

На правах рукописи

**Тарбеева Наталья Александровна**

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
ОБЛИЦОВОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ**

05.21.05 – Древесиноведение, технология  
и оборудование деревопереработки

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Вятский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ВятГУ»).

Научный руководитель	<b>Рублева Ольга Анатольевна</b> доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», профессор кафедры технологии машиностроения
Официальные оппоненты	<b>Бирман Алексей Романович</b> доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова», профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств
	<b>Яцун Ирина Валерьевна</b> доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», профессор кафедры управления в технических системах и инновационных технологий
Ведущая организация	ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»

Защита диссертации состоится 28 апреля 2022 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.02 при ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, зал заседаний – аудитория 401.

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

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор

Шишкина Елена Евгеньевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы исследования.**

Рост востребованности продукции из массивной древесины для обустройства жизненной среды связан с её экологичностью, высоким уровнем физико-механических и эстетических характеристик. К такой продукции относятся облицовочные изделия из древесины в виде панелей или плит для отделки жилых, офисных и других интерьеров. Традиционное производство облицовочных изделий требует высоких ресурсных затрат, поскольку основано на преимущественном использовании высококачественного сырья из дефицитной древесины твердолиственных пород.

В то же время задачи ресурсосбережения и рационального использования древесины, поставленные в Стратегии развития лесного комплекса РФ до 2030 года, могут быть решены для производства облицовочных изделий за счет использования альтернативных видов древесного сырья – недефицитных хвойных пород, в том числе в виде кусковых отходов. Заготовки из этого сырья требуют улучшения их физико-механических и декоративных свойств при сохранении высоких экологических показателей. Существующие технологии изготовления облицовочных изделий из данного вида сырья, чаще всего основанные на операциях измельчения, снижают его экологические и декоративные характеристики. Необходимого улучшения свойств древесины хвойных пород можно достичь за счет применения различных технологий модифицирования и декорирования при условии обоснованного выбора последовательности технологических операций и их режимов.

В этой связи разработка технологии изготовления облицовочных изделий с высокими физико-механическими и декоративными свойствами из недефицитных ресурсов хвойных пород, позволяющая улучшать характеристики сырья, является актуальной задачей, решение которой будет способствовать ресурсосбережению и снижению стоимости продукции.

### **Степень разработанности темы исследования.**

Исследованиями в области переработки древесных отходов занимались Э.И. Коротаев, Г.М. Михайлов, М.В. Гомонай, В.Н. Волынский, Р.Г. Сафин, М.В. Цыгарова, Г.С. Варанкина, Ю.И. Ветошкин, И.В. Яцун, Л.Н. Журавлева, М.Н. Kim, Н.В. Song, G. Faraca и др. Выполненные исследования позволили установить, что переработка кусковых древесных отходов является перспективным направлением ресурсосбережения, но их измельчение сужает потенциальные возможности для производства облицовочных изделий.

Исследования в области изменений физико-механических свойств древесины проводили П.Н. Хухрянский, Т.П. Хухрянская, В.А. Шамаев, А.Р. Бирман, А.Г. Гороховский, О.А. Куницкая, Р.Р. Сафин, Р.Г. Сафин, О.А. Рублева, А.Д. Платонов, В.И. Азаров, Е.Ю. Разумов, J.H. Kwon, R.H. Shin, D. Ebner, R. Stelzer и др. Вопросы декорирования изделий из древесины изучали Ю.Д. Орлова, В.Г. Короленко, А.А. Барташевич, О.Н. Чернышев, В.В. Сергеева, Z. Sun, Y. Zhou и др. Анализ выполненных работ позволил установить, что потенциал кусковых древесных отходов может быть значительно расширен за счет процессов декорирования и упрочнения.

Обзор и анализ выполненных работ показал недостаточную разработанность эффективных технологических решений, позволяющих перерабатывать кусковые древесные отходы в облицовочные изделия с высокими декоративными, физико-механическими и экологическими свойствами.

**Цель работы** – повышение эффективности изготовления облицовочных изделий из древесины.

**Объект исследования** – технология изготовления облицовочных изделий.

**Предмет исследования** – облицовочные изделия из кусковых древесных отходов хвойных пород.

**Научной новизной обладают:**

1. Теоретическое и экспериментальное обоснование повышения физико-механических и декоративных свойств древесины за счет применения комбинированной обработки, включающей операции обжига, браширования, прессования и термической обработки.

2. Результаты моделирования процесса неравномерного прессования древесины, подвергнутой обжигу и брашированию, и исследования ее структурных изменений в результате комбинированной обработки.

3. Математическое описание влияния параметров режимов прессования и термической обработки на физико-механические свойства заготовок из древесины хвойных пород, подвергнутых обжигу и брашированию, позволяющее определить рациональные значения параметров технологических режимов.

4. Эффективный ресурсосберегающий способ изготовления облицовочной панели из упрочненной древесины, отличающийся возможностью использования короткомерных отрезков и кусковых отходов хвойных пород вместо пиломатериалов из твердолиственного сырья.

**Теоретическая значимость** исследования заключается: 1) в развитии теории прессования древесины применительно к описанию процесса одноосного неравномерного прессования поперек волокон; 2) в обосновании физико-механического влияния комбинированного способа, включающего совокупность технологических операций обжига, браширования, прессования и термической обработки, позволившем выявить механизм процесса повышения твердости, водостойкости древесины, снижения шероховатости брашированной поверхности; 3) в разработке математических моделей степени уплотнения и бокового расширения заготовок, твердости и шероховатости их лицевой поверхности и показателя водопоглощения, являющихся основой для оптимизации параметров режимов прессования и термической обработки.

**Практическую значимость** имеют:

– конструкция облицовочной панели, учитывающая размерно-качественные характеристики кусковых древесных отходов и обеспечивающая условия надежного монтажа изделий;

– технологический процесс изготовления облицовочных панелей на основе комбинированного процесса, включающего операции обжига, браширования, прессования и термической обработки;

– варианты конструкций оснастки для серийной обработки короткомерных заготовок брашированием, прессованием, калиброванием, а также для сборки и склеивания облицовочных панелей.

**Методология и методы исследования.**

Информационную базу исследований составили научные публикации, научно-техническая, нормативная, учебная и методическая литература, материалы периодических изданий и конференций, патентная информация.

Теоретические исследования выполнены на основе теоретических положений прессования и пиролиза древесины. Экспериментальные исследования проведены с использованием стандартных методик и методов планирования эксперимента. Полученные экспериментальные данные обработаны с помощью методов математической статистики в программных пакетах Microsoft Excel и Statistica. Для проведения оценки уровня качества облицовочных изделий использованы основные положения квалиметрии и стандарты в области качества.

**Научные положения, выносимые на защиту.**

1. Комплексное улучшение декоративных и физико-механических свойств заготовок из древесины хвойных пород достигается за счет обработки, основанной на комбинировании операций обжига, браширования, прессования и термической обработки.

