

4. ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЕРЕВОПЕРЕРАБОТКИ

УДК 674.048.5

С.Г. Елисеев, Д.В. Дук, В.Н. Ермолин

ФОРМИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ ТЕКСТУРЫ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННЫХ РАССЕЯННО-СОСУДИСТЫХ ПОРОД ЗА СЧЕТ ЛАЗЕРНОЙ ПЕРФОРАЦИИ

Введение. Использование экологически безопасных материалов природного происхождения в строительстве, производстве мебели и предметов интерьера с каждым годом только возрастает. На этом фоне древесина выгодно отличается не только доступностью ресурса, но и достаточно высокими свойствами в сравнении с другими материалами. В производстве мебели и отделочных материалов важным требованием к используемому сырью является внешний вид древесины. При этом эстетически ценные породы древесины, как правило, представлены экзотическими импортными породами либо твердолиственными породами, произрастающими на территории РФ, запасы которых ограничены, поэтому стоимость такой древесины достаточно высока. Использование ценных пород древесины отрицательно сказывается на итоговой себестоимости изделий, и такие товары, как правило, мало представлены в среднем ценовом диапазоне. В то же время даже при использовании ценных пород древесины производителям приходится экспериментировать с различными вариантами сложной отделки, чтобы создать элемент новизны материала.

Большим потенциалом для производства отделочных материалов и предметов интерьера обладает древесина таких распространенных в РФ пород, как береза (*Betula pubescens* Ehrh.) и осина (*Populus tremula* L.). Древесина данных пород имеет достаточно высокие физико-механические свойства, широко доступна, имеет относительно невысокую стоимость за единицу объема. Недостатком указанных пород, который существенно ограничивает их использование, является бледная окраска и невыразительная текстура древесины.

К настоящему времени накоплен обширный опыт в области технологий повышения декоративных свойств древесины, включающий прямое окрашивание путем поверхностного нанесения красителя методом печати [Чимирис, 1997; Беляев и др., 1998; Демина, 2015], браширования [Сафин, Белякова, 2012; Вернигорова, Саденко, 2015; Барташевич и др., 2018; Buksans et al., 2021], пневматическим распылением (сухое, полусухое) [Беляев и др., 1998; Вернигорова, Саденко, 2015], вальцами [Беляев и др., 1998], за счет погружения в ванну с красителем [Беляев и др., 1998; Трубников, 2009; Вернигорова, Саденко, 2015], сквозным пропитыванием в автоклаве [Беляев и др., 1999; Li et al., 2018b; Bahchevandziev, Mihajlovski, 2021], путем торцевой пропитки отдельных сортиментов [Шмидт, 1915; Урецкий и др., 2002; Соколов и др., 2012; Медведев и др., 2021; Саерова и др., 2021], пропитки через винченные в древесину штуцеры [Липшанс, Маковскис, 2009], за счет воздействия растворов химически активных веществ, таких как бура, хлористый аммоний, сульфат железа, хлорид железа, медного купороса, двухэтапной обработкой раствором п-фенилендиамина или о-фенилендиамина с последующим окрашиванием солями металлов [Липшанс, Маковскис, 2009; Соколов и др., 2012; Jaxel et al., 2020], термической [Усачев, 2002; Липшанс, Маковскис, 2009; Тарбеева, Рублева, 2020; Baysal et al., 2014], механической и механо-химической обработки древесины [Шмидт, 1915; Черненко, Бернат, 1968; Усачев, 2002; Золотарчук и др., 2003; Липшанс, Маковскис, 2009; Трубников, 2009; Кирилина, Ветошкин, 2015; Намятов и др., 2015; Li et al., 2018a; Kúdela et al., 2020; Bahchevandziev, Mihajlovski, 2021].

Большинство приведенных выше методов облагораживания древесины, получивших широкое распространение, относятся к поверхностной отделке древесины. К недостаткам таких вариантов отделки можно отнести невозможность в дальнейшем подвергать механической обработке или изготавливать из них фрезерованные изделия сложной формы. Также при эксплуатации поверхностный декоративный слой может легко стираться.

Рассмотренные выше методы повышения декоративных свойств древесины на всю толщину заготовок в большинстве своем не имеют промышленного применения, поскольку сложны, непроизводительны, не обеспечивают стабильного результата в рамках серийного производства. Также при сквозном окрашивании предъявляются высокие требования к проницаемости древесины, которая может иметь низкие значения в силу природных особенностей породы (ядро, спелая древесина) или развития различных пороков, которые могут вызывать снижение проницаемости (ложное ядро, побурение и др.).

Ранее нами была исследована возможность повышения декоративных свойств древесины пихты сибирской за счет ее перфорации лазером и последующего избирательного окрашивания красителем в автоклаве [Ермолин и др., 2022; Елисеев и др., 2023]. Предлагаемая технология основана на прожигании в древесине глубоких или даже сквозных каналов по заранее разработанной схеме и последующей пропитке перфорированной древесины текстильным красителем. В перфорированной древесине краситель прежде всего проникает в прожжённые лазером каналы и затем окрашивает прилегающую древесину. Это позволяет обеспечить локальное окрашивание древесины и создать чередование окрашенных и не окрашенных зон, тем самым формируя искусственную текстуру древесины. Диаметр прожигаемых отверстий составляет около 0,2 мм, поэтому они слабо различимы невооруженным глазом на фоне окрашенной древесины, а при финальной отделке изделий становятся совершенно незаметными.

