

ШЕЙКМАН Дмитрий Викторович

**ТЕХНОЛОГИЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ
МЯГКИХ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД И БЕРЕЗЫ
ДЛЯ НАПОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ**

05.21.05 – Дреvesиноведение, технология и оборудование
деревопереработки

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург 2017

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уральский государственный лесотехнический университет»

Научный руководитель:	Кошелева Надежда Андреевна кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», доцент кафедры механической обработки древесины и производственной безопасности
Официальные оппоненты:	Бирман Алексей Романович доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова», профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств Рублева Ольга Анатольевна кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», доцент кафедры машин и технологии деревообработки
Ведущая организация:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный инженерно-технологический университет» (ФГБОУ ВО БГИТУ)

Защита диссертации состоится «12» октября 2017 года в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.02 на базе ФГБОУ ВО Уральского государственного лесотехнического университета по адресу: 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, ауд. 401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» <http://www.usfeu.ru>.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, доцент

Шишкина Елена Евгеньевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Основными направлениями экономического и социального развития России на ближайшие годы предусматривается обеспечить существенную экономию лесоматериалов в строительстве, значительно повысить комплексность переработки древесного сырья, шире использовать древесину лиственных пород.

Одним из наиболее крупных потребителей древесины, требующих расхода большого количества ценных твердолиственных пород, является производство натуральных покрытий для паркетного пола. Использование в этом качестве древесины мягких лиственных пород и березы приводит к значительному уменьшению срока службы паркета.

Технология модифицирования наиболее эффективна для внедрения в Уральском регионе, где по статистике имеется большой запас древесины мягких лиственных пород и березы. В регионе сосредоточено более 769,1 млн. м³ спелых и перестойных насаждений, из которых треть насаждений составляет береза и десятую часть - осина. Перечисленные породы не обладают высокими декоративными, физико-механическими и эксплуатационными свойствами и в настоящее время мало используются в деревообработке.

Решение задачи увеличения срока эксплуатации напольных покрытий может быть достигнуто за счет модификации для улучшения физико-механических свойств древесины мягких лиственных пород и березы.

Все вышеизложенное послужило основанием для проведения исследований, направленных на разработку технологии и режимов производства паркета с лицевым покрытием из модифицированной древесины мягких лиственных пород и березы.

Цель работы: повышение эффективности производства напольного покрытия.

Научной новизной работы обладают:

- теоретическое обоснование стойкости напольного покрытия под действием эксплуатационных нагрузок;
- полученные математические модели, реально описывающие физико-механические показатели модифицированной древесины;
- теоретически и экспериментально получено паркетное покрытие из древесины мягких лиственных пород, у которого наружные уплотненные и модифицированные введенным полимером граничные слои древесины, с сохранением в средней части натуральной неуплотненной и непропитанной древесины;
- разработанная технология изготовления паркетных изделий путем модифицирования поверхностного износостойкого слоя, с насыщением его полимерной композицией и последующим уплотнением, эффективность подтверждена практическим применением;
- разработанная конструкция вальцового термопрокатного станка проходного типа.

Практическая значимость работы состоит в том, что полученные в работе технологические параметры легли в основу разработки технологического про-

цесса изготовления напольного покрытия с износостойким лицевым слоем из модифицированной древесины мягких лиственных пород и березы.

Новый материал из древесины березы и осины обладает повышенными физико-механическими свойствами и находит применение в строительстве в качестве напольного покрытия в жилых и общественных зданиях, позволяя снизить себестоимость жилья и шире использовать произрастающие на Урале породы древесины.

Промышленная реализация результатов исследований может быть внедрена на деревообрабатывающих предприятиях и в паркетном производстве.

Методы исследования.

Исследования проводились на основе теоретического и экспериментального изучения процесса модифицирования древесины мягких лиственных пород и березы. Полученные результаты обрабатывались методом математической статистики с использованием стандартных пакетов прикладных программ.

Объект исследования.

Объектом исследований является паркетная планка с модифицированным износостойким слоем из древесины мягких лиственных пород и березы.

Предметом исследования являются способ получения, технологический режим, физико-механические свойства модифицированного износостойкого слоя паркета из древесины мягких лиственных пород, соответствующие качеству паркетных изделий на уровне требований действующих стандартов.

Научные положения, выносимые на защиту:

- теоретическое обоснование допускаемых контактных напряжений и деформаций при исследовании прочности паркета из модифицированной древесины лиственных пород;

- регрессионные модели взаимосвязи формостабильности, статической твердости, предела прочности при статическом изгибе от температуры пропиточного состава, времени выдержки до прессования и величины упрессовки;

- результаты экспериментальных показателей физико-механических свойств модифицированного лицевого слоя покрытия паркета из древесины березы и осины;

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается корректными допущениями при замене реальных процессов их математическими моделями, современными средствами научного исследования; оценкой адекватности регрессионных моделей, подтвержденной в соответствии с общепринятыми методиками, приемлемым совпадением результатов теоретических исследований с экспериментальными данными; положительными результатами промышленной апробации паркетной доски, экономической эффективностью применения разработанной технологии в производстве.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на семинарах и научно-практических конференциях: на Международном Евразийском симпозиуме «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века», в рамках Евро-Азиатского лесопромышленного форума (Екатеринбург, 2009 г, 2016 г.); на программе «Участник молодежного научно-инновационного

конкурса 2009» - Международной научно-практической конференции «Интеграция фундаментальной науки и высшего лесотехнического образования по проблемам ускоренного воспроизводства, использования и модификации древесины» (Екатеринбург, 2009 г.); ежегодной научно-практической конференции УГЛТУ 2009-2010 гг; VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России» и конкурса по программе «УМНИК» (Екатеринбург, 2012 г.); IX Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России» (Екатеринбург, 2013 г.); X Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России» (Екатеринбург, 2014 г.), на Московском Международном салоне образования (Москва 15-18 апреля 2015 г.); на XI Международной научно-технической конференции Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики. (Екатеринбург, УГЛТУ, 2017 г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 15 печатных работ, из них 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 разделов, заключения, списка использованной литературы и приложения. Общий объем диссертации 207 страниц, из них 181 страница основного текста. Работа содержит 43 рисунка, 25 таблиц, 9 приложений, список использованной литературы включает 128 наименований, из них 12 на иностранных языках.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность исследования, определены цель и задачи исследования; сформулированы научные положения, выносимые на защиту; раскрыта новизна работы и научных результатов; обоснованы выводы и рекомендации. Введение содержит данные о значимости результатов исследований для науки и практики, месте проведения работы и ее апробации, внедрении полученных результатов, технологии модифицирования древесины мягких лиственных пород, публикациях автора и общую характеристику работы.