2. Характер и степень изменения физико-механических и эксплуатационных свойств заготовок после комбинированной обработки зависит от угла наклона волокон в заготовке, влажности древесины, степени прессования и температуры термической обработки, для которых могут быть определены рациональные значения.

3. Применение технологии комбинированной обработки для изготовления облицовочных изделий позволяет заменить твердолиственную древесину кусковыми древесными отходами хвойных пород.

**Достоверность полученных результатов.**

Достоверность сформулированных в диссертации научных положений, результатов и выводов обеспечивается применением современных методов и средств научного поиска, известных теорий и апробированных методик; использованием сертифицированного оборудования и программного обеспечения; обоснованными упрощениями и корректными допущениями при разработке математических моделей; применением вероятностно-статистических методов для обработки экспериментальных данных; хорошей сходимостью теоретических выводов с результатами экспериментальных исследований; положительными результатами промышленной апробации.

**Апробация результатов работы.**

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научно-технических конференциях: Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса» (г. Вологда, 2019 г.); Всероссийской ежегодной научно-технической конференции «Общество, наука, инновации» (г. Киров, 2018, 2019, 2021 гг.); Международном евразийском симпозиуме «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века» (г. Екатеринбург, 2018-2021 гг.); Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию высшего образования в г. Воронеж и ЦЧР России «Экологические и биологические основы повышения продуктивности и устойчивости природных и искусственно возобновленных лесных экосистем» (г. Воронеж,

2018 г.); Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России» (г. Екатеринбург, 2019, 2020 гг.); Всероссийской научно-практической конференции «Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы» (г. Рубцовск, 2019, 2021 г.); II Международной научно-практической конференции «Сохранение лесных экосистем: проблемы и пути их решения» (г. Киров, 2019 г.); XII Международной научно-технической конференции «Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики» (г. Екатеринбург, 2019 г.); XIII Международной научно-технической конференции «Эффективный ответ на современные вызовы человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса» (г. Екатеринбург, 2021 г.).

Результаты проведенных исследований прошли апробацию в производственных условиях на ООО ПКП «Алмис» (г. Слободской).

Результаты теоретических и экспериментальных исследований автора использованы в учебном процессе в ФГБОУ ВО «ВятГУ» при подготовке обучающихся по дисциплинам «Основы комплексной переработки древесины», «Прогрессивные технологии деревообработки», «Проектная деятельность».

#### **Личное участие автора.**

Личный вклад автора состоит в непосредственном участии во всех этапах диссертационного исследования: в выборе направления исследования и формулировании темы диссертации, постановке цели, задач исследования, их решении, а также разработке основных идей. Автором лично осуществлены планирование и проведение экспериментальных исследований, обработка и интерпретация полученных результатов. Разработка и изготовление необходимой лабораторной оснастки проводились при непосредственном участии автора. Разработанные автором идеи, включая теоретические положения и практические рекомендации, опубликованные в соавторстве в научных статьях, являются результатом самостоятельного исследования.

#### **Публикации.**

По результатам выполненных исследований опубликовано 22 работы, в том числе 2 статьи в ведущих рецензируемых изданиях из перечня ВАК Минобрнауки РФ, 17 публикаций в сборниках материалов международных, всероссийских и региональных конференций; получено 3 патента РФ на изобретения.

#### **Объем и структура диссертации.**

Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 171 странице основного текста, включая 25 таблиц, 57 рисунков и 86 формул; содержит 8 приложений на 25 страницах. Библиографический список включает 175 источников.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность работы, сформулирована цель исследования. Раскрыты научная новизна, практическая и теоретическая значимость, представлены основные положения, выносимые на защиту. Приведены сведения об апробации и публикациях, структуре и объеме работы.

**В первом разделе** представлены результаты обзора и анализа методов ресурсосбережения в деревообработке, способов переработки древесных отходов, технологий упрочнения и декорирования изделий из древесины, технологических особенностей изготовления облицовочных изделий.

В результате анализа методов ресурсосбережения установлено, что на деревоперерабатывающих предприятиях, характеризующихся низким уровнем использования древесного сырья, наиболее перспективными являются инженерно-технические методы в виде разработки и совершенствования системы переработки древесных отходов.

При выборе способа переработки древесных отходов необходимо учитывать потенциальные возможности сырья, эффективность технологий переработки, требования к готовой продукции и потребность общества в ней.

Среди разнообразных видов древесных отходов кусковые отходы являются наиболее ценным видом сырья для производства разнообразной продукции, но в преобладающих технологиях изготовления из них композиционных материалов, утрачиваются декоративные свойства древесины, что снижает потребительскую ценность продукции.

Для изготовления высококачественных облицовочных изделий из кусковых древесных отходов без измельчения необходимо комплексное улучшение декоративных и физико-механических свойства сырья. Соответственно, технологический процесс должен включать этапы декорирования и упрочнения.

На основании сравнительного анализа способов декорирования и упрочнения древесины с учетом перечня требований к облицовочным изделиям предполагается, что необходимый результат может быть обеспечен за счет комбинирования операций обжига, браширования, прессования и термической обработки. Для подтверждения выдвинутой гипотезы требуется проведение теоретических и экспериментальных исследований, в задачи которых входит:

1) обоснование структуры процесса обработки древесины хвойных пород для улучшения ее физико-механических и декоративных свойств с целью использования в производстве облицовочных изделий;

2) определение основных закономерностей протекающих процессов и факторов, влияющих на процесс комбинированной обработки;

3) установление влияния параметров режимов обжига, браширования, прессования и термической обработки на показатели качества облицовочных изделий;

4) определение рациональных значений параметров режимов обработки, влияющих на качество облицовочных изделий;

5) разработка вариантов конструкции и технологического процесса изготовления облицовочных изделий из кусковых древесных отходов;

6) оценка эффективности предложенных технологических решений и качества изготавливаемых облицовочных изделий.

**Во втором разделе** установлены предпосылки улучшения декоративных и физико-механических свойств заготовок из древесины за счет технологических воздействий, и определены условия, выполнение которых необходимо для улучшения декоративных свойств древесины, повышения ее твердости, влагостойкости, атмосферостойкости и др. Наиболее важными из них являются: изменение характеристик внешнего вида древесины, уплотнение ее структуры, наличие за-

щитного покрытия, снижение равновесной влажности и шероховатости поверхности, а также удаление питательной для микроорганизмов среды. Это может быть достигнуто за счет различных технологий декорирования и модифицирования древесины, в том числе обжига, браширования, прессования и термической обработки.

Анализ указанных процессов позволил установить основные факторы и методы управления ими. При обжиге важно регулировать скорость перемещения пламени по поверхности  $V_m$ , при брашировании – скорость вращения щеток  $V$  и их жесткость  $J$ , скорость подачи заготовок  $V_s$  и величину выхода инструмента  $h$ . При прессовании следует контролировать степень деформации  $\varepsilon$ , при термической обработке – температуру  $T$  и продолжительность процесса обработки  $t$ . Также необходимо учитывать влияние породы древесины  $Pr$ , вида распила заготовок  $r$  и их влажности  $W$ . Можно предполагать, что в случае комбинирования операций результат обработки будет зависеть от совокупности указанных факторов.

