействия могут быть настроены для достижения желаемого эффекта на поверхности древесины. Например, при использовании более высоких частот и более интенсивных волн ультразвука можно добиться более глубокого проникновения в древесину и более сильного уплотнения поверхности [17; 18].

Уплотнение поверхностного слоя древесины перед отделкой лакокрасочными материалами может обеспечить более гладкую и однородную поверхность, более долговечное покрытие и улучшить адгезию краски или лака.

Проведенные исследования влияния ультразвуковой обработки на качество защитно-декоративного покрытия древесины показали, что образцы, обработанные ультразвуком, имеют более высокие показатели адгезии.

Таким образом, применение ультразвука перед нанесением лакокрасочного покрытия на древесину приводит к повышению эффективности этого процесса. Ультразвуковая обработка способствует улучшению впитываемости древесины, что позволяет лакокрасочным материалам лучше проникать в структуру древесины и обеспечивать более равномерное и прочное покрытие. Благодаря этим преимуществам, применение ультразвука перед нанесением лакокрасочного покрытия позволяет сократить расход лакокрасочного материала. При более равномерном и тонком слое покрытия достигается не только экономия материала, но и повышается эффективность его использования. Кроме того, благодаря более прочному покрытию, физико-механические свойства покрытий на древесине улучшаются. Они становятся более устойчивыми к истиранию, сколам и царапинам, что увеличивает срок службы древесины и сохраняет ее привлекательный внешний вид на протяжении долгого времени.

Применение ультразвуковой обработки перед нанесением лакокрасочного покрытия на древесину позволяет повысить эффективность формирования покрытий, сократить расход материала и улучшить качество и прочность покрытий, что является важным в процессе обработки древесины и производстве деревянных изделий [19].

## Литература

1. Розенберг Л.Д. Физика и техника мощного ультразвука // Физические основы ультразвуковой технологии. М.: Наука, 1970. 689 с.
2. Москаленко Т.В., Михеев В.А., Данилов О. С. Интенсификация извлечения гуминовых кислот из торфа под воздействием магнитного и ультразвукового полей // Вестн. Иркутского гос. технического ун-та. 2011. № 2 (49). С. 142-146.
3. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. М.: Изд-во «Мир», 1979. 568 с.
4. Bikerman J.J. The science of adhesive joints. New York: Academic Press, 1961. 364 p.
5. Блиничева И.Б., Мизеровский Л.Н., Шарина Л.В. Физика и химия волокнообразующих полимеров. Иваново: Ивановский гос. хим.-технол. ун-т, 2005. 375 с.
6. Пен Р.З. Статистические методы моделирования и оптимизации процессов целлюлозно-бумажного производства. Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1982. 190 с.
7. Разработка и производство приборов и систем неразрушающего контроля [Электронный ресурс]. URL: [https://novotest.ua/media/novotest/novotest\\_passport\\_ac1\\_ver\\_1\\_0.pdf](https://novotest.ua/media/novotest/novotest_passport_ac1_ver_1_0.pdf) (дата обращения: 31.10.2023).
8. Пижурин А.А., Розенблит М.С. Исследования процессов деревообработки. М.: Лесная пром-сть, 1984. 231 с.
9. Соколова В.А. Создание защитно-декоративных покрытий древесины на основе модифицированных водно-дисперсионных лакокрасочных материалов: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: СПбГЛТА, 2006. 203 с.
10. Пижурин А.А. Современные методы исследований технологических процессов в деревообработке. М.: Лесная пром-сть, 1972. 248 с.
11. Рузинов Л.П., Слободчикова Р.И. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. М.: Химия, 1980. 280 с.
12. Рузинов Л.П. Статистические методы оптимизации химических производств. М.: Химия, 1972. 200 с.
13. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 279 с.
14. Пижурин А.А. Основы научных исследований в деревообработке. М.: МГУЛ, 2005. 305 с.
15. Евстигнеев Э.И. Химия древесины. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 148 с.
16. Костюкевич Н.Г. Химия древесины. СПб.: СПбГЛТА, 2010. 90 с.
17. Sokolova V., Gorobchenko S., Kovalev D., Zagidullin R., Akhmetshin S., Belenkiy Y., Teppoev A. (2023) Selection of the structural scheme of the control line for finishing products from natural wood. IX International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-IX-2023).
18. Sokolova V., Markov V., Rzhavtsev A. (2019) Improvement of technology of formation of coatings with metal effect by modified water-dispersion paints. New Materials and Technologies in Mechanical Engineering: Key Engineering Materials.
19. Соколова В.А., Угрюмов С.А. Исследование влияния ультразвуковой обработки древесины на макростроение