Первая глава посвящена обзору научно-технической литературы по анализу видов модификации древесины мягких лиственных пород и березы, в частности термомеханического модифицирования, технологий их производства. Рассмотрены способы и технологические особенности модификации мягких лиственных пород древесины с целью улучшения физико-механических свойств, в частности твердости и износостойкости.

Особая роль отведена вопросам взаимодействия древесины и полимерных составов. Исследованиями в области модификации древесины различными способами и составами в последние десятилетия занимались такие ученые и практики, как Н.И. Винник, П.Н. Хухрянский, М.С. Мовнин, Ю.А. Золднерс, К.А. Роценс, В.М. Хрулев, В.А. Шамаев, Г.М. Шутов, А.С. Фрейдин и другие. Анализ результатов исследований, проведенных в области модифицирования дре-

весины, показывает, что большинство исследованных пропиточных веществ либо не соответствуют повышенным экологическим и гигиеническим требованиям, предъявляемым к изделиям из древесины, либо экономически затратные. Поэтому основная задача настоящих исследований заключается в поиске и использовании дешевых, малотоксичных модификаторов, легко проникающих в древесину и обеспечивающих повышение физико-механических свойств, таких как: износостойкость, статическая твердость, водостойкость и стабильность формы, имеющих важное значение для древесных покрытий пола.

На основе комплексного анализа информации в области модифицирования древесины определены **задачи проводимого исследования**: на базе теоретических и экспериментальных исследований пропитки и прессования древесины разработать технологию модификации древесины для получения паркета с износостойким слоем из древесины мягких лиственных пород и березы, произрастающих в Урало-Сибирском регионе.

Для достижения поставленной задачи необходимо:

- обосновать теоретически механизм пропитки древесины полимерными составами и степень уплотнения древесины;
- определить рациональный вид пропиточной композиции, обеспечивающей оптимальную глубину проникновения в древесину;
- определить наиболее эффективный способ и оптимальные режимы пропитки древесины мягких лиственных пород и березы;
- исследовать влияние основных технологических факторов на физико-механические свойства модифицированной древесины;
- разработать конструкцию термопрокатного станка для уплотнения древесины;
- разработать технологический процесс модифицирования древесины;
- исследовать физико-механические свойства лицевого покрытия паркета из модифицированной древесины;
- провести промышленную апробацию изготовления паркета из модифицированного материала на основе древесины мягких лиственных пород и березы;
- рассчитать экономическую эффективность разработки.

Вторая глава посвящена теоретическому обоснованию создания материала с улучшенными физико-механическими свойствами. Для анализа предложено рассмотреть влияние вида и свойств пропиточных составов на смачиваемость и глубину пропитки древесины и определения оптимальной величины степени поглощения древесиной пропитывающего материала. Проанализировать относительную деформацию – напряжение при сжатии поперек волокон. Представим паркетную планку в виде трехслойной панели (рисунок 1), у которой в качестве среднего слоя



Рисунок 1 - Модель паркетной планки модифицированной древесины

будет служить натуральная непропитанная и неуплотненная древесина, а в качестве наружных слоев будут два уплотненных, из которых лицевой эксплуатационный слой пропитан полимерным составом.

Во время эксплуатации изделия наружные слои воспринимают нормальные напряжения, вызванные изгибающим моментом и, вместе со средним слоем, местные сосредоточенные нагрузки.

Теоретической основой исследования прочности паркета при действии эксплуатационных нагрузок является решение контактной задачи теории упругости (рисунок 2).

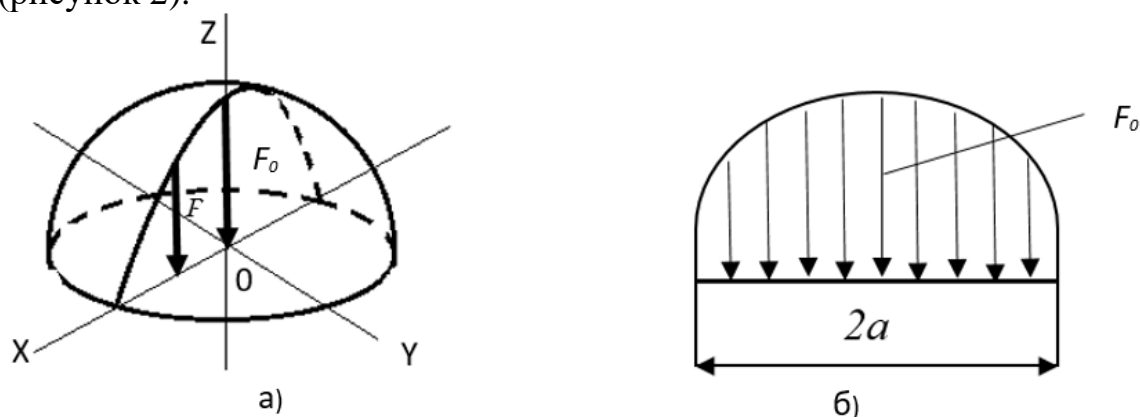


Рисунок 2 – Распределение контактных напряжений по площадке:

где F – давление в произвольной точке площадки контакта, кН;

F_0 – максимальное давление, возникающее в центре контакта, кН;

$2a$ – диаметр площадки контакта, мм.

Характеристикам модифицированного материала планки и радиусу кривизны ее поверхности присвоим индекс 2:

$E_{2\sigma} = 441$ МПа – модуль упругости материала в поперечном направлении;

$\mu_2 = \mu_{0;90} = 0,018$ – коэффициент Пуассона вдоль волокон при действии напряжений, направленных поперек волокон;

$R_2 = \infty$ – радиус кривизны плоской поверхности.

Характеристикам стального шара присвоим индекс 1:

$E_1 = 2,0 \cdot 10^5$ МПа – модуль упругости стали;

$\mu_1 = 0,3$ – коэффициент Пуассона;

$R_1 = 0,03$ м – радиус кривизны шара. Такой радиус имеют опоры и пуансон, при испытаниях древесины.

Решение задачи Герца о сжатии двух шаров силами F даёт следующие результаты. Площадка контакта ограничена плоской окружностью радиуса

$$a = 0,9086 \sqrt[3]{F\eta\rho}. \quad (1)$$

Здесь $\eta = (1 - \mu_1^2)/E_1 + (1 - \mu_2^2)/E_2$ – приведённая упругая постоянная материалов; E_1, E_2 – модули упругости контактирующих тел; μ_1, μ_2 – коэффициенты Пуассона; R_1, R_2 – радиусы шаров.