Среди указанных операций наибольший вклад в формирование физико-механических и эксплуатационных свойств облицовочных изделий вносит прессование. Прессование заготовок, подвергнутых обжигу и брашированию, становится неравномерным.

Для определения режима неравномерного прессования провели теоретическое моделирование процесса уплотнения рельефной заготовки. Рельефную заготовку рассматривали упрощенно: как набор чередующихся брусков двух высот, соответствующих толщинам заготовки в зоне гребней (далее зона Г) и в зоне впадин (далее зона В) (рисунок 1). Так как зона Г заготовки деформируется в большей степени, чем зона В, было важно, чтобы режим прессования обеспечивал в поверхностном слое заготовки деформацию зоны В до третьей фазы в соответствии с диаграммой напряжение-деформация. Для этого необходимо было получение зависимости степени деформации зоны В  $\varepsilon_B$  от степени деформации зоны Г  $\varepsilon_G$  и соответственно зависимостей  $\varepsilon_G$  и  $\varepsilon_B$ .

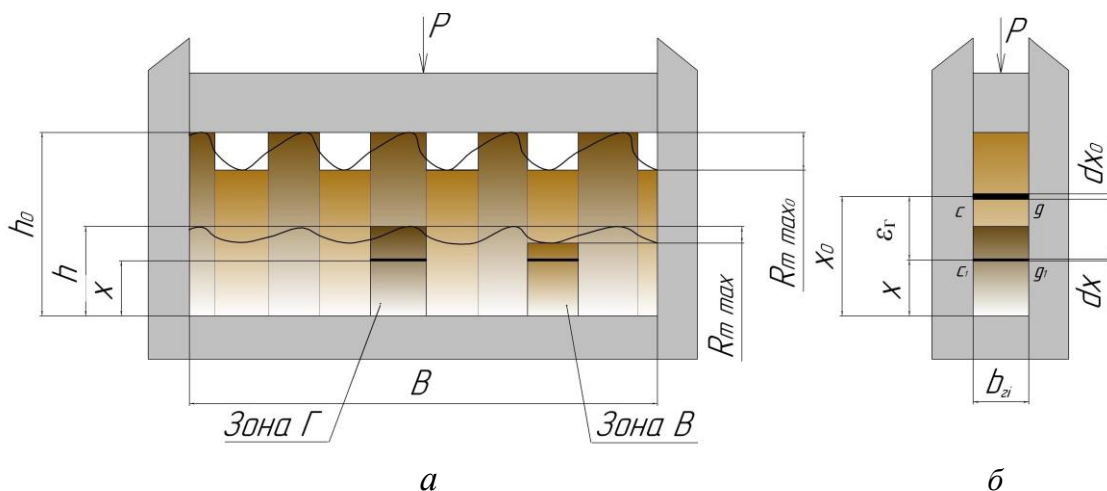


Рисунок 1 – Расчетная схема: а – упрощенная схема заготовки; б – схема прессования гребня

В процессе моделирования приняли следующие допущения: влажность и температура по всему сечению брусков одинаковы; смежные бруски выполняют функцию ограничивающих стенок пресс-формы и не деформируются от распи-



рающих боковых усилий; собственный вес древесины не учитывается; коэффициент трения дерева о металл для боковых брусков равен коэффициенту внутреннего трения древесины, ширины всех брусков зоны Г одинаковы, ширины всех брусков зоны В равны между собой,  $R_{m\ max} = 0,2 R_{m\ max0}$ .

В расчетной модели приняли следующие обозначения:  $\varepsilon_\Gamma$  и  $\varepsilon_B$  – степень деформации зоны Г и зоны В, %;  $\sigma_\Gamma$  и  $\sigma_B$  – напряжение в зоне Г и в зоне В, кгс/см<sup>2</sup>;  $\eta$  – коэффициент внутреннего трения древесины;  $\mu$  – коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона);  $h_0$  и  $h$  – толщина заготовки до и после прессования соответственно;  $x$  – расстояние от dna матрицы и до слоя *cg* в спрессованном состоянии, мм;  $R_{m\ max0}$  – шероховатость поверхности после прессования, мкм;  $B$  – ширина заготовки, мм;  $L$  – длина заготовки, мм;  $b_\Gamma$  – ширина зоны гребней, мм;  $a$  и  $b$  – постоянные величины, зависящие от породы древесины, способа и режима ее предварительной подготовки.

Сначала для определения степени деформации зоны Г выделили в соответствующем бруске элементарный слой  $c_1g_1$  (рисунок 1 б), на который действуют три силы: прессования, бокового давления и трения древесины о смежные бруски. При условии нахождения его в состоянии равновесия получили уравнение:

$$d\sigma_{x\Gamma i} b_\Gamma L + 2\eta\mu\sigma_{x\Gamma i} L d(h - x) = 0. \quad (1)$$

Из уравнения (1) путем ряда преобразований получили зависимость изменения давления прессования по толщине:

$$\sigma_{x\Gamma i} = \sigma \cdot e^{-2\eta\mu\frac{1}{b_\Gamma}(h-x)}. \quad (2)$$

Далее, исходя из характера зависимости между напряжением и степенью уплотнения:

$$\sigma_{x\Gamma i} = ae^{b\varepsilon}, \quad (3)$$

определили зависимость степени деформации зоны Г:

$$\varepsilon_\Gamma = \frac{1}{b} \ln \frac{\sigma_\Gamma e^{-\frac{2\eta\mu(h-x)}{b_\Gamma}}}{a}, \quad (4)$$

а затем аналогичным образом определили степень деформации зоны В:

$$\varepsilon_B = \frac{1}{b} \ln \frac{\sigma_B e^{-\frac{2\eta\mu(h-x-0,0002R_{m\ max0})}{B-b_\Gamma}}}{a}. \quad (5)$$

В итоге при напряжениях, соответствующих третьей фазе деформации, определили соотношение  $\varepsilon_\Gamma$  и  $\varepsilon_B$  в поверхностном слое заготовки в виде зависимости:

$$\varepsilon_B = 0,89\varepsilon_\Gamma. \quad (6)$$

Анализ зависимостей (4), (5), (6) и величины относительной деформации заготовки по толщине позволил установить, что для обеспечения в поверхностном слое заготовки в зонах В и Г степени деформации, соответствующей третьей фазе, необходимо, чтобы относительная деформация заготовки по толщине составляла не менее 33 %.

Кроме того, анализ уравнений (4) и (5), включающие справочные характеристики физико-механических свойств древесины, показал, что степень деформации рельефных заготовок можно представить, как функцию от ряда параметров: породы  $Pr$ , влажности  $W$  и шероховатости поверхности  $R_{m\ max}$ :  $\varepsilon = f (Pr, W, R_{m\ max})$ . Полученные выводы легли в основу выбора варьируемых факторов при проведении экспериментальных исследований.