С учетом вышеизложенного было выдвинуто предположение, что описанный метод избирательного окрашивания древесины может быть применен и при формировании искусственной текстуры рассеяннососудистых пород, имеющих относительно высокую проницаемость древесины, таких как береза и осина. При этом использование древесины с большей плотностью, чем у пихты (*Abies sibirica* Ledeb.) также будет способствовать получению стабильно малых диаметров лазерных перфораций [Nath et al., 2020].

Материалы и методика исследования. На первом этапе исследований необходимо было установить особенности распространения пропиточного раствора в древесине в зависимости от вида древесной породы и структурного направления. Для этих целей из березовых и осиновых пиломатериалов размерами 3000×150×40 мм с исходной влажностью 9–10% были изготовлены образцы размерами 300×150×40 мм (вдоль волокон×ширина×толщина). В полученных образцах производилась перфорация древесины лазером с использованием полупромышленного лазерного гравера CERTON 4040 Standard. На середине длины образцов при помощи лазера прожигалось 10 отверстий, расположенных в один ряд поперек волокон. Расстояние между отверстиями составляло 15 мм, диаметр прожигаемых отверстий – около 0,2 мм (рис. 1). Расстояние между отверстиями определялось исходя из полученных предварительных данных по ширине распространения фронта пропитки поперек волокон. Глубина прожигаемых отверстий составляла 20 мм.

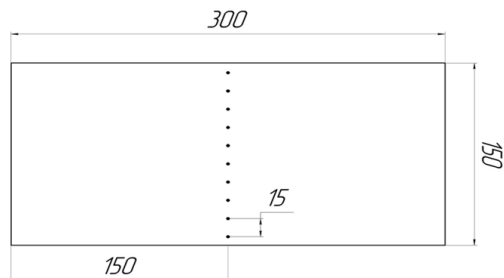


Рис. 1. Схема размещения прожигаемых каналов в образцах древесины

Fig. 1. Pattern of laser-cut slots in wood samples

Поскольку древесина березы и осины имеет относительно высокую поперечную проницаемость, для предотвращения пропитки образцов сплошным фронтом с поверхности перед лазерной перфорацией все поверхности образцов гидроизолировались при помощи нанесения одного слоя ПФ-115 (универсальная алкидная эмаль, предназначена для внутренних и внешних работ, устойчива к воздействию воды, бытовых моющих средств и технических масел), расход – 90–120 гр/м².

После перфорации лазером образцы древесины пропитывались в автоклаве при избыточном давлении 3% раствором кислотного металлкомплексного красителя «Совелан коричневый М». Данный краситель обладает высокой светостойкостью и надежно фиксируется в древесине, не вымываясь даже при непосредственном контакте с водой.

Определение оптимальных режимных параметров пропитки производилось в соответствии с двухфакторным планом эксперимента. Режимные параметры пропитки варьировались в следующих значениях: избыточное давление – 0,1; 0,2; 0,3 МПа, продолжительность пропитки – 10; 20; 30 мин. После пропитывания образцы выдерживались в комнатных условиях в течение 24 ч. После выдержки образцы помещались в сушильный шкаф, где высушивались до $9 \pm 3\%$.

Для проявления локально окрашенных участков древесины высушенные образцы строгались на рейсмусовом станке на глубину 2 мм. После этого при помощи микроскопа МБС-10, оснащенного камерой Scopetek DCM-310, с использованием программного обеспечения ScopePhoto производилось измерение длины и ширины фронта пропитки с точностью до 0,1 мм.

Результаты исследования. Опытные пропитки перфорированной древесины березы показали следующие результаты (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1

Продвижение фронта пропитки в древесине березы вдоль волокон

The advance of the impregnation front in birch wood along the fibers

Давление, МПа	Время, мин	Количество измерений, ед.	Средние значения, мм	Среднеквадратичное отклонение	Коэффициент вариации, %	Точность, %
0,1	10	45	119,7	36,5	30,5	4,55
0,1	20	45	179,3	59,7	33,3	4,96
0,1	30	45	199,8	56,0	28	4,17
0,2	10	45	174,3	40,3	23,1	3,44
0,2	20	45	261,3	33,4	12,8	1,91
0,2	30	45	277,5	24,3	8,7	1,30
0,3	10	45	186,1	42,2	22,6	3,37
0,3	20	45	277,7	32,2	11,6	1,73
0,3	30	45	291,5	14,6	5	0,75

Наименьшие значения фронта пропитки вдоль волокон ожидаемо наблюдались при давлении 0,1 МПа, в то время как при давлении 0,2–0,3 МПа размер окрашенных участков был примерно в 1,5 раза больше. Сравнение размеров пропитанных участков при давлениях пропитки 0,2 и 0,3 МПа по всем продолжительностям пропитки показало незначительные различия в пределах 5–7%, однако сопоставление выборок с использованием критерия Стьюдента достоверность различия показателей не подтвердило. В целом при всех вариантах пропитки основная площадь окрашенного участка формировалась в первые 10–20 минут пропитки. Пропитка же от 20 до 30 минут обеспечивала незначительное увеличение пропитанного участка в пределах 5–6%. Отдельно необходимо отметить, что на части пропитанных образцов наблюдалось эксцентричное окрашивание относительно прожжённого лазером отверстия (рис. 3).

