

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

На правах рукописи

Тарбеева Наталья Александровна

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ОБЛИЦОВОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ**

05.21.05 – Древесиноведение, технология и оборудование
деревопереработки

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент

Рублева Ольга Анатольевна

Киров – 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	12
1.1 Вопросы рационального использования древесины и переработки древесных отходов.....	12
1.1.1 Методы ресурсосбережения при переработке древесины.....	12
1.1.2 Виды древесных отходов и способы их переработки.....	13
1.1.3 Виды продукции из кусковых древесных отходов и сферы ее применения.....	19
1.2 Технологические принципы изготовления облицовочных изделий из древесины.....	20
1.2.1 Анализ требований к облицовочным изделиям.....	21
1.2.2 Технологии изготовления облицовочных изделий.....	24
1.2.3 Требования к сырью для изготовления облицовочных изделий.....	30
1.3 Технологические особенности изготовления облицовочных изделий из кусковых древесных отходов.....	31
1.4 Выводы. Цель и задачи исследования.....	32
2 ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ УЛУЧШЕНИЯ ДЕКОРАТИВНЫХ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ.....	34
2.1 Определение условий, способов и приемов, обеспечивающих повышение эксплуатационных свойств облицовочных изделий.....	34
2.1.1 Способы улучшения декоративных свойств древесины.....	35
2.1.2 Условия и приемы повышения твердости поверхности древесины.....	36
2.1.3 Условия обеспечения повышенной водо- и влагостойкости древесины.....	37

2.1.4 Способы повышения долговечности изделий из древесины.....	38
2.1.5 Условия, обеспечивающие стабильность формы и размеров деталей из древесины.....	40
2.2 Анализ процессов обработки древесины, влияющих на ее декоративные и физико-механические свойства.....	41
2.2.1 Обугливание древесины при поверхностном обжиге.....	41
2.2.2 Выявление природной структуры древесины при брашировании	44
2.2.3 Уплотнение подвергнутой обжигу и брашированию древесины при ее сжатии поперек волокон.....	46
2.2.4 Изменение структуры и свойств древесины при термической обработке.....	59
2.3 Обоснование комбинирования операций обжига, браширования, прессования и термической обработки	61
2.4 Определение факторов комбинированного процесса.....	62
2.5 Требования к заготовкам для процесса комбинированной обработки	62
2.6 Выводы по второму разделу.....	63
3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ.....	65
3.1 Программа экспериментальных исследований.....	65
3.2 Характеристики и свойства исследуемых материалов.....	67
3.3 Характеристики оборудования, установок и приборов для проведения экспериментальных исследований.....	68
3.4 Методика изготовления экспериментальных образцов.....	69
3.5 Методика планирования экспериментов и статистической обработки экспериментальных данных.....	71
3.5.1 Выбор основных факторов процесса.....	71

3.5.2	Определение граничных условий обработки заготовок комбинированным способом.....	69
3.5.3	Обоснование выбора откликов.....	72
3.5.4	Методика определения откликов.....	74
3.5.5	Планирование экспериментальных исследований.....	80
3.5.6	Методика статистической обработки экспериментальных данных.....	83
3.5.7	Методика определения рациональных значений параметров режимов прессования и термической обработки.....	84
4	ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРОЦЕССА КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ	86
4.1	Результаты поисковых экспериментов и их анализ.....	87
4.1.1	Определение возможностей комбинирования операций обжига, браширования, прессования и термической обработки...	87
4.1.2	Исследование способа четырехстадийной комбинированной обработки	89
4.2	Исследование процесса прессования и термической обработки..	96
4.2.1	Экспериментальное исследование влияния параметров режимов прессования и термической обработки на физико-механические свойства заготовок из древесины сосны и ели.....	96
4.2.2	Определение рациональных режимов прессования и термической обработки заготовок.....	114
4.3	Оценка потребительских свойств облицовочных изделий.....	118
4.3.1	Оценка микроструктуры заготовок.....	119
4.3.2	Оценка геометрической точности облицовочных деталей..	121
4.3.3	Оценка атмосферостойкости облицовочных деталей.....	122
4.4	Результаты и выводы по четвертому разделу.....	123
5	ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБЛИЦОВОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ.....	125