**В третьем разделе** представлены общие положения и методики для планирования и проведения экспериментальных исследований, обработки полученных результатов, характеристика применяемых материалов и оборудования.

Программа экспериментальных исследований включает три блока исследований (рисунок 2).



Рисунок 2 – Программа проведения экспериментальных исследований: О – обжиг; Б – браширование; П – прессование; Т – термическая обработка

Группа исследований блока 1 направлена на определение возможностей комбинированных способов обработки, основанных на различных вариантах сочетания обжига, браширования, прессования и термической обработки для изготовления продукции.

Группа исследований блока 2 представляет собой изучение основных закономерностей способа, включающего полную совокупность операций обжига, браширования прессования и термической обработки.

Группа исследований блока 3 направлена на изучение процессов прессования и термической обработки заготовок, подвергнутых обжигу и брашированию, и поиск рациональных режимов обработки, а также оценку свойств заготовок после обработки.

Для экспериментальных исследований выбраны заготовки сосны и ели тангенциального распила, не содержащие сучков и трещин, влажностью  $7 \div 17$  %.

Методика изготовления экспериментальных образцов в зависимости от этапа и целей исследования включала от двух до четырех этапов. Для обработки обжигом использовали лампу паяльную ПЛ-2, брашированием – шуруповерт Metabo BS14.4 и дисковые щетки Dexter 75 и SL680, прессованием – прессы П-472Б, Т61210М(АЕ&Т) и пресс-форму, термической обработкой – сушильный шкаф ШСП-0,25-60.

При исследовании процессов прессования и термической обработки (блок исследований 3) степень уплотнения  $\gamma$  определяли, как отношение плотности образцов после обработки к исходной плотности заготовок. Твердость лицевой поверхности измеряли твердомером TP5014 методом Роквелла по шкале HRR. Бокковое расширение рассчитывали, как отношение изменения ширины заготовок к исходной ширине. Шероховатость поверхности измеряли индикаторным глубиномером по ГОСТ 7016-2013. Показатель водопоглощения определяли, как время впитывания капли жидкости, нанесенной на лицевую поверхность образца.

Оценку микроструктуры заготовок выполняли по фотографиям шлифов торцевой поверхности с помощью микроскопа МБС-10 при увеличении в 18, 36 и 63 раза. Точность изготовления деталей облицовочных изделий определяли посредством измерений габаритных размеров заготовок, величин углов, показателей плоскостности, параллельности и перпендикулярности. Испытания образцов на атмосферостойкость проводили путем выдержки образцов в атмосферных условиях в течение 6 месяцев и последующем сравнении габаритных размеров, твердости и показателей внешнего вида с исходными значениями.

На этапах 1.1 – 2.4 проводили предварительные поисковые эксперименты, в том числе одно- и двухфакторные. Постановку экспериментов на этапе 3.1 для заготовок из древесины сосны осуществляли по дробному факторному плану типа  $2^{4-1}$  и полному факторному плану типа  $3^2$ , для заготовок из древесины ели – по плану  $2^4$ . Варьировали факторы: угол  $\alpha$  наклона волокон в заготовке, влажность заготовок  $W$ , степень прессования  $\varepsilon$ , температура термической обработки  $T$ , вид пласти  $\theta$ , принятой за лицевую. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с доверительной вероятностью 95 % в программных пакетах Statistica и Microsoft Excel.

**В четвертом разделе** экспериментально обоснована структура процесса комбинированной обработки заготовок из древесины хвойных пород для изготовления облицовочных изделий. Наиболее высокие декоративные и физико-механические свойства формируются при четырехстадийной обработке с последовательностью операций: обжиг, браширование, прессование и термическая обработка (О-Б-П-Т).

В результате исследования процесса прессования и термической обработки заготовок из древесины сосны и ели, подвергнутых обжигу и брашированию, получены уравнения регрессии для прогнозирования физико-механических и эксплуатационных свойств облицовочных изделий в зависимости от параметров режимов обработки (см. таблицу 1). На рисунке 3 приведены графические интерпретации моделей. Анализ полученных регрессионных зависимостей, графиков и карт Парето-эффектов (рисунок 4) в совокупности позволил установить, что при разработке технологических режимов прессования и термической обработки все варьируемые факторы следует рассматривать как параметры режимов.

Таблица 1 – Результаты анализа влияния параметров режимов прессования и термической обработки на физико-механические и эксплуатационные облицовочных изделий

Отклик	Порода	Диапазон $\alpha$ , град.	Модель	$R^2$
Степень уплотнения $\gamma$ , %	Сосна	до 30	$\gamma_2 = 183,29 - 2,38\alpha + 0,047\alpha^2 - 2,38\varepsilon + 0,04\varepsilon^2$	0,99
		от 30 до 45	$\gamma_1 = 172,80 - 2,11\alpha - 5,15W + 0,40\varepsilon + 0,12T + 0,12\alpha W$	0,99
	Ель	от 30 до 45	$\gamma_3 = 77,81 + 0,12\alpha + 1,13\varepsilon + 49,01\theta - 1,51\alpha\theta$	0,9
Твердость лицевой поверхности $HRR$	Сосна	от 30 до 45	$HRR_1 = 247,26 - 15,77\alpha - 0,92W + 7,15\varepsilon - 3,04T + 0,09\alpha T$	0,98
	Ель		$HRR_3 = 53,62 + 0,32\alpha + 0,92\varepsilon + 116,05\theta - 3,47\alpha\theta$	0,93
Боковое расширение $\beta$ , %	Сосна	до 30	$\beta_2 = -3,31 + 0,47\alpha - 0,01\alpha^2 + 0,03\varepsilon + 0,01\alpha\varepsilon$	0,96
		от 30 до 45	$\beta_1 = 44,96 - 1,41\alpha - 0,21W - 0,96\varepsilon - 0,04T + 0,04\alpha\varepsilon$	0,97
	Ель	от 30 до 45	$\beta_3 = -14,74 + 0,29\alpha + 0,38\varepsilon - 0,01\alpha\varepsilon + 0,0003\alpha T - 0,03\alpha\theta$	0,68
Шероховатость поверхности $R_{t\ max}$ , мкм	Сосна	до 30	$R_{t\ max2} = 455,55 - 23,03\alpha + 0,72\alpha^2 - 0,08\alpha\varepsilon$	0,86
		от 30 до 45	$R_{t\ max1} = 2362,50 - 40,59\alpha - 45\varepsilon + 0,04\alpha W + \alpha\varepsilon - 0,004\alpha T$	0,88
	Ель	свыше 30	$R_{t\ max3} = 219,08 - 0,89\alpha - 311,55\theta + 9,33\alpha\theta$	0,83
Показатель водопоглощения, $G$ , с.	Сосна	до 30	$G_2 = -2117,57 + 296,77\alpha - 7,30\alpha^2 + 0,02\varepsilon^2$	0,96
		от 30 до 45	$G_1 = -57,35 - 24,13\alpha + 24,55W + 8,62T - 0,09\alpha\varepsilon$	0,88
	Ель	от 30 до 45	$G_3 = -20173,60 + 191,30\alpha + 229,80\varepsilon + 127,40T - \alpha T - 0,20\alpha\theta - 1,50\varepsilon T$	0,67