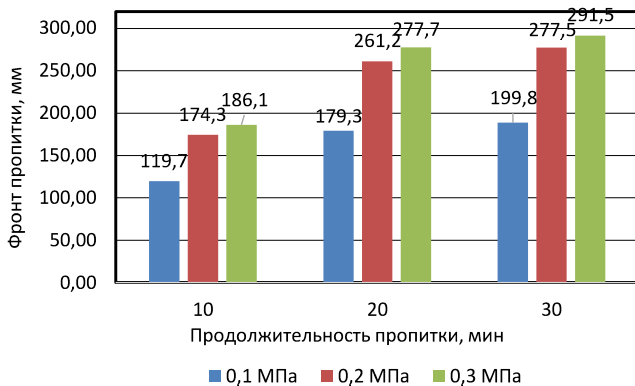


Рис. 2. Пропитка древесины березы вдоль волокон

Fig. 2. Impregnation of birch wood along the fibers



Рис. 3. Образец древесины березы с эксцентричной локализацией окрашенных зон

Fig. 3. A sample of birch wood with an eccentric localization of colored zones

Измерение окрашенных зон в древесине березы поперек волокон выявило следующее (табл. 2, рис. 4). В среднем ширина пропитанных участков поперек волокон составила от 1,06 до 1,55 мм. Наименьшие значения ширины пропитанных зон (аналогично пропитке вдоль волокон) наблюдались при давлении 0,1 МПа и продолжительности пропитки 10 мин, а наибольшие – при 30 мин и давлении 0,3 МПа. При 10-минутной пропитке разница между 0,2 МПа и 0,3 МПа достигала 10%, а при 20–30-минутной пропитке разница уже находилась в пределах точности опыта (не более 2%). При этом за первые 10 минут пропитки окрашивалось от 70% до 90% итоговой ширины окрашенной зоны.

Таблица 2

Продвижение фронта пропитки в древесине березы поперек волокон**The advance of the impregnation front in birch wood across the fibers**

Давление, МПа	Время, мин	Количество измерений, ед.	Средние значения, мм	Среднеквадратичное отклонение	Коэффициент вариации, %	Точность, %
0,1	10	45	1,06	0,083	7,92	1,18
0,1	20	45	1,23	0,036	2,95	0,44
0,1	30	45	1,36	0,112	8,30	1,24
0,2	10	45	1,29	0,073	5,72	0,85
0,2	20	45	1,46	0,162	11,15	1,66
0,2	30	45	1,52	0,136	8,98	1,34
0,3	10	45	1,42	0,093	6,55	0,98
0,3	20	45	1,47	0,076	5,18	0,77
0,3	30	45	1,55	0,112	7,28	1,08

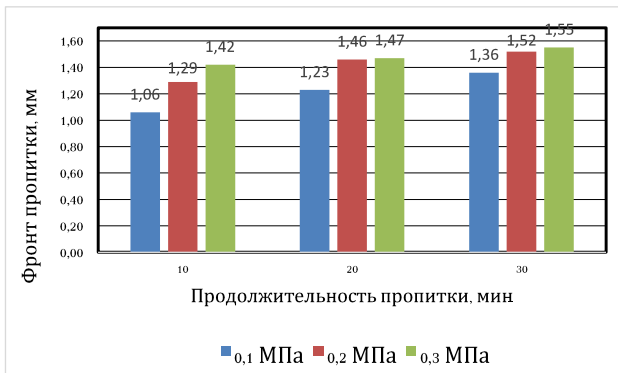


Рис. 4. Пропитка древесины березы поперек волокон

Fig. 4. Impregnation of birch wood across the fibers

Пропитка перфорированной осиновой древесины показала резкое различие размеров окрашенных зон в заболонной и спелодревесной частях образцов (рис. 5). Размер окрашенных зон вдоль волокон в заболонной древесине составил от 124,4 до 236,9 мм, в то время как в спелой древесине окрашенные участки были в 10–15 раз меньше – от 9,8 до 23,94 мм. Поперечные размеры окрашенных зон в заболони и спелой древесине отличались на 0,04–0,12 мм (от 3 до 11%). С учетом полученных данных был сделан промежуточный вы-

вод, что из-за резких различий проницаемости древесины осины заболонной и спелодревесных частей древесина данной породы мало подходит для контролируемого формирования текстуры древесины путем лазерной перфорации без дифференциации древесины по проницаемости. С учетом того, что в производственных условиях изготовление заготовок только из заболонной или из спелой древесины практически невозможно, то использование осино-вой древесины для этих целей малоприменимо. Поэтому в дальнейших исследованиях как более перспективное сырье для реализации разрабатываемой технологии использовалась только древесина березы.



Рис. 5. Локально окрашенный образец осины, состоящий из заболонной (верхняя половина) и спелодревесной (нижняя половина) частей

Fig. 5. Locally colored aspen sample consisting of sapwood (upper half) and ripe wood (lower half) parts

Для оценки влияния варьируемых параметров процесса пропитки древесины березы в соответствии с планом двухфакторного эксперимента (табл. 3) были построены диаграммы влияния входных параметров пропитки на выходные параметры – размеры локально окрашиваемых зон (рис. 6).