5.1 Разработка конструкции и технологического процесса изготовления облицовочных изделий.....	126
5.1.1 Разработка варианта конструкции облицовочной панели...	126
5.1.2 Технологический процесс изготовления облицовочной панели.....	128
5.1.3 Варианты конструкций технологической оснастки для обработки короткомерных заготовок.....	134
5.2 Экономическое обоснование технологии изготовления облицовочных панелей.....	138
5.2.1 Производительность изготовления облицовочных панелей...	138
5.2.2 Сравнительная оценка цеховой себестоимости облицовочных панелей.....	141
5.2.3 Оценка уровня качества облицовочных панелей.....	144
5.3 Выводы по пятому разделу.....	149
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	151
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	153
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Номенклатура показателей качества облицовочных изделий.....	172
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Перечень факторов процесса комбинированной обработки.....	175
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Методика статистической обработки экспериментальных данных.....	176
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Методические сетки и результаты экспериментов...	182
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Данные для оценки уровня качества облицовочных изделий.....	188
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Патенты на изобретения.....	191
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Грамоты и сертификаты.....	192
ПРИЛОЖЕНИЕ И. Акты и справки об апробации и внедрении.....	194

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

Рост востребованности продукции из массивной древесины для обустройства жизненной среды связан с ее 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.

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.

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 браширован-

ной 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.

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.); IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «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 (приложение Е).

Структура и объем 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.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель раздела – провести анализ состояния исследуемого вопроса ресурсосбережения в производстве облицовочных изделий, определить цели и сформулировать задачи исследования.

Задачи раздела:

- провести обзор и анализ работ в области ресурсосбережения, рационального использования древесины и переработки древесных отходов;
- определить технологические особенности изготовления облицовочных изделий из древесины и древесных отходов;
- выполнить сравнительный анализ способов декорирования и упрочнения заготовок из древесины;
- сформулировать цели и задачи диссертационной работы.

1.1 Вопросы рационального использования древесины и переработки древесных отходов

1.1.1 Методы ресурсосбережения при переработке древесины

Ресурсосбережение представляет собой технико-экономический процесс, направленный на рациональное использование и экономное расходование материально-технических, трудовых, финансовых, природных и других ресурсов [1, 2]. Управление процессом ресурсосбережения на предприятиях деревопереработки, как и на других производственных предприятиях, осуществляется организационно-распорядительными, инженерно-технологическими, экономическими и социально-психологическими методами [3].

Инженерно-технологические методы являются одними из основополагающих в многоаспектной политике ресурсосбережения [4]. При переработке древесины суть инженерно-технологических методов ресурсосбережения сво-

дится к внедрению энергосберегающих технологий, модернизации технологического оборудования и инструмента, совершенствованию процессов раскрытия материалов, комплексному использованию древесного сырья, рационализации движения материальных потоков [1, 3–6].

В связи с тем, что большинство предприятий лесопиления и деревообработки характеризуется низким уровнем использования древесного сырья [5], важнейшим направлением ресурсосберегающей политики в настоящее время является комплексная переработка древесины, включающая переработку древесных отходов [5, 7, 8]. Поэтому основное внимание в настоящей работе уделено вопросам, касающимся переработки древесных отходов.

1.1.2 Виды древесных отходов и способы их переработки

1.1.2.1 Классификация древесных отходов

Древесные отходы классифицируют по ряду признаков: по месту образования, по породам, по стадиям обработки и т.д. [9–13]. Полная классификация древесных отходов представлена на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Классификация древесных отходов

Ценность тех или иных древесных отходов определяется возможностями их дальнейшего использования [14]. Наибольшей ценностью обладает сырье в виде крупных кусковых отходов лесопиления и деревообработки (горбыли, рейки, обрезки пиломатериалов). Согласно статистике, кусковых отходов по

объему образуется в $2,5 \div 3$ раза больше, чем мягких отходов [15, 16]. Это обуславливает возможность изготовления из них широкого спектра разнообразной продукции: от мелкой пилопродукции до продукции лесохимических производств. Разработка новых технологий переработки кусковых древесных отходов будет способствовать дальнейшему повышению их ценности и расширению областей использования.