Максимальные контактные напряжения, возникающие в центре области контакта, равны

$$p_0 = 0,5784 \sqrt[3]{F/(\eta\rho)^2}. \quad (2)$$

Прочность обеспечена, когда максимальные напряжения не превышают меньшего из пределов прочности контактирующих тел

$$p_0 = 0,5784 \sqrt[3]{F/(\eta\rho)^2} \leq \sigma_B. \quad (3)$$

Допустимое значение сил, сдавливающих контактирующие тела, равно

$$[F] = 5,168 \sigma^3 \eta^2 \rho^2. \quad (4)$$

При вдавливании сферы в полупространство, ограниченное плоскостью, радиус кривизны плоскости $R_2 = \infty$, приведённый радиус $\rho = R_1$. Формула для определения допускаемого усилия вдавливания примет вид

$$[F] = 5,168 \sigma^3 \eta^2 R_1^2. \quad (5)$$

Назначение допускаемых напряжений зависит от условий эксплуатации объекта, поэтому на рисунке 3 даны графики зависимости допускаемой силы $[F]$ от допускаемых напряжений $[\sigma]$ для модифицированной и натуральной берёзы.

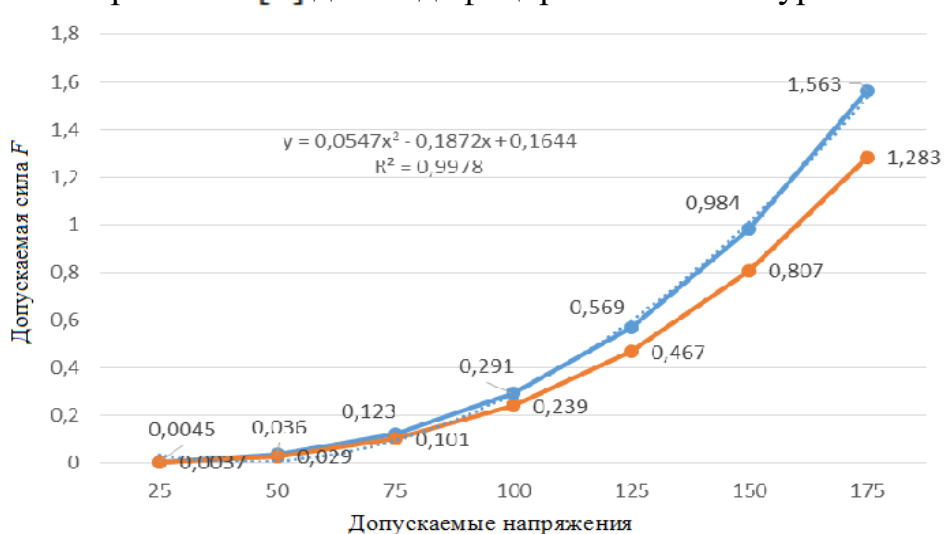


Рисунок 3 - Графики зависимости допускаемой силы $[F]$ от допускаемых напряжений $[\sigma]$ для модифицированной и натуральной берёзы

Расчет допускаемых контактных напряжений, в достаточной степени отражает твердость и износостойкость модифицированной древесины.

По результатам теоретических исследований процесса модифицирования древесины можно сделать следующие выводы:

1. При модификации сухой древесины пропитывающими составами на основе отверждающихся при повышенных температурах смол преобладают пропитка и движение пропитывающих веществ под действием капиллярного давления после нанесения состава на поверхность древесины, а также незначительно - под действием избыточного давления при прессовании древесины. Для обеспечения качественного модифицирования необходимо использовать пропиточные составы, хорошо смачивающие древесину и позволяющие регулировать, при необходимости, вязкость и температуру, чтобы достичь требуемой глубины пропитки.

2. Паркетную планку, полученную в процессе модифицирования можно рассматривать как трехслойную панель, у которой наружные, один пропитанный и оба уплотненных слоя, воспринимают основные нагрузки в процессе эксплуата-

ции паркета и имеют повышенные физико-механические характеристики, зависящие от глубины пропитки и степени уплотнения древесины и превышающие значения аналогичных характеристик среднего слоя.

3. При термоуплотнении необходимо устанавливать оптимальное усилие прессования с учетом допускаемой деформации древесины, чтобы не допустить разрушения структуры древесины, а значит снижения механических показателей, и в то же время достичь необходимой степени уплотнения и повышения твердости.

4. Насыщение поверхностного слоя паркетной планки пропиточной композицией в процессе полимеризации и уплотнения приводит к образованию прочного поверхностного слоя, что позволяет улучшить его физико-механические свойства.

5. Рассмотренные теоретические предпосылки создания паркетной планки из древесины мягких лиственных пород и березы с износостойким слоем нуждаются в экспериментальном подтверждении.

6. Создание технологии обработки древесины для напольных покрытий способом непрерывного прессования является актуальной задачей.

Для детального решения описанных проблем необходимо провести экспериментальные исследования.

В **третьей главе** дается характеристика используемых материалов, применяемых приборов и оборудования, а также представлены общие методические положения проведения экспериментов и обработки их результатов, методические сетки, устанавливающие состав и условия проведения экспериментов. Объектами исследований являлись образцы натуральной и модифицированной составами (красящий состав на основе алкидного лака ПФ-053, ТУ 2311-357-05800142-2010 (разработка кафедры МОД УГЛТУ), акриловый состав «Древозащита ВАК-48Д Ольвия tex» (ТУ 2316-004-45500214-2001) и др.) древесины березы и осины, изготовленные в лабораторных и промышленных условиях. Методические сетки проведения различных исследований, составленные на основе теоретического анализа процесса модифицирования древесины и результатов предварительных экспериментов, определение технологических и физико-механических показателей в соответствии с ГОСТ позволяют получить достоверные результаты проведенных исследований.

Четвертая глава «Исследование технологических режимов модифицирования» посвящена выявлению факторов влияющих на эксплуатационные свойства паркета, приведены данные экспериментальных исследований по ряду направлений:

1. Определено влияние вязкости пропитывающих составов на смачивание поверхности древесины и степень проникновения их в древесину (рисунок 4).

Определено влияние способа и режимов пропитки на степень проникновения пропитывающих составов в древесину. Необходимость специального дорогостоящего, сложного в обслуживании оборудования, а также трудоемкость процессов пропитки и большой расход состава ограничивают применение способов горяче-холодных ванн и вакуум-атмосферное давление в деревообработке, для дальнейшего исследования процесса модифицирования древесины использовался способ поверхностной пропитки.