Таблица 3

Уровни варьирования двухфакторного эксперимента

Levels of variation of the two-factor experiment

№	Фактор	обозначение	Уровни варьирования		
			–1	0	1
1	Давление, МПа	P/ Factor A	0,1	0,2	0,3
2	Продолжительность пропитки, мин	T/ Factor B	10	20	30

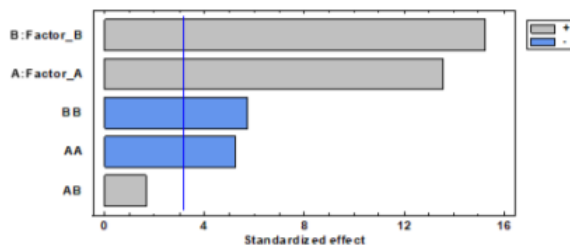


Рис. 6. Уровни влияния факторов на продвижение фронта пропитки вдоль волокон древесины березы

Fig. 6. Levels of influence of factors on the advance of the impregnation front along the fibers birch wood

Из анализа диаграммы, представленной на рис. 6, мы видим, что при пропитке древесины березы на размер фронта пропитки равное влияние оказывают как продолжительность пропитки, так и параметры давления.

Для выбора оптимальных параметров автоклавной пропитки перфорированной древесины березы в зависимости от требуемых размеров окрашиваемых зон была построена поверхность отклика, представленная на рис. 7, описываемая уравнением регрессии (1)

$$\begin{aligned} \text{Var}_1 = & -137,508 + 1447,03 \cdot \text{Factor_A} + 16,045 \cdot \text{Factor_B} - \\ & - 2865,4 \cdot \text{Factor_A}^2 + 6,335 \cdot \text{Factor_A} \cdot \text{Factor_B} - \\ & - 0,31248 \cdot \text{Factor_B}^2 \end{aligned} \quad (1)$$

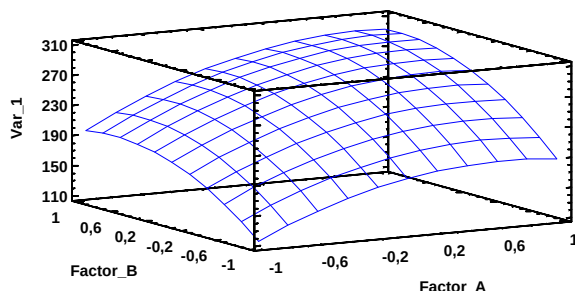


Рис. 7. Поверхность отклика выходного параметра:
Factor_A – давление, МПа; Factor_B – время пропитки, мин;
Var_1 – фронт пропитки

Fig. 7. The response surface of the output parameter:
Factor_A – pressure, MPa; Factor_B – impregnation time, min;
Var_1 – impregnation front

Для апробации полученных данных было решено провести опытные пропитки древесины березы. Для проектирования рисунка и подбора режимных параметров пропитки использовали уравнение регрессии, полученное на основе проведенных экспериментальных исследований.

Пропитка образцов осуществлялась по ранее описанной методике текстильным красителем. Отличительной особенностью процесса подготовки образцов была иная схема размещения прожигаемых отверстий. Размещение прожигаемых отверстий определялось с учетом запроектированного рисунка. Режимные параметры пропитки определялись в соответствии с запроектированными размерами пропитываемых зон.

Полученные в ходе опытной пропитки результаты показали (рис. 8), что несмотря на достаточно высокую изменчивость локальной проницаемости древесины березы, в общем и целом с определенными допусками разрабатываемая технология позволяет создавать природоподобный рисунок с заданной конфигурацией.

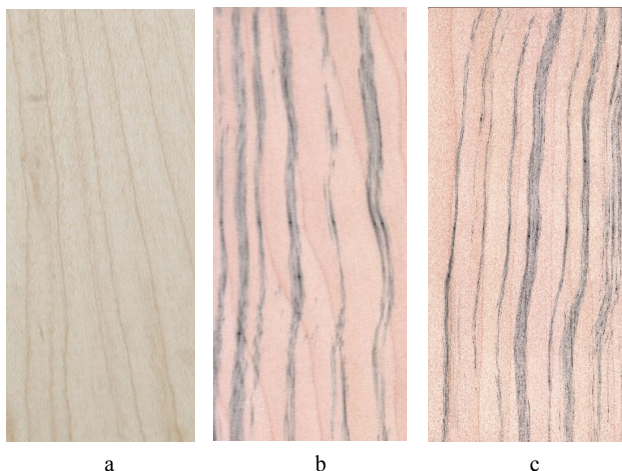


Рис. 8. Древесина березы: а – натуральный внешний вид; б, с – с искусственной текстурой, сформированной за счет лазерной перфорации и пропитки красителем

Fig. 8. Birch wood: a – natural appearance; b, c – with an artificial texture formed by laser perforation and dye impregnation

Заключение. На основании проведенных исследований установлена возможность формирования искусственной текстуры древесины березы за счет применения лазерной перфорации и последующей автоклавной пропитки древесины красителем.

В ходе исследований определено, что предлагаемая технология не подходит для управляемого формирования искусственной текстуры древесины осины из-за резкого различия проницаемости заболонной и спелодревесной частей ствола дерева.