древесины и качество лакокрасочных покрытий // Системы. Методы. Технологии. 2020. № 4 (48). С. 134-138.

## References

1. Rozenberg L.D. Physics and technology of high-power ultrasound // Fizicheskie osnovy ultrazvukovoj tekhnologii. M.: Nauka, 1970. 689 p.
2. Moskalenko T.V., Miheev V.A., Danilov O. S. Intensification of the extraction of humic acids from peat under the influence of magnetic and ultrasonic fields // Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2011. № 2 (49). P. 142-146.
3. Adamson A. Physical chemistry of surfaces. M.: Izd-vo «Mir», 1979. 568 p.
4. Bikerman J.J. The science of adhesive joints. New York: Academic Press, 1961. 364 p.
5. Blinicheva I.B., Mizerovskij L.N., SHarina L.V. Physics and chemistry of fiber-forming polymers. Ivanovo: Ivanovskij gos. him.-tekhnol. un-t, 2005. 375 p.
6. Pen R.Z. Statistical methods for modeling and optimization of pulp and paper production processes. Krasnoyarsk: Izd-vo Krasnoyarskogo un-ta, 1982. 190 p.
7. Development and production of non-destructive testing devices and systems [Elektronnyj resurs]. URL: [https://novotest.ua/media/novotest/novotest\\_passport\\_ac1\\_ver\\_1\\_0.pdf](https://novotest.ua/media/novotest/novotest_passport_ac1_ver_1_0.pdf) (data obrashcheniya: 31.10.2023).
8. Pizhurin A.A., Rozenblit M.S. Research into woodworking processes. M.: Lesnaya prom-st', 1984. 231 p.
9. Sokolova V.A. Creation of protective and decorative wood coatings based on modified water-dispersion paints and varnishes: dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb.: SPbGLTA, 2006. 203 p.
10. Pizhurin A.A. Modern methods of researching technological processes in woodworking. M.: Lesnaya prom-st', 1972. 248 pp.
11. Ruzinov L.P., Slobodchikova R.I. Planning an experiment in chemistry and chemical technology. M.: Himiya, 1980. 280 p.
12. Ruzinov L.P. Statistical methods for optimization of chemical production. M.: Himiya, 1972. 200 p.
13. Adler YU.P., Markova E.V., Granovskij YU.V. Planning an experiment when searching for optimal conditions. M.: Nauka, 1976. 279 p.
14. Pizhurin A.A. Fundamentals of scientific research in woodworking. M.: MGUL, 2005. 305 p.
15. Evstigneev E.I. Chemistry of wood: Textbook. allowance. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2007. 148 p.
16. Kostyukevich N.G. Chemistry of wood. SPb.: SPbGLTA, 2010. 90 p.
17. Sokolova V., Gorobchenko S., Kovalev D., Zagidullin R., Akhmetshin S., Belenkiy Y., Teppoev A. (2023) Selection of the structural scheme of the control line for finishing products from natural wood. IX International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-IX-2023).
18. Sokolova V., Markov V., Rzhavtsev A. (2019) Improvement of technology of formation of coatings with metal effect by modified water-dispersion paints. New Materials and Technologies in Mechanical Engineering: Key Engineering Materials.
19. Sokolova V.A., Ugryumov S.A. Study of the influence of ultrasonic wood processing on the macrostructure of wood and the quality of paint and varnish coatings // Systems. Methods. Technologies. 2020. № 4 (48). P. 134-138.