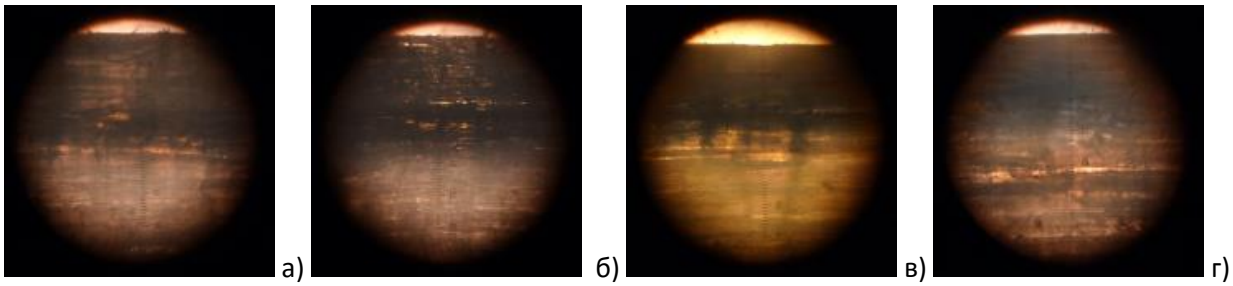


Рисунок 4 – Фотографии поперечных срезов древесины березы и осины, пропитанных акриловым составом на основе ВАК-48Д (а, б) и алкидным составом на основе ПФ-053 (в, г)

2. Определено влияние режимов модифицирования на формостабильность древесины. Формостабильность в пределах 0,6 -1,3 % для паркетной планки толщиной 14 мм составляет всего 0,084 – 0,182 мм, что находится в пределах поля допуска в соответствии с требованиями ГОСТ 862.1-85, на паркет ($\pm 0,2$ мм).
3. Определено влияние режимов модифицирования на статическую твердость древесины (рисунок 5).

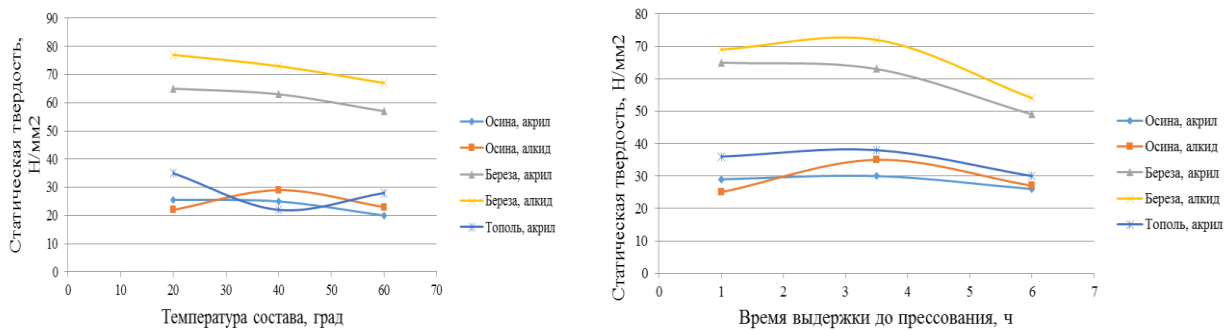


Рисунок 5 - Зависимость статической твердости модифицированной древесины от температуры пропитывающего состава и времени выдержки до прессования

4. Определено влияние режимов модифицирования на предел прочности при статическом изгибе древесины.
5. Проведена статистическая обработка экспериментальных данных, на основании которой были получены уравнения регрессии второго порядка, адекватно описывающие физико-механические свойства модифицированной древесины мягких лиственных пород и березы.

Математические модели модифицированной древесины имеют следующий вид:

$$y_1 = 1,36 + 0,24x_1 + 0,01x_2 + 0,02x_3 - 0,03x_1x_2 - 0,10x_1x_3 - 0,14x_2x_3 - 0,61x_1^2 + 0,53x_2^2 - 0,26x_3^2 \quad (6)$$

$$y_2 = 115,79 - 0,0007 x_1^2 + 0,048 x_2^2 - 0,06 x_3^2 - 0,531 x_1 - 2,18 x_2 - 2,98 x_3 + 0,92 x_2 x_3 \quad (7)$$

$$y_3 = 1,52 - 0,12 x_1 + 3,14 x_3 - 0,06 x_1^2 + 0,07 x_2^2 - 0,54 x_2 - 0,76 x_3^2 \quad (8)$$

$$y_4 = 2,60 - 0,01 x_1 - 0,46 x_2 + 0,002 x_1 x_2 - 0,0002 x_1^2 + 0,068 x_2^2 - 0,44 x_3^2 - 1,76 x_3 \quad (9)$$

$$y_5 = 2,06 - 0,02 x_1 - 0,12 x_2 - 0,003 x_1 x_2 + 0,006 x_1 x_3 - 1,46 x_3 - 0,00015 x_3^2 + 0,40 x_3 \quad (10)$$

Формулы справедливы для условий:

$$x_1=20\div 60\text{ }^{\circ}\text{C}; x_2=1\div 6\text{ ч}; x_3=1\div 3\text{ мм.}$$

где x_1 – температура пропитывающего состава, $^{\circ}\text{C}$;

x_2 – время выдержки, ч;

x_3 – упрессовка, мм.

Полученные математические модели использовались для определения рациональных значений режима создания модифицированного слоя древесины (рисунок 6).

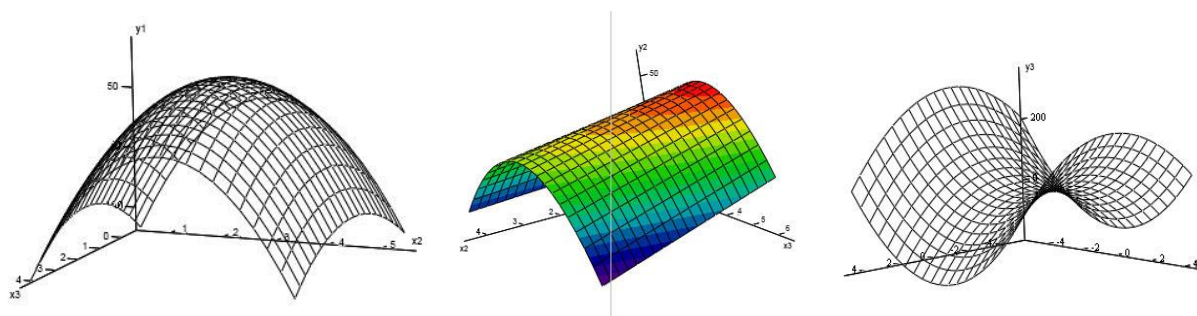


Рисунок 6 – Графики поверхности 3М диаграммы рассеяния взаимосвязи между тремя переменными x_1 , x_2 , x_3 .