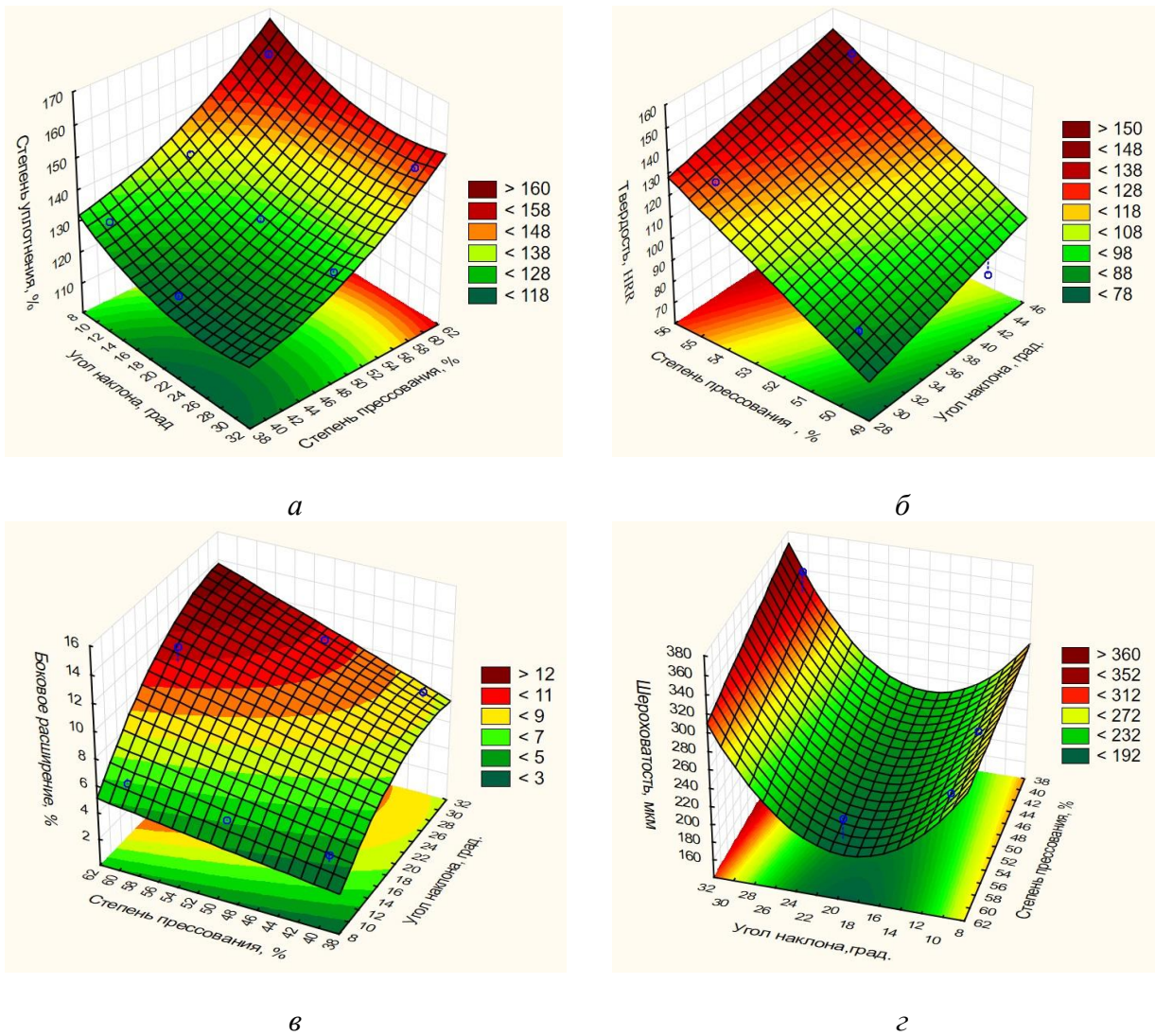


Рисунок 3 – Зависимость показателей заготовок из древесины сосны от  $\alpha$  и  $\varepsilon$ :  
 $a - \gamma$ ;  $б - HRR$ ;  $в - \beta$ ;  $г - R_m \max$

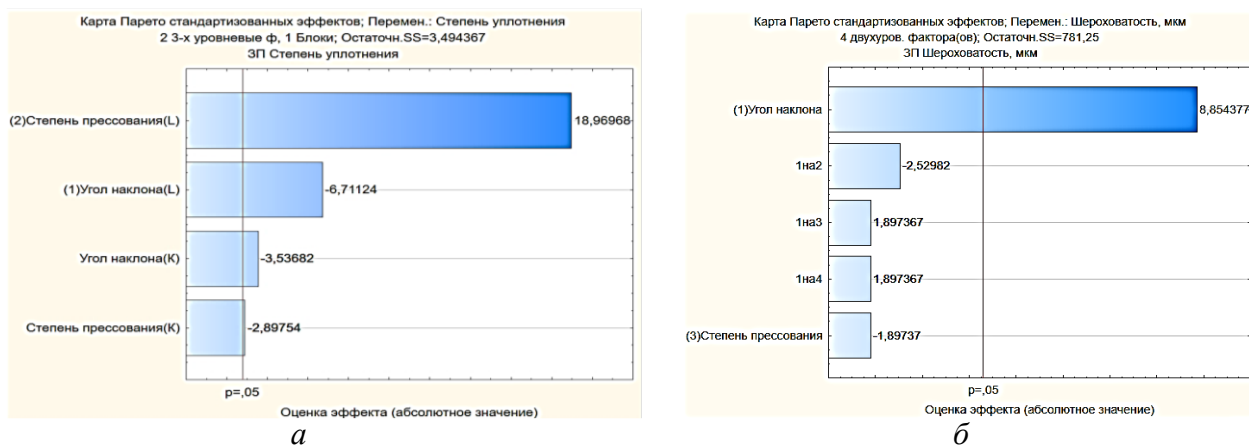


Рисунок 4 – Карта Парето-эффектов для модели отклика:  $a$  – твердость лицевой поверхности  $HRR_l$ ;  $б$  – шероховатость поверхности  $R_m \max$

С целью нахождения рациональных параметров режимов прессования и термической обработки методом справедливого компромисса решена оптимизационная задача с учетом ограничений на входные параметры:  $\gamma \geq 135 \%$ ,  $HRR \geq 115$ ,  $\beta \leq 5 \%$ ,  $R_m \max \leq 250$  мкм и  $G \geq 600$  с:

$$\begin{cases} \gamma \rightarrow \max \\ HRR \rightarrow \max \\ \beta \rightarrow \min \\ R_{m \max} \rightarrow \min \\ G \rightarrow \max \end{cases}, \quad (7)$$

где  $\gamma$  – степень уплотнения заготовок, %;  
 $HRR$  – твердость лицевой поверхности;  
 $\beta$  – боковое расширение заготовок, %;  
 $R_{m \max}$  – шероховатость лицевой поверхности, мкм;  
 $G$  – показатель водопоглощения, с.