Для древесины березы получены зависимости, которые позволяют проектировать искусственную текстуру древесины с учетом размещения прожигаемых каналов и режимных параметров пропитки древесины.

Разрабатываемая технология может быть с успехом применена в производстве погонажных изделий, строганого шпона, различных элементов отделки и предметов интерьера.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографические ссылки

Барташевич А.А., Игнатович Л.В., Шетько С.В., Гайдук С.С. Декорирование элементов мебели и столярно-строительных изделий методом тиснения текстуры древесины и имитацией резьбы // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. № 2. С. 197–203.

Беляев Е.Ю., Суходолова А.П., Соколов В.Л., Ермолин В.Н. Исследование крашения древесины. 1. Крашение водными растворами аминов // Химия растительного сырья. 1998. № 3. С. 55–57.

Беляев Е.Ю., Ермолин В.Н., Мелешко А.В., Соколов В.Л. Крашение древесины // Химия растительного сырья. 1999. № 2. С. 5–18.

Вернигорова В.Н., Саденко С.М. Технология и оборудование защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов: учеб. пособ. Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2015. 296 с.

Демина С.С. Современная технология декорирования методом ультрафиолетовой печати на древесине и композиционных древесных материалах // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2015. №42. С. 42–44.

Елисеев С.Г., Ермолин В.Н., Дук Д.В. Применение лазерной перфорации для повышения декоративных свойств древесины пихты сибирской (*Abies sibirica*) // ИВУЗ. Лесной журнал. 2023. № 5(395). С. 151–163. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-5-151-163.

Ермолин В.Н., Елисеев С.Г., Дук Д.В. Способ формирования текстуры древесины. Патент № 2764696С1 Российская Федерация, МПК В27К 3/08, № 2021113108; заявл. 05.05.2021; опубл. 19.01.2022. Бюл. № 2. 7 с.

Золотарчук С.В., Кушпит А.С., Гупало О.П. Применение водорастворимых красителей для крашения древесины мягких лиственных пород // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2003. № 7. С. 108–109.

Кирилина А.В., Ветошкин Ю.И. Художественно-декоративный вид отделки деталей из древесины лиственных пород методом тиснения // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 262.

Липианс Э., Маковскис Я. Способ окрашивания круглого лесоматериала. Патент № 2375171С2 Российская Федерация, МПК В27К 5/02, № 2007104971/02; заявл. 09.02.2007; опубл. 10.12.2009. Бюл. № 34. 5 с.

Медведев И.Н., Паринов Д.А., Шамаев В.А. Сквозная пропитка древесины с торца под давлением различными составами // Современные машины, оборудование и IT-решения лесопромышленного комплекса: теория и практика: мат. Всерос. науч.-практ. конф. Воронеж, 2021. С. 245–249. DOI: 10.34220/ММЕITSIC2021_245-249.

Намятов А.В., Баяндин М.А., Ермолин В.Н. Получение криволинейных заготовок из древесины березы с высокими декоративными свойствами // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 8-2. С. 301–304. DOI: 10.12737/15542.

Саерова К.В., Шайхутдинова А.Р., Сафин Р.Р. Искусственное состаривание древесины методом браширования // Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий: мат. Всерос. науч.-практ. конф. Кострома, 2021. Ч. 1. С. 146–148.

Сафин Р.Р., Белякова Е.А. Усовершенствование технологии термомодифицирования древесины ВIKOS-TMT // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15, № 13. С. 134–136.

Соколов В.Л., Баяндин М.А., Звонарева П.П. Способ облагораживания древесины. Патент № 2470770С1 Российская Федерация, МПК В27К 5/02, В27К 3/08, №2011128459/13; заявл. 08.07.2011; опубл. 27.12.2012. Бюл. № 36. 5 с.

Тарбеева Н.А., Рублева О.А. Обоснование технологических возможностей способа упрочняющей декоративной обработки низкотоварной древесины // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10, № 3. С. 145–154. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/14.

Трубников Н.А. Разработка технологии улучшения текстуры древесины мягких лиственных пород избирательным окрашиванием и прессованием: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2009. 166 с.

Урецкий Е.Е., Довгань А.С., Калугин В.А., Каткульский Э.Ю. Устройство для пропитки древесины. Патент на полезную модель № 24415U1 Российская Федерация, МПК В27К 3/08, № 2002107807/20; заявл. 01.04.2002; опубл. 10.08.2002. Бюл. № 22. 12 с.

Усачев С.В. Способ окрашивания древесины. Патент № 2194613С1 Российская Федерация, МПК В27К 5/02, В44D 5/00, D06P 3/60, №2001119669/04; заявл. 16.07.2001; опубл. 20.12.2002. Бюл. № 35. 7 с.

Черненко С.А., Бернат И.А. облагораживание древесины березы красителями методом торцевой пропитки под давлением. М.: ЦНИИ информации и

техн.-экон. исследований по лесной, целлюлозно-бум. и деревообрабатывающей пром-сти, 1968. 20 с.

Чимирус Ю.В. Способ облагораживания деревянных заготовок. Патент № 2099180С1 Российская Федерация, МПК В27К 5/00, В27К 9/00, №95116984/04; заявл. 05.10.1995; опубл. 20.12.1997. Бюл. № 8. 5 с.