Рациональные значения параметров создания модифицированного слоя древесины представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Рациональные параметры режима модифицирования древесины березы и осины

Параметры режима модифицирования	Порода	
	Осина	Береза
Время выдержки до прессования, ч	2	3,5
Упрессовка, мм	2,2	2
Температура пропиточного состава, $^{\circ}\text{C}$	20±2	20±2

В результате проведенных исследований технологических режимов модифицирования древесины можно сделать следующие выводы:

1. Модифицированная древесина по физико-механическим свойствам отличается от натуральной, причем эти свойства не являются постоянными, их можно целенаправленно регулировать в процессе модификации, что позволяет изготавливать покрытия для пола с повышенной прочностью и эксплуатационной стойкостью из древесины мягких лиственных пород и березы. Это дает возможность планировать и осуществлять наиболее оптимальные варианты технологического процесса, обеспечивающие выпуск высокопрочных и долговечных покрытий для пола.

2. Для обеспечения качественного модифицирования древесины необходимо использовать пропитывающие составы, хорошо смачивающие древесину, позволяющие регулировать вязкость и температуру, чтобы достичь требуемой глубины пропитки – толщины эксплуатационного слоя паркета.

3. При сравнении трех изученных способов пропитки для модификации древесины по степени поглощения пропиточного состава можно сказать, что при способе поверхностной пропитки древесина березы и осины поглощает пропиточные составы в среднем в количестве 2,38-2,97 %, что в 2,5-3 раза меньше, чем при способах горяче-холодных ванн (6,78 %) и вакуум-атмосферное давление (7,47 %), так как при способе поверхностной пропитки проникновение состава в древесину происходит только со стороны одной лицевой эксплуатируемой поверхности паркета. Это позволяет значительно сократить расход пропиточного состава и снизить стоимость паркетного покрытия.

4. Модифицирование древесины с использованием способа поверхностной пропитки позволяет получить требуемую толщину эксплуатационного слоя паркетной планки из древесины осины и березы.

В ходе проведенных исследований по модифицированию древесины мягких лиственных пород и березы было изучено влияние таких факторов, как температура пропиточного состава, время выдержки после нанесения пропиточного состава до прессования и величина упрессовки на физико-механические показатели модифицированного материала.

5. Результаты проведенных экспериментов по изучению влияния режимных параметров процесса модифицирования на физико-механические свойства модифицированной древесины показали, что практически при всех сочетаниях параметров режима технологического процесса модифицирования лучшие данные по статической твердости, прочности на изгиб и формостабильности имеет древесина березы, пропитанная алкидным составом ПФ-053. Древесина тополя, пропитанная акриловым составом ВАК-48Д, после модификации поверхностного слоя имела низкие и нестабильные показатели, пропитывалась и окрашивалась неравномерно, поэтому в дальнейших исследованиях не использовалась и не рекомендуется для изготовления напольных покрытий, хотя может применяться в изделиях, не требующих высокой прочности и твердости.

6. Проведенные исследования подтверждают возможность эффективного модифицирования древесины мягких лиственных пород и березы пропиткой полимерными составами с последующим термоуплотнением с целью применения полученного материала с повышенными физико-механическими свойствами для изготовления напольных паркетных покрытий.

Пятая глава посвящена исследованиям физико-механических и эксплуатационных свойств модифицированной древесины березы и осины.

Определяющими факторами при выборе материала для покрытий пола являются статическая и ударная твердость, от которых во многом зависят основные эксплуатационные показатели паркета и его долговечность.

В результате модификации древесины березы и осины за счет пропитки волокон древесины полимерными составами и последующего уплотнения при температуре выше 100 °С поверхностный слой паркетной планки превращается в композиционный материал, обладающий улучшенными физико-механическими свойствами, в том числе и повышенной твердостью (рисунок 7).

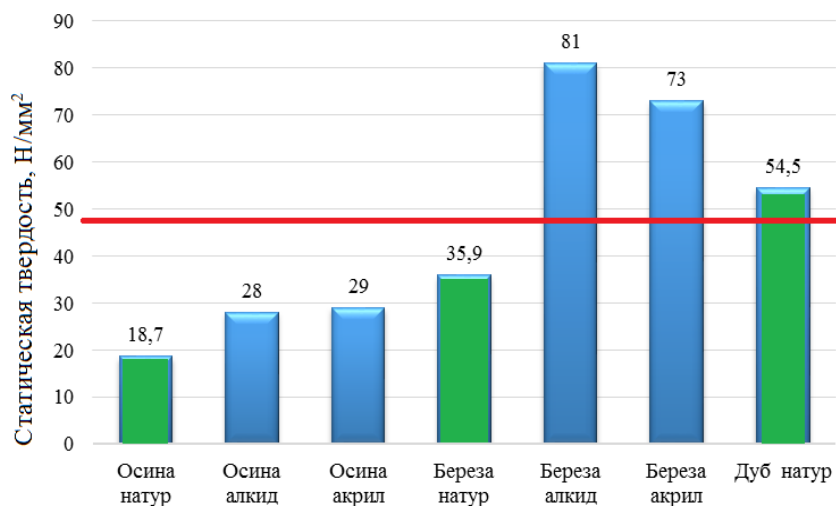


Рисунок 7 - Сравнительная характеристика статической твердости дуба и модифицированной и немодифицированной древесины осины и березы

Пропиточные составы, заполняющие поры и сосуды древесины и пропитывающие стенки клеток, обеспечивают повышение устойчивости стенок к механическим воздействиям. Твердость древесины осины после модификации выросла в среднем на 52,4 %, значительно приблизившись к верхней границе статической твердости мягких лиственных пород (49 Н/мм²), но так и не достигла твердости эталонного дуба, что объясняется эластичностью волокон и строением древесины осины, а также существенно меньшей твердостью натуральной древесины осины (18,7 Н/мм²) не только по сравнению с дубом (54,5 Н/мм²), но и с древесиной березы (35,9 Н/мм²). В тоже время статическая твердость древесины березы в результате модификации увеличилась более чем в два раза и достигла при пропитке акриловым и алкидным составом соответственно 73 Н/мм² и 81 Н/мм², что намного превышает статическую твердость древесины дуба.