Оптимальные значения параметров режимов прессования и термической обработки приведены в таблице 2:

Таблица 2 – Результаты решения оптимизационной задачи

Порода древесины	Оптимальные значения управляющих факторов					Ожидаемые значения управляемых параметров				
	$\alpha$ , град.	$W$ , %	$\varepsilon$ , %	$T$ , °C	$\theta$	$\gamma$ , %	$HRR$	$\beta$ , %	$R_{m \max}$ , мкм	$G$ , с
Сосна	28	8	60	180	0	145	157	1,5	251	871
Ель	30	8	44	165	1	135	115	1,5	161	855

В связи с обоснованными технологическими допущениями для  $\alpha$ , оптимальными параметрами режимов прессования и термической обработки следует считать:

- для сосны:  $\alpha = 30$  град.,  $W = 8$  %,  $\varepsilon = 60$  %,  $T = 180$  °C,  $\theta = 0$ ;
- для ели:  $\alpha = 30$  град.,  $W = 8$  %,  $\varepsilon = 44$  %,  $T = 165$  °C,  $\theta = 1$ .

При исследовании микроструктуры заготовок после каждого этапа комбинированной обработки определены следующие параметры:

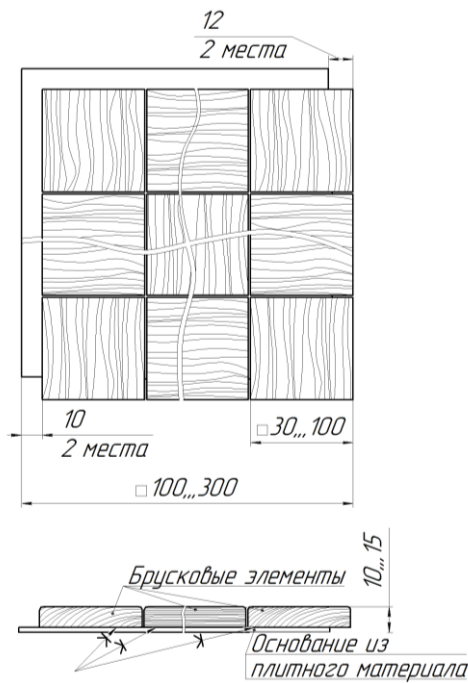
- после обжига: толщина углистого слоя  $H_y = 0,1 \div 0,2$  мм, толщина пиролизированного слоя  $H_n \leq 0,3$  мм;
- после браширования: шероховатость поверхности  $R_{m \max} = 700 \div 1200$  мкм;
- после прессования и термической обработки: глубина зоны выраженного неравномерного уплотнения по ширине заготовки не превышает 2,5 мм. Наиболее уплотненные клетки заготовки располагаются в зоне ранней древесины, расположенной под гребнем, наименее уплотненные – под впадиной. Соотношение степеней деформации зон В и Г в поверхностном слое:  $\varepsilon_v = 0,78\varepsilon_r$ .

Проведенная оценка геометрической точности деталей облицовочных изделий показала, что отклонения от заданных размеров деталей по длине и ширине соответствуют классу точности  $\pm t2/2$ ; значения отклонений углов соответствуют  $\pm AT16/2$  по ГОСТ 6449.5-82.

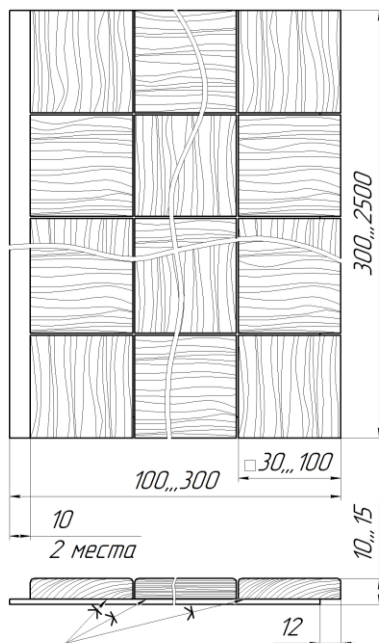
По результатам оценки деталей облицовочных изделий на атмосферостойкость отмечены изменения габаритных размеров заготовок, твердости и внешнего вида. В этой связи изделия, изготовленные с помощью способа О-Б-П-Т, рекомендуется использовать для отделки внутри помещений.

**В пятом разделе** разработана конструкция облицовочной панели из кусковых древесных отходов хвойных пород и технология ее изготовления, проведена оценка эффективности предлагаемых технологических решений.

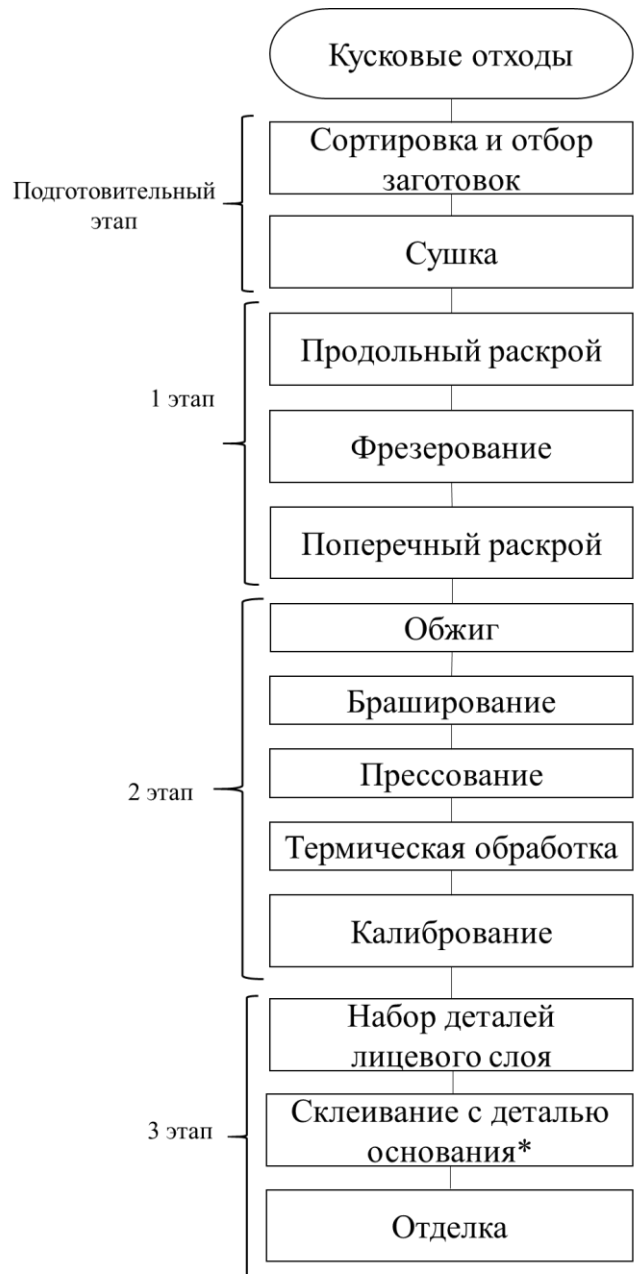
Облицовочная панель представляет собой двухслойную конструкцию. Лицевой слой выполнен из кусковых древесных отходов, а основание – из тонкого плитного материала (рисунок 5 а, б). Смещение основания относительно лицевого слоя с образованием фальца и гребня необходимо для обеспечения надежного монтажа панелей и их незаметного соединения друг с другом.