1.1.2.2 Способы переработки кусковых древесных отходов

Способы переработки кусковых древесных отходов делят на три большие группы: химическая, биологическая и механическая переработка.

Часть кусковых древесных отходов подлежит использованию непосредственно без каких-либо способов обработки [14, 16, 17]. Например, горбыль и рейки используются при проведении некоторых видов строительных работ, изготовлении опалубок и временных построек. Оставшееся сырье перерабатывается указанными способами.

Химическая переработка древесных отходов является наиболее сложным процессом. В технологических процессах используют различные виды химических соединений [18]. Технологии химической переработки позволяют использовать в качестве сырья все элементы биомассы дерева. Лидирующая роль среди технологий химической переработки принадлежит производству волокнистых полуфабрикатов [19], недостатком которых является низкая экологичность продукции.

Биологические способы переработки применяется главным образом для переработки низкокачественного сырья. Введение в древесное сырье добавок: грибов, бактериологических соединений или насекомых ускоряет процесс разложения древесины, что используется, например, при производстве удобрений, повышающих плодородие почв [16]. Недостатками биологических способов переработки является продолжительность процесса и необходимость специализированного производства.

Механическая переработка кусковых древесных отходов является наиболее распространенной и подходящей для изготовления облицовочных изделий. В процессе механической обработки изменяются как размеры и форма древесины, так и физико-механические свойства. К заготовкам, подлежащим механической обработке предъявляются повышенные требования к качеству сырья [16].

Для анализа способов механической переработки кусковых древесных отходов предложена их классификация (рисунок 1.2). Данная классификация позволяет оценить технологии с точки зрения их экологичности, ресурсо- и энергоемкости. В соответствии с классификацией способы механической переработки кусковых древесных отходов далее необходимо рассмотреть более подробно.

а) Технологии переработки кусковых древесных отходов на основе измельчения.

Технологии переработки кусковых древесных отходов после их предварительного измельчения позволяют изготавливать разнообразную продукцию. За счет химических и биологических способов переработки данный вид сырья находит применение в целлюлозно-бумажной химической, микробиологической промышленности, в производстве топлива [20, 21]. После механической переработки его используют для производства полуфабрикатов (технологической щепы), строительных, теплоизоляционных и отделочных материалов, упаковки, топливных брикетов и пеллетов, товаров культурно-бытового назначения, сувенирной продукции [22–24].

В сырье, подлежащему измельчению, нормируется содержание коры и гнили, в отдельных случаях требуется сортировка по породам [21].

В зависимости от цели использования древесину измельчают на различные фракции: щепу, стружку, волокна, древесную муку [25]. За счет измельчения устраняется один из основных недостатков древесины как природного материала – анизотропия свойств. Для измельчения используют всевозможные рубительные машины, древесношерстные станки, размольные установки и мельницы [26].