В результате модификации происходит повышение ударной твердости древесины березы и осины практически до одинаковых показателей: 0,97 Дж/см² у древесины березы и 1,05 Дж/см² у древесины осины, пропитанных алкидным составом, и 1,08 Дж/см² и 1,1 Дж/см² соответственно при пропитке акриловым составом. Все полученные показатели ударной твердости модифицированной древесины осины и березы превышают ударную твердость древесины дуба в среднем на 9,3 %.

Образцы с модифицированным слоем древесины имеют значительно лучшие показатели при испытании на статический изгиб. Показатели осины после модификации увеличились на 11,6 % и 27,0 %, но не достигли прочности на изгиб древесины дуба (рисунок 8). Прочность на изгиб у древесины березы изначально выше прочности древесины дуба из-за его хрупкости, а после модифицирования возрастает на 54,5 % и 56,4 % и достигает 172 МПа при пропитке алкидным составом на основе ПФ-053.

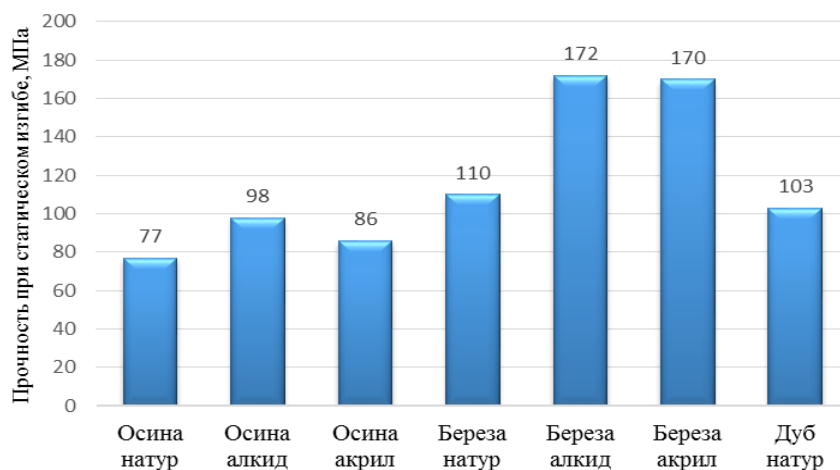


Рисунок 8 - Сравнительная характеристика прочности при статическом изгибе модифицированной и натуральной древесины осины, березы и дуба

Прочность древесины при местном смятии древесины поперек волокон, называемое иногда контактной прочностью древесины, после модифицирования акриловым составом ВАК-48Д повышается у осины на 20 %, а у березы на 31,3 %. Прочность древесины, пропитанной алкидным составом на основе ПФ-053, увеличивается еще больше, у осины на 44,4 %, а березы на 47%, что можно объяснить созданием более твердого и прочного слоя. По полученным показателям древесина осины выровнялась с натуральной древесиной дуба (9,1 Н/мм²), а древесина березы превзошла его на 34 % (12,2 Н/мм²), что свидетельствует об эффективном влиянии модификации древесины осины и березы на контактную прочность паркета.

Полученные данные свидетельствуют о существенном положительном влиянии модификации древесины на ее ударную вязкость, которая при пропитке осины акриловым составом увеличивается на 28,2 % и составляет 10,9 кДж/м², а при пропитке березы увеличение значительно меньше, всего 14 %, и составляет 10,6 кДж/м². Эти показатели выше по сравнению с данными при пропитке алкидными составами. Ударная вязкость древесины осины повысилась всего на 9,4 % и достигла 9,3 кДж/м², а у древесины березы соответственно 7,5 % и 10,0 кДж/м², что связано с более жесткой структурой и меньшей пластичностью алкидных составов на органических растворителях после отверждения. Кроме того, древесина осины по сравнению с березой имеет меньшую плотность и более эластичные древесные волокна, хорошо воспринимающие ударные нагрузки.

Для покрытий пола прочность на истирание является главной эксплуатационной характеристикой, так как определяет срок службы или долговечность напольного покрытия (рисунок 9).

Дуб является эталонным материалом для штучного паркета, его стойкость на износ составляет 13 %. Из модифицированной алкидным составом древесины ближе всего к дубу находится береза, истираемость которой 14 %. Модифицированная осина уступает по этому показателю и дубу, и клену, ее стойкость на износ составляет 17,5 %, что является хорошим показателем по сравнению с натуральной древе-

синой осины, у которой стойкость на износ составляет 26 %. Истираемость образцов из древесины березы и осины с лицевым слоем, пропитанным акриловым составом ВАК-48Д, и имеющим меньшую твердость, на 5 - 6 % больше, чем при пропитке алкидным составом на основе ПФ-053. Повысить стойкость на износ древесины осины можно за счет большего уплотнения при прессовании и повышения твердости, но возникает опасность сильного смятия волокон и разрушения структуры древесины, а значит снижения прочностных показателей.

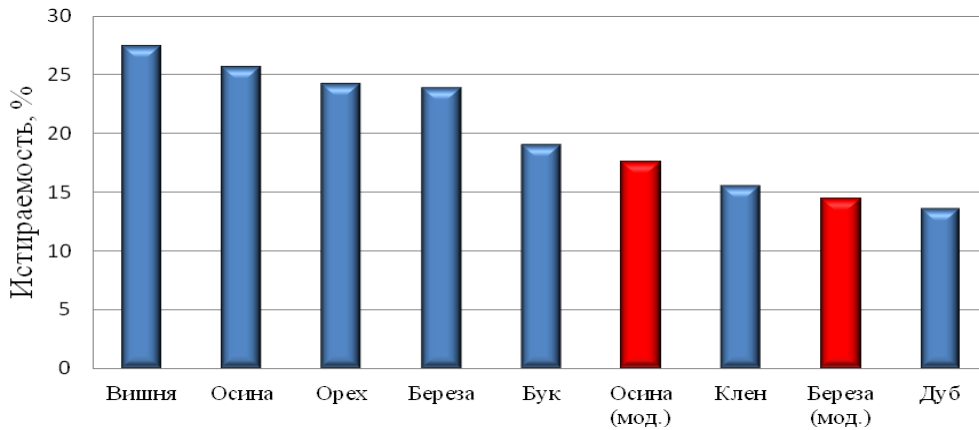


Рисунок 9 - Сравнительная характеристика износостойкости различных пород древесины, в том числе модифицированной древесины

На ЗАО ТПФ «ЮТ» ЛПК «Коуровский лес» и ООО «Режевское ЛПХ» были изготовлены опытно-промышленные партии паркетного покрытия из древесины березы и осины. Эксплуатационные испытания паркета с модифицированным эксплуатационным слоем проводились после укладки паркета в новом офисе совместно со строительно-монтажным управлением «Исетское». Предприятие «АльянсСтройПроект» при проведении отделочных работ в помещениях ресторана по адресу г. Екатеринбург, ул. Бажова 68, также произвело укладку паркета из модифицированной древесины березы для проверки его на формостабильность, износостойкость и сохранение декоративных свойств. В течение 12 месяцев паркет подвергался усиленной эксплуатации в общественных зданиях без применения специальных средств ухода за ним.