а



б



в

\* После раскроя плитного материала и нанесения на деталь основания клея

Рисунок 5 – Конструкция и технологический процесс изготовления облицовочных панелей: а – панель в виде квадратных модулей; б – панель в виде прямоугольных модулей; в – схема технологического процесса

Технологический процесс изготовления деталей лицевого слоя включает операции обжига, браширования, прессования и термической обработки (рисунок 5 в).

Режимы обработки заготовок, включая рациональные значения параметров прессования и термической обработки, подобранные по результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Режимы обработки заготовок обжигом, брашированием, прессованием и термической обработкой

Операция	Оборудование, оснастка, инструмент	Технологические требования и режимы
Обжиг	Паяльная лампа, (газовая горелка), металлическая подставка	Скорость перемещения пламени по поверхности $V_{m1} = 1$ м/мин
		Количество обжигаемых сторон $n = 5$
		Ориентация заготовок – горизонтальная
		Обжигаемая поверхность – наружная
		Температура обработки $T_o = 1200$ °С
Браширование	Шлифовально-щеточный станок, щеточные валы, комплект специальной оснастки для браширования	Вид инструмента – щеточный вал со стальным ворсом диаметром 0,25 мм; щеточный вал сизалевый
		Скорость вращения инструмента $V = 3500$ об/мин
		Скорость подачи $V_s = 5$ м/мин
		Величина выхода инструмента $h = 1,2$ мм
Прессование	Гидравлический пресс, комплект специальной оснастки для прессования	Использование ограничителей по ширине
		Степень прессования $\varepsilon = 60$ %
		Давление прессования не более 40 МПа
		Скорость прессования не более $v = 1$ мм/с
		Время выдержки под нагрузкой $t_n = 10$ с
Термическая обработка	Сушильный шкаф (камера), этажерка	Агент обработки – влажный воздух $\varphi = 50$ %
		Температура обработки $T = 180$ °С
		Продолжительность обработки $t = 1$ ч

Разработана методика определения размеров черновых заготовок и пооперационных припусков. Предложены варианты конструкции технологических оснасток для браширования и прессования и калибрования короткомерных заготовок на типовом промышленном оборудовании, а также для сборки и склеивания облицовочных панелей.

Проведена оценка экономической эффективности разработанной технологии. При ее сравнении с технологией изготовления облицовочных панелей из твердолоистового сырья, установлено, что цеховая себестоимость 1 м<sup>2</sup> панелей снижается на 9,6 % и составляет 3090 рублей.

Проведена квалиметрическая оценка уровня качества облицовочных панелей, изготавливаемых по предложенной технологии, путем сравнения ее качества с качеством аналогичной панели из древесины дуба. Применение смешанного метода оценки, включающего принципы дифференциального и комплексного методов, позволило учесть значения 9 наиболее значимых показателей как с точки зрения производителя, так и с точки зрения потребителя: твердости, точности изготовления, эстетичности, экономической эффективности и др. Коэффициент качества для оцениваемой панели равен  $K = 1,07$ , что больше значения коэффициента для базового образца из древесины дуба  $K = 1$ . Можно заключить, что изготавливаемые



по предлагаемой технологии облицовочные изделия являются достойной альтернативой продукции из твердолиственной древесины.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Анализ технологий изготовления облицовочных изделий и методов ресурсосбережения при переработке древесины показал, что эффективным направлением сбережения дефицитной твердолиственной древесины в производстве облицовочных изделий является использование в качестве сырья кусковых древесных отходов хвойных пород.

2. Необходимое комплексное повышение декоративных и физико-механических свойств сырья хвойных пород достигается за счет процесса комбинированной обработки, включающего совокупность операций обжига, браширования, прессования и термической обработки в указанной последовательности.

3. Наиболее значимыми факторами, оказывающими влияние на процесс и результат комбинированной обработки, являются порода древесины, вид распила заготовок и их влажность, а также параметры отдельных технологических операций: скорость перемещения пламени по поверхности при обжиге; скорость вращения инструмента, скорость подачи, выход инструмента, тип и жесткость щеток при брашировании; степень прессования при обработке давлением; температура и продолжительность процесса при термической обработке.

4. На степень уплотнения обработанных комбинированным способом заготовок, твердость и шероховатость их лицевой поверхности наиболее значительно влияют угол наклона волокон в заготовке и степень прессования, на показатель водопоглощения – температурный режим термической обработки.

5. Определены рациональные режимы прессования и термической обработки, обеспечивающие улучшение физико-механических свойств древесины и эксплуатационных показателей облицовочных изделий: для заготовок из древесины сосны – угол наклона волокон  $\alpha = 30$  град., влажность  $W = 8$  %, обрабатываемая пласть – внутренняя, степень прессования  $\varepsilon = 60$  %, температура термической обработки  $T = 180$  °С; для заготовок из древесины ели – угол наклона волокон  $\alpha = 30$  град., влажность  $W = 8$  %, обрабатываемая пласть – наружная, степень прессования  $\varepsilon = 44$  %, температура термической обработки  $T = 165$  °С.

6. Разработанная конструкция двуслойной облицовочной панели с лицевым слоем в форме плитки позволяет использовать для ее изготовления кусковые древесные отходы хвойных пород в виде тонких реек и короткомерных отрезков. Технологический процесс изготовления облицовочной панели включает операции обжига, браширования, прессования и термической обработки. Предложенные технологические режимы и конструкции оснастки способствуют повышению качества изготавливаемых изделий и увеличению производительности процесса.

7. Расчеты технико-экономической эффективности технологии показывают, что цеховая себестоимость панелей из кусковых древесных отходов хвойных пород ниже на 9,6 % по сравнению с себестоимостью панелей из твердолиственной древесины. При выпуске 1000 м<sup>2</sup> облицовочных панелей из кусковых древесных отходов экономия твердолиственной древесины составляет более 18 м<sup>3</sup>. Квалиметрическая оценка подтверждает соответствие уровня качества продукции, изготовленной по предложенной технологии, уровню качества традиционной продукции.