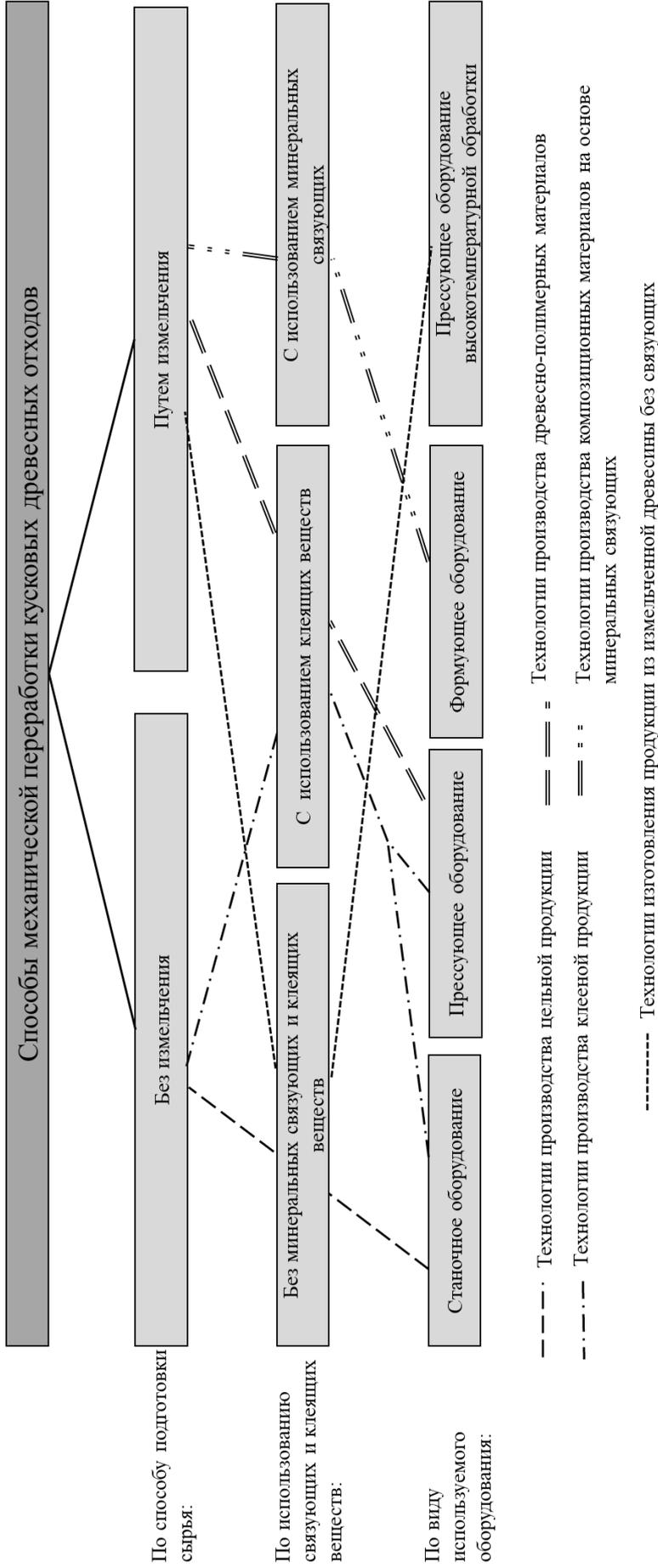


Рисунок 1.2 – Способы механической переработки кусковых древесных отходов

Формирование изделий основано на процессах прессования и склеивания древесных частиц с помощью связующих веществ в виде синтетических полимеров, неорганических вяжущих веществ, природных клеящих веществ или продуктов гидролитического расщепления углеводородного комплекса древесины [27].

Технологии производства композиционных материалов на основе древесного сырья направлены на устранение недостатков, характерных для массивной древесины: анизотропии свойств, низкой стойкости к температурно-влажностным колебаниям, воздействию грибов и плесени, микроорганизмов, легкой воспламеняемости и др. [28].

Ключевым преимуществом технологий изготовления композиционных материалов из измельченного древесного сырья является возможность производства продукции заданных свойств и размеров. Это позволяет рационально использовать имеющееся древесное сырье, расширять сферы его использования и при этом обеспечивать невысокую стоимость продукции.

К недостаткам технологий следует отнести высокую ресурсо- и энергоемкость процессов, а также невысокие эстетические и экологические показатели готовой продукции.

б) Технологии переработки кусковых древесных отходов без измельчения.

Технологии переработки кусковых древесных отходов без измельчения являются менее сложными в плане организации производства. Основная их особенность заключается в тщательном входном контроле качества заготовок, так как физико-механические характеристики сырья должны в большей степени соответствовать требованиям продукции. В зависимости от вида изготавливаемой продукции, предъявляют строгие требования к качеству заготовок (породе, влажности, наличию дефектов) и их размерным характеристикам [13, 29].