В результате эксплуатации паркета из древесины березы с износостойким модифицированным слоем значительных изменений внешнего вида и нарушения целостности покрытия не наблюдается. В результате замеров было установлено, что износ поверхностного слоя в среднем составил 0,19 мм.

Экспертное наблюдение и регулярное обследование напольных покрытий из модифицированной древесины березы и осины показали преимущества при эксплуатации.

Модифицирование пропиткой и уплотнением верхнего эксплуатационного слоя штучного паркета или паркетной планки повышает их устойчивость по отношению к воде и влажности окружающей среды, так как уменьшенные при прессовании поры и сосуды древесины, а также и стенки сосудов заполнены и пропитаны полимерным составом, который после отверждения представляет собой замкнутую структуру, устойчивую к воде, а древесина армирует эту

структуру и придает механическую прочность. В результате в процессе эксплуатации сохраняется стабильность размеров и качество паркетного покрытия, повышается его долговечность.

Сравнительная характеристика натуральной и модифицированной древесины осины и березы по сравнению с эталонной для паркетных покрытий пола древесиной дуба приведена в таблице 2.

Таблица 2 - Сравнительные характеристики натуральной и модифицированной древесины березы и осины и эталонного дуба

Характеристика	Осина			Береза			Дуб натуральный
	натуральная	модифицированная		натуральная	модифицированная		
		алкидным составом	акриловым составом		алкидным составом	акриловым составом	
Статическая твердость, Н/мм ²	18,7	28,0	29,0	35,9	81,0	73,0	54,5
Ударная твердость, Дж/см ²	0,73	1,1	1,05	0,8	1,08	0,97	0,96
Прочность при статическом изгибе, МПа	77	98	86	110	172	170	103
Прочность при местном смятии древесины поперек волокон, Н/мм ²	6,3	7,6	9,1	8,3	10,9	12,2	9,1
Ударная вязкость при изгибе, кДж/м ²	8,5	10,9	9,3	9,3	10,6	10,0	7,6
Износостойкость, %	26,0	17,5	23,5	23,7	14,0	19,0	13,0
Гидрофобность, (краевой угол смачивания), град	17	118	111	25	125	122	-
Формостабильность, %	-	0,77	1,39	-	0,71	1,34	-

За счет многослойности повышается формоустойчивость паркетной планки и практически исключается коробление. Проведенные исследования показали, что отклонения от плоскостности по пласти, которые контролировались периодически в течение 6 месяцев с помощью набора щупов и поверочной линейки, не превышали 0,02 мм.

Разработанный технологический процесс модифицирования позволяет использовать малоценные породы древесины вместо дорогих, дефицитных твердолиственных пород для изготовления напольных покрытий.

Шестая глава посвящена совершенствованию технологического процесса изготовления паркета из малоценных пород древесины с лицевым модифицированным слоем, разработке и описанию конструкции термопрокатного станка и расчету экономической эффективности производства паркета.

Экономический эффект от использования для производства штучного паркета малоценных пород древесины березы и осины вместо дефицитного и дорогостоящего дуба составит соответственно 114 187,5 тыс. руб и 121 800,0 тыс. руб. в год, что свидетельствует об экономической целесообразности применения березы и осины для изготовления более дешевого и долговечного напольного покрытия с высокими физико-механическими, эксплуатационными и декоративными свойствами, что особенно актуально при массовом выпуске деревянных покрытий пола в условиях Уральского региона.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований технологического процесса модификации древесины мягких лиственных пород и березы с целью использования их для производства напольных покрытий и обработки полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Модифицирование древесины лиственных пород (осина, береза и др.) является наиболее эффективным способом улучшения их свойств, позволяющим получить новый древесно-полимерный материал, который при сохранении анатомического строения древесины обладает повышенными физико-механическими, эксплуатационными и декоративными свойствами, что дает возможность изготовления паркетных покрытий для пола, заменяя древесину дорогих твердолиственных пород.

2. Комбинированный способ модифицирования путем пропитки древесины березы и осины с последующим термопрессованием позволяет улучшить свойства натуральной древесины и получить композиционный материал, в котором волокна древесины играют роль арматуры, а все поры, сосуды и стенки заполнены и пропитаны полимерным составом, что способствует образованию прочной уплотненной структуры и значительному повышению всех физико-механических показателей древесины, имеющих важное значение для покрытий пола из массивной древесины.

3. Качественное модифицирование древесины достигается при использовании пропиточных составов, имеющих высокую адгезию к древесине, хорошо смачивающих ее поверхность и позволяющих регулировать вязкость и температуру, чтобы достичь требуемой глубины пропитки – толщины эксплуатационного слоя будущего паркета. Пропиточные составы на основе алкидной смолы ПФ-053 и акриловой смолы ВАК-48Д представляют собой такие материалы, применение которых оправдано и с технической, и с экономической точек зрения, так как при поверхностном нанесении в небольшом количестве позволяют пропитать древесину на значительную глубину и повысить основные физико-механические, эксплуатационные и декоративные показатели модифицированной древесины березы и осины, образуют на поверхности древесины полуглянцевое, атмосферостойкое, влагоотталкивающее покрытие, экологически безопасны.

4. Полученные результаты свидетельствуют о значительном повышении физико-механических и эксплуатационных свойств, таких как статическая и ударная

твердость, прочность при статическом изгибе, прочность при местном смятии древесины поперек волокон, ударная вязкость, износостойкость, водостойкость, формостабильность древесины березы и осины. Модифицированный слой древесины на поверхности паркетных планок из древесины березы по большинству основных показателей превосходит и эталонную для производства паркета древесину дуба, что гарантирует качество и долговечность паркетного покрытия.

5. Пропитка древесины березы и осины алкидными и акриловыми составами позволяет получать поверхностные слои различных цветов и оттенков, преобразуя и по декоративным показателям малоценную древесину в древесину ценных экзотических твердолиственных пород. Изделия из модифицированной древесины не требуют трудоемкой дополнительной обработки – длительного шлифования, покраски, покрытия лаком, натирания воском и т.д., так как после модифицирования поверхностный слой паркетной планки гладкий (шероховатость не более 16-32 мкм) и блестящий.