**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ  
ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:****Статьи в рецензируемых изданиях, включенных в Перечень ВАК  
Минобрнауки РФ:**

1. Тарбеева, Н. А. Обоснование возможностей способа упрочняющей декоративной обработки низкотоварной древесины / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/14 // Лесотехнический журнал. – 2020. – Т. 10. – №. 3 (39). – С. 145–154.

2. Тарбеева, Н.А. Экспериментальное исследование комбинированного процесса изготовления облицовочных изделий на основе пьезотермической обработки деревянных заготовок / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева, А.Г. Гороховский, Е.Е. Шишкина – DOI: 10.18324/2077-5415-2021-1-90-97 // Системы. Методы. Технологии. – 2021. – № 1(49). – С. 90–97.

**Патенты на изобретения:**

3. Патент № 2704849 Российская Федерация МПК В27М 1/08 (2006.01). Способ упрочняющей декоративной обработки изделий из древесины : № 2018122586 : заявлено 20.06.2018 : опубликовано 31.10.2019 / Рублева О.А., Тарбеева Н.А. ; заявитель ВятГУ. – 6 с.

4. Патент № 2754909 Российская Федерация МПК E04F 13/08 (2021.02). Способ изготовления облицовочной панели из упрочненной древесины : № 2020139525 : заявлено 02.12.2020 : опубликовано 08.09.2021/ Рублева О.А., Тарбеева Н.А. ; заявитель ВятГУ. – 7 с.

5. Заявка на выдачу патента на изобретение № 2020140240 от 08.12.2020. Способ защитной обработки изделий из древесины / Рублева О.А., Тарбеева Н.А.; заявитель ВятГУ (решение о выдаче патента от 06.12.2021).

**Публикации в сборниках материалов конференций:**

6. Тарбеева, Н.А. Роль технологической операции прессования в процессах декоративной упрочняющей обработки древесины / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева // Общество. Наука. Инновации (НПК-2018) : сборник статей XVIII Всероссийской научно-практической конференции: в 3 томах. – Киров : ВятГУ, 2018. – Т. 2. – С. 986–992.

7. Тарбеева, Н.А. Влияние режимов упрочняющей декоративной обработки на эксплуатационные характеристики изделий из древесины сосны / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева // Общество. Наука. Инновации (НПК-2018) : сборник статей XVIII Всероссийской научно-практической конференции: в 3 томах. – Киров : ВятГУ, 2018. – Т. 2. – С. 993–1000.

8. Рублева, О.А. Оценка уровня качества декоративных отделочных материалов из древесины на этапе проектирования продукции / О.А. Рублева, **Н.А. Тарбеева**, В.С. Паскарь // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : труды XIII Международного евразийского симпозиума 18–21 сентября 2018 г. / под научной ред. В. Г. Новоселова. – Екатеринбург, 2018. – С. 93–98.

9. Тарбеева, Н.А. Технология изготовления упрочненного декоративного отделочного материала из массивной древесины / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева // Экологические и биологические основы повышения продуктивности и устойчивости природных и искусственно возобновленных лесных экосистем : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию высшего

лесного образования в г. Воронеж и ЦЧР России: в 2 томах / научный редактор С.С. Морковина. – Воронеж : ВГЛТУ, 2018. – Т. 2. – С. 323–330.

10. Тарбеева, Н.А. Инновационная технология изготовления экологически чистой отделочной плитки на основе древесины / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы : материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / под редакцией В.В. Гриценко, Г.Ю. Ястребова. – Рубцовск : РИИ АлтГТУ, 2018. – Ч. 2. – С. 157–163.

11. Тарбеева, Н.А. Совокупное влияние этапов упрочняющей обработки на эксплуатационные свойства плитки на основе древесины / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы XVI Международной научно-технической конференции (Вологда, 5 декабря, 2018 г.) / отв. ред. С. М. Хамитова. – Вологда : ВоГУ, 2019. – С. 181–184.

12. Тарбеева, Н.А. Исследование способа упрочняющей декоративной обработки изделий из древесины: ограничения при выборе области планируемого эксперимента / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XV Всероссийской научно-технической конференции / ответственный редактор С.В. Залесов. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2019. – С. 124–127.

13. Тарбеева, Н.А. Экспериментальное исследование пьезотермической обработки декорированных заготовок из древесины / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики : материалы XII Международной научно-технической конференции. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2019. – С. 77–80.

14. Тарбеева, Н.А. Влияние влажности древесины на показатели качества прессованных заготовок / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева // Общество. Наука. Инновации (НПК-2019) : сборник статей XIX Всероссийской научно-практической конференции : в 4 томах. – Киров : ВятГУ, 2019. – Т. 2. – С. 380–386.

15. Тарбеева, Н.А. Переработка древесных отходов как направление рационального природопользования / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева // Сохранение лесных экосистем: проблемы и пути их решения : материалы II Международной научно-практической конференции / ответственный редактор Н.П. Савиных. – Киров : ВятГУ, 2019. – С. 158–162.

16. Тарбеева, Н.А. Экспериментальное исследование влияния режимов пьезотермической обработки на степень уплотнения заготовок из древесины сосны / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : труды XIV Международного евразийского симпозиума / под научной редакцией В.Г. Новоселова. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2019. – С. 75–81.

17. Тарбеева, Н.А. Обоснование выбора технологических режимов обработки заготовок из древесины сосны для изготовления облицовочной плитки / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XVI Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2020. – С. 131–134.

18. Тарбеева, Н.А. Сравнительный анализ комбинированных способов декоративно-упрочняющей обработки деревянных заготовок / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : труды

XV Международного евразийского симпозиума / ответственный редактор В.Г. Новоселов. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2020. – С. 57–62.

19. Тарбеева, Н.А. Анализ процессов декорирования и упрочнения заготовок из низколиквидной древесины для изготовления отделочных материалов / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева // Общество. Наука. Инновации (НПК-2021). Сборник статей XXI Всероссийской научно-практической конференции. – Киров, 2021. – С. 654–660.

20. Тарбеева, Н.А. Обоснование режимов прессования заготовок из древесины сосны для изготовления облицовочной плитки / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса. материалы XIII Международной научно-технической конференции. – Екатеринбург, 2021. – С. 563–568.

21. Тарбеева, Н.А. Механизм формирования модифицированного поверхностного слоя заготовок из древесины / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : труды XVI Международного евразийского симпозиума / под науч. ред. В. Г. Новоселова. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2021. – С. 23–28.

22. Тарбеева, Н.А. Оценка эффективности технологии изготовления облицовочной плитки из кусковых древесных отходов / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции 26-27 ноября 2021 г. / под ред. О.А. Михайленко / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2021. – С. 126–131.

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

Подписано в печать . Печать цифровая. Бумага для офисной техники.  
Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет».

610000, г. Киров, ул. Московская, 36, тел.: (8332) 74-25-63, <http://vyatsu.ru>