Шмидт В. Протрава или окрашивания дерева в различные цвета и подделка под благородные по испытанным рецептам: руководство для мастерских и школ / под ред. К. Маркграфа. М.: Издательство А. Ф. Суховой, 1915. 28 с.

Bahchevandziev K., Mihajlovski N. Surface retention of polyurethane and acrylic coatings on impregnated spruce wood (*Picea abies* Karst) and comparison with some wood preservatives // *Baltic Forestry*. 2021. Vol. 27, no. 2. P. 266-270. DOI: 10.46490/BF223.

Baysal E., Degirmentepe S., Simsek H. Some surface properties of thermally modified scots pine after artificial weathering // *Maderas. Ciencia y tecnología*. 2014. Vol. 16, no. 3. P. 355–364. DOI: 10.4067/s0718-221x2014005000028.

Buksans E., Laiveniece L., Lubinskis V. Solid wood surface modification by charring and its impact on reaction to fire performance // *Engineering for Rural Development*. 2021. Vol. 20, no. 26. P. 899–905. DOI:10.22616/ERDev.2021.20.TF203.

Jaxel J., Liebner F.W., Hansmann C. Solvent-free dyeing of solid wood in water-saturated supercritical carbon dioxide // *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2020. Vol. 8, no. 14. P. 5446–5451. DOI: 10.3390/coatings10010077.

Kúdela J., Kubovský I., Andrejko M. Surface properties of beech wood after CO2 laser engraving // *Coatings*. 2020. Vol. 10, iss. 1. Art. no. 77. DOI: 10.3390/coatings10010077.

Li R., Xu W., Wang X.D.A., Wang C.G. Modeling and predicting of the color changes of wood surface during CO2 laser modification // *Journal of Cleaner Production*. 2018a. Vol. 183. P. 818–823. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.02.194.

Li Y.B., Shen J., Wang J.X., Deng F.J. Study on decorative properties of poplar wood impregnated with low molecular weight UF resin // *Forest Engineering*. 2018b. Vol. 34, iss. 1. P. 36–40. DOI:10.5555/20183154218.

Nath S., Waugh D., Ormondroyd G., Spear M., Pitman A., Sahoo S., Curling S., Mason P. CO2 laser interactions with wood tissues during single pulse laser-incision // *Optics & Laser Technology*. 2020. Vol. 126. Art. no. 106069. DOI: 10.1016/j.optlastec.2020.106069.

References

Bahchevandziev K., Mihajlovski N. Surface retention of polyurethane and acrylic coatings on impregnated spruce wood (*Picea abies* Karst) and comparison with some wood preservatives. *Baltic Forestry*, 2021, vol. 27, no. 2, pp. 266-270.5 DOI: 10.46490/BF223.

Bartashevich A.A., Ignatovich L.V., Shet'ko S.V., Gayduk S.S. Decoration of furniture elements and joinery products by stamping wood texture and imitation carving. *Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, nature management and processing of renewable resources*, 2018, no. 2, pp. 197–203. (In Russ.)

Baysal E., Degirmentepe S., Simsek H. Some surface properties of thermally modified scots pine after artificial weathering. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 2014, vol. 16, no. 3, pp. 355–364. DOI: 10.4067/s0718-221x2014005000028

Belyaev E.Yu., Sukhodolova A.P., Sokolov V.L., Ermolin V.N. Study of wood dyeing. 1. Dyeing with aqueous solutions of amines. *Chemistry of vegetable raw materials*, 1998, no. 3, pp. 55–57. (In Russ.)

Belyaev E.Yu., Ermolin V.N., Meleshko A.V., Sokolov V.L. Wood dyeing. *Chemistry of plant raw materials*, 1999, no. 2, pp. 5–18. (In Russ.)

Buksans E., Laiveniece L., Lubinskis V. Solid wood surface modification by charring and its impact on reaction to fire performance. *Engineering for Rural Development*, 2021, vol. 20, no. 26, pp. 899–905. DOI: 10.22616/ERDev.2021.20.TF203.

Chernenko S.A., Bernat I.A. Refinement of birch wood with dyes by the method of end impregnation under pressure. Moscow: Central scientific research. in-t of information and techn.-econ. research on the forest, pulp-paper and woodworking industry, 1968. 20 p. (In Russ.)

Chimiris Yu.V. Sposob oblagorazhivaniya derevyannykh zagotovok. Patent № 2099180C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B27K 5/00, B27K 9/00, №95116984/04; decl. 05.10.1995; publ. 20.12.1997. Bull. № 8. 5 p. (In Russ.)

Demina S.S. Modern technology of decoration by the method of ultraviolet printing on wood and composite wood materials. *Actual problems of the forest complex*, 2015, no. 42, pp. 42–44. (In Russ.)

Eliseev S.G., Ermolin V.N., Duk D.V. The use of laser perforation to enhance the decorative properties of Siberian fir wood (*Abies sibirica*). *IVUZ. Forestry journal*, 2023, no. № 5(395), pp. 151–163. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-5-151-163. (In Russ.)

Ermolin V.N., Eliseev S.G., Duk D.V. Sposob formirovaniya tekstury drevesiny. Patent № 2764696C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B27K 3/08, № 2021113108; decl. 05.05.2021; publ. 19.01.2022. Bull. № 2. 7 p. (In Russ.)