6. Для более производительного и экономичного модифицирования древесины разработана конструкция и изготовлен термопрокатный станок вальцового типа, который производит комбинированное воздействие на древесину: нагрев пропитанного поверхностного слоя и прессование в непрерывном проходном режиме. Физико-механические и эксплуатационные показатели паркетных планок, обработанных на термопрокатном станке, значительно превышают показатели натуральной древесины дуба.

7. Технологический процесс изготовления паркета с модифицированным лицевым слоем прошел апробацию на ЗАО ТПФ «ЮТ» ЛПК «Коуровский лес» и ООО «Режевской леспромхоз», где были изготовлены опытно-промышленные партии паркетного покрытия из древесины березы и осины, которые использовались для исследования физико-механических и эксплуатационных показателей древесины с модифицированным слоем и для натурных испытаний в помещениях офиса и ресторана в условиях жесткой эксплуатации с большой проходимостью, где показали хорошие эксплуатационные показатели формостабильности, износостойкости и декоративности напольного покрытия. Это свидетельствует о возможности использования древесины березы и осины вместо дорогих и дефицитных твердолиственных пород для изготовления качественного и долговечного паркета.

8. Доказана экономическая целесообразность и эффективность производства напольного покрытия из модифицированной древесины осины и березы. Себестоимость изготовления 1 м² паркета снижается почти в 2 раза, экономическая эффективность производства штучного паркета с модифицированным слоем из древесины березы и осины вместо дефицитного и дорогостоящего дуба составляет более 115 млн. руб. для предприятия, выпускающего 87,5 тыс.м² паркета в год. Производство такого паркета не требует высоких начальных инвестиционных затрат на оборудование, и может быть начато предприятиями малого и среднего бизнеса как основное самостоятельное производство или как дополнительное к существующему, позволяющее эффективно использовать мало популярные у деревообработчиков мягкие лиственные породы древесины и березы, расширив тем самым сырьевую базу для изготовления паркета.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В
СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:**В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:**

1. Кошелева Н.А. Паркетные полы с высокими прочностными свойствами из малоценной лиственной древесины / **Д.В. Шейкман**, Н.А. Кошелева // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/118-14024> (дата обращения: 21.07.2014).
2. Кошелева Н.А. Оптимизация процесса модифицирования малоценных лиственных пород древесины / **Д.В. Шейкман**, Н.А. Кошелева // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: <http://www.science-education.ru/120-16958> (дата обращения: 20.01.2015).
3. Кошелева Н.А. Исследование процесса пропитки полимерами при модификации малоценных пород древесины / Н.А. Кошелева, **Д.В. Шейкман** // Вестник технологического университета. Казань. Т.18, № 14. 2015.

Прочие издания:

4. **Шейкман Д.В.** Исследование физико-механических свойств модифицированной древесины березы и осины / Д.В. Шейкман, Н.А. Кошелева // Вестник технологического университета. Казань. Т.19, № 15. 2016.
5. Кошелева Н.А. Улучшение свойств древесины лиственных пород с целью расширения области ее применения / Н.А. Кошелева, **Д.В. Шейкман** // Леса России и хозяйство в них: жур. Вып. 4 (47) / Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург, 2013. – 98 с.
6. Ветошкин Ю.И. Улучшение физико-механических свойств лиственной древесины облагораживанием / Ю.И. Ветошкин, **Д.В. Шейкман** // Леса России и хозяйство в них: жур. Вып. 3 (46) / Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург, 2013. – 55 с.
7. Ветошкин Ю.И. Исследование проникновения пропитывающего состава в граничные слои древесины / Ю.И. Ветошкин, Н.А. Кошелева, **Д.В. Шейкман** // Леса и хозяйство в них: жур. Вып 2 (49) УГЛТУ. Екатеринбург. 2014. – С. 34 – 38.
8. Кошелева Н.А. Улучшение эксплуатационных свойств древесины лиственных пород с целью расширения области ее применения / Н.А. Кошелева, **Д.В. Шейкман** // Труды БГТУ. №2 (166). - 2014. С. 148– 151.
9. **Шейкман Д.В.** Пластификация малоценных пород древесины для паркетных планок/ Д.В. Шейкман, Н.А. Кошелева. // Труды БГТУ. №2 (175). - 2015. С. 167– 169.

В статьях, материалах и тезисах конференций:

10. Ветошкин Ю.И. Модифицирование мягко-лиственных пород древесины для паркетных изделий / Ю.И. Ветошкин, **Д.В. Шейкман**, Д.В. Корелин // Деревообработка: технологии оборудование, менеджмент XXI века: сборник трудов IV международного Евразийского симпозиума. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2009. – 392 с.
11. Ветошкин Ю.И.. Химико-механическая модификация древесины осины / Ю.И. Ветошкин, И.В. Коцюба, Л.И. Шайхлисламова, Г.З. Миннулина,

- Д.В. Шейкман** // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды VII международного Евразийского симпозиума. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. – 386 с.
12. Николин М.Е. Улучшение эксплуатационных свойств мягко-лиственных пород древесины модифицированием / М.Е. Николин, **Д.В. Шейкман**, Н.А. Кошелева // Научное творчество молодежи - лесному комплексу России: материалы VIII Всероссийской конференции студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник». – Екатеринбург, УГЛТУ. - 2012. – 386 с.
13. **Шейкман Д.В.** Модификация поверхности древесины силикатом натрия / Д.В. Шейкман, Н.А. Кошелева // Научное творчество молодежи - лесному комплексу России: материалы IX Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник». – Екатеринбург, УГЛТУ. - 2013. – 388 с.
14. **Шейкман Д.В.** Исследование эксплуатационных свойств модифицированной древесины березы и осины / Д.В. Шейкман, Н.А. Кошелева // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Труды XI Международного евразийского симпозиума/под науч. ред. В.Г. Новоселова.–Екатеринбург, 2016. – 306 с.
15. **Шейкман Д.В.** Расширение области применения древесины лиственных пород / Д.В. Шейкман, Н.А. Кошелева // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики: матер. XI Междунар. науч.-техн. конф. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – 383 с.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, Учёному секретарю диссертационного совета Д 212.281.02, e-mail: d21228102@yandex.ru

Подписано в печать

Объем 1,0 авт.л.

Тираж 100 экз.

Заказ №

Уральский государственный лесотехнический университет
620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37.

Отдел оперативной полиграфии