Jaxel J., Liebner F.W., Hansmann C. Solvent-free dyeing of solid wood in water-saturated supercritical carbon dioxide. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2020, vol. 8, no. 14, pp. 5446–5451. DOI: 10.3390/coatings10010077.

Kirilina A.V., Vetoshkin Yu.I. Artistic and decorative type of finishing of hardwood parts by embossing. *Modern problems of science and education*, 2015, no. 1-1, pp. 262. (In Russ.)

Kúdela J., Kubovský I., Andrejko M. Surface properties of beech wood after CO2 laser engraving. *Coatings*, 2020, vol. 10, no. 1, art.no. 77. DOI: 10.3390/coatings10010077.

Li R., Xu W., Wang X.D.A., Wang C.G. Modeling and predicting of the color changes of wood surface during CO₂ laser modification. *Journal of Cleaner Production*, 2018a, vol. 183, pp. 818–823. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.02.194.

Li Y.B., Shen J., Wang J.X., Deng F.J. Study on decorative properties of poplar wood impregnated with low molecular weight UF resin. *Forest Engineering*, 2018b, vol. 34, no. 1, pp. 36–40. DOI:10.5555/20183154218.

Lipshans E., Makovskis Ya. Sposob okrashivaniya kruglogo lesomateriala. Patent № 2375171C2 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B27K 5/02, № 2007104971/02; decl. 09.02.2007; publ. 10.12.2009. Bull. № 34. 5 p. (In Russ.)

Medvedev I.N., Parinov D.A., Shamaev V.A. Through impregnation of wood from the end face under pressure with various compositions. *Modern machines, equipment and IT solutions of the timber industry complex: theory and practice*: mat. of All-Russ. sci.-pract. conf. Voronezh, 2021, pp. 245–249. DOI: 10.34220/MMEITSIC2021_245-249. (In Russ.)

Namyatov A.V., Bayandin M.A., Ermolin V.N. Obtaining curved billets from birch wood with high decorative properties. *Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2015, vol. 3, no. 8-2, pp. 301–304. DOI: 10.12737/15542. (In Russ.)

Nath S., Waugh D., Ormondroyd G., Spear M., Pitman A., Sahoo S., Curling S., Mason CO₂ laser interactions with wood tissues during single pulse laser-incision. *Optics & Laser Technology*, 2020, vol. 126, art. no. 106069. DOI: 10.1016/j.optlastec.2020.106069.

Saerova K.V. Shaykhutdinova A.R., Safin R.R. Artificial aging of wood by brushing. *Research and development in the field of design and technology*: mat. of All-Russ. sci.-pract. conf. Kostroma, 2021, vol. 1, pp. 146–148. (In Russ.)

Safin R.R., Belyakova E.A. Improvement of BIOS-TMT wood thermomodification technology. *Bulletin of Kazan Technological University*, 2012, vol. 15, no. 13, pp. 134–136. (In Russ.)

Shmidt V. Mordant or staining wood in various colors and forgery for noble ones according to proven recipes: a guide for workshops and schools / ed. K. Markgraf. Moscow: Izdatel'stvo A. F. Sukhovoy, 1915. 28 p. (In Russ.)

Sokolov V.L., Bayandin M.A., Zvonareva P.P. Sposob oblagorazhivaniya drevesiny. Patent № 2470770C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B27K 5/02, B27K 3/08, №2011128459/13; decl. 08.07.2011; publ. 27.12.2012. Bull. № 36. 5 p. (In Russ.)

Tarbeeva N.A., Rubleva O.A. Substantiation of technological possibilities of the method of reinforcing decorative processing of low-grade wood. *IVUZ. Forestry journal*, 2020, vol. 10, no. 3, pp. 145–154. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/14. (In Russ.)

Trubnikov N.A. Development of technology for improving the texture of soft hardwood by selective staining and pressing: diss. ... Candidate of Technical Sciences. Voronezh, 2009. 166 p. (In Russ.)

Uretskiy E.E., Dovgan' A.S., Kalugin V.A., Katul'skiy E.Yu. Ustroystvo dlya propitki drevesiny. Patent na poleznuyu model' № 24415U1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B27K 3/08, № 2002107807/20; decl. 01.04.2002; publ. 10.08.2002. Bull. no. 22. 12 p. (In Russ.)

Usachev S.V. Sposob okrashivaniya drevesiny. Patent № 2194613C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B27K 5/02, B44D 5/00, D06P 3/60, №2001119669/04; decl. 16.07.2001; publ. 20.12.2002. Bull. № 35. 7 p. (In Russ.)

Vernigorova V.N., Sadenko S.M. Technology and equipment of protective and decorative coatings of wood and wood materials: textbook. Penza: Penza State University of Architecture and Construction, 2015. 296 p. (In Russ.)

Zolotarchuk S.V., Kushpit A.S., Gupalo O.P. Application of water-soluble dyes for dyeing soft hardwood wood. Actual problems of the forest complex, 2003, no. 7, pp. 108–109. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 05.12.2024

Елисеев С.Г., Ермолин В.Н., Дук Д.В. Формирование искусственной текстуры древесины лиственных рассеянно-сосудистых пород за счет лазерной перфорации // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 255. С. 357–374. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.357-374

Береза и осина являются наиболее распространенными лиственными породами на территории Российской Федерации. К недостаткам указанных пород можно отнести бледную окраску и невыразительную текстуру древесины. Одним из вариантов облагораживания такой древесины является формирование искусственной текстуры, которая обеспечит повышение декоративных свойств древесины, что позволит использовать ее в том числе для производства отделочных материалов и предметов интерьера, к которым предъявляются повышенные требования в части эстетических свойств. В представленной работе исследована возможность формирования искусственной текстуры древесины березы и осины за счет ее перфорации лазером с последующей автоклавной пропиткой текстильным красителем. Предлагаемый способ заключается в прожигании лазером каналов в древесине по специальной схеме (зависит от проекта текстуры) через которые при автоклавной пропитке происходит локальное окрашивание древесины. Текстура формируется за счет чередования окрашенных и не окрашенных участков на всю толщину заготовок. В целях обеспечения регулируемых размеров окрашиваемых локальных участков в древесине в работе исследованы особенности распространения пропиточного раствора в перфорированной лазером древесине. В ходе исследований установлено, что древесина осины из-за различной проницаемости спелой древесины и заболони мало пригодна для контролируемого формирования текстуры по предлагаемой технологии. Для древесины березы подтверждена возможность управляемого формирования

искусственной текстуры древесины за счет лазерной перфорации с последующей ее пропиткой текстильным красителем. Получены зависимости формирования размеров окрашенных зон, прилегающих к лазерным перфорациям, от структурного направления, давления и продолжительности автоклавной пропитки красителем.

Ключевые слова: береза, осина, пропитка, лазер, текстура, искусственная текстура, крашение древесины.

Eliseev S.G., Duk D.V., Ermolin V.N. Formation of artificial wood texture of deciduous diffuse vascular rocks due to laser perforation. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2025, iss. 255, pp. 357–374 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.357-374

Birch and aspen are the most common hardwoods in the Russian Federation. The disadvantages of these breeds include the pale color and featureless texture of the wood. One of the ways to refine such wood is to form an artificial texture. The artificial texture will provide an increase in the decorative properties of wood, which will expand the scope of its use, including for the production of finishing materials and interior items, which are subject to increased requirements in terms of aesthetic properties. In the presented work, the possibility of forming an artificial texture of birch and aspen wood due to its laser perforation followed by autoclave impregnation with a textile dye is investigated. The proposed method consists in laser-burning channels in wood according to a special scheme (depending on the texture design) through which local staining of wood occurs during autoclave impregnation. The texture is formed by alternating colored and unpainted areas over the entire thickness of the workpieces. In order to ensure the adjustable size of the local areas to be painted in wood, the paper examines the distribution features of the impregnation solution in laser-perforated wood. In the course of research, it was found that aspen wood, due to the different permeability of ripe wood and sapwood, is not suitable for controlled texture formation using the proposed technology. For birch wood, the possibility of controlled formation of artificial wood texture by laser perforation followed by its impregnation with textile dye has been confirmed. The dependences of the formation of the sizes of the colored zones adjacent to the laser perforations are obtained depending on the structural direction, pressure and duration of autoclave impregnation with the dye.

Key words: birch, aspen, impregnating, laser, texture, artificial texture, wood dyeing.

ЕЛИСЕЕВ Сергей Геннадьевич – старший преподаватель Сибирского государственного университета науки и технологий им. М.Ф. Решетнёва, кандидат технических наук. ResearcherID: ABF-2131-2020. ORCID: 0000-0002-7746-0158.

660031, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», д. 31, г. Красноярск, Россия. E-mail: s-555s@yandex.ru

ELISEEV Sergey G. – PhD (Technical), Senior Lecturer of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. ResearcherID: ABF-2131-2020. ORCID: 0000-0002-7746-0158.

660031. Av. named after the newspaper «Krasnoyarsk Worker», 31. Krasnoyarsk. Russia. E-mail: s-555s@yandex.ru

ДУК Данил Владимирович – лаборант, аспирант Сибирского государственного университета науки и технологий им. М.Ф. Решетнёва. ResearcherID: AIF-4170-2022. ORCID 0000-0001-9821-0927.

660031, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», д. 31, г. Красноярск, Россия. E-mail: danil2111991er@mail.ru

DUK Danil V. – laboratory assistant, PhD student, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. ResearcherID: AIF-4170-2022. ORCID: 0000-0001-9821-0927.

660031. Av. named after the newspaper «Krasnoyarsk Worker», 31. Krasnoyarsk. Russia. E-mail: danil2111991er@mail.ru

ЕРМОЛИН Владимир Николаевич – профессор Сибирского государственного университета науки и технологий им. М.Ф. Решетнёва, доктор технических наук. ResearcherID: X-9597-2019. ORCID: 0000-0002-2113-4142

660031, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», д. 31, г. Красноярск, Россия. E-mail: vnermolin@yandex.ru

ERMOLIN Vladimir N. – DSc (Technical), Professor of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. ResearcherID: X-9597-2019. ORCID: 0000-0002-2113-4142.

660031. Av. named after the newspaper «Krasnoyarsk Worker», 31. Krasnoyarsk. Russia. E-mail: vnermolin@yandex.ru