Данные технологии в зависимости от стадий развития процессов производства ранжируют от наиболее простых к наиболее сложным [17]:

– изготовление изделий, практически не требующих обработки (жерди, колья);

– производство пиленых и строганых изделий (штaketник, гонт кровельный, штукатурная дрань) с использованием минимального количества технологических операций;

– производство токарных, фрезерованных и бондарных изделий (хозяйственных инструментов и инвентаря, предметов домашнего обихода) за счет более сложной формы организации технологического процесса, включающего операцию сушки;

– производство столярно-строительной, мебельной и сувенирной продукции с наиболее высокими требованиями к качеству и художественной отделке.

В основу технологических процессов производства крупных и сложных изделий заложены процессы склеивания [30–32]. Так изготавливают клееные панели и щиты, речные щиты и плиты, щитовой паркет, торцевые щиты, дверные коробки и пр. [13].

Недостатками технологий переработки кусковых древесных отходов без измельчения являются необходимость строгого входного контроля качества сырья и сниженный коэффициент использования материала.

Преимуществами этих технологий являются: сохранение в изделиях внешнего вида древесины, ее природных текстуры и фактуры. Это особенно важно для изготовления отделочных материалов, облицовочных изделий, сувенирной продукции, товаров культурно-бытового назначения, где показатели внешнего вида являются одними из важнейших.

Таким образом, технологии переработки кусковых отходов лесопиления и деревообработки находят широкое применение в промышленности. Технологии, основанные на измельчении, позволяют эффективно использовать имеющееся древесное сырье, но не являются экологичными и энергосберегающими. Технологии, где используются кусковые отходы в цельном виде, более экологичны и менее энергозатратны. Для дальнейшего анализа технологий необходимо установить сферы применения, востребованность и качество продукции, изготавливаемой из них.

1.1.3 Виды продукции из кусковых древесных отходов и сферы ее применения

Кусковые древесные отходы лесопиления и деревообработки представляют собой огромную ценность для производства различных видов продукции [33]. Многочисленные отечественные и зарубежные технологические проекты по переработке древесных отходов в основном направлены на производство строительных материалов, химических продуктов, топлива [34–35]. В работе [13] представлена классификация строительных материалов из древесных отходов. Авторы классифицируют продукцию по следующим принципам: по виду используемого сырья, способу производства и области применения (назначению).

На основе информации о направлениях переработки древесных отходов [12, 35], с учетом одного из указанных принципов классифицирования, разработана классификация видов продукции, получаемых в результате переработки кусковых древесных отходов (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Классификация видов продукции
из кусковых древесных отходов

По степени готовности к использованию все виды продукции на основе кусковых древесных отходов могут быть подразделены на полуфабрикаты и

готовую продукцию. К полуфабрикатам в основном относится технологическая щепка. Готовая продукция по назначению включает следующие категории:

- химические вещества;
- целлюлозно-бумажную продукцию;
- топливо;
- медицинские и фармакологические препараты;
- продукцию для сельского хозяйства;
- тару;
- мебель;
- товары культурно-бытового назначения;
- строительные и отделочные материалы.

Выбор того или иного направления переработки кусковых древесных отходов в конкретный вид продукции необходимо осуществлять исходя из возможностей сырья, потребностей общества и условия получения наибольшего народнохозяйственного эффекта с единицы переработанных ресурсов.

Одними из наиболее востребованных в настоящее время видов продукции из древесных отходов являются строительные и отделочные материалы в том числе облицовочные изделия. Но в связи с тем, что их изготовление с помощью технологий, основанных на измельчении древесного сырья является низкоэкологичным и высокоэнергозатратным (см. п. 1.1.2.2), необходимы более совершенные технологические решения.

1.2 Технологические принципы изготовления облицовочных изделий из древесины

Согласно ГОСТ Р 58033-2017 «Здания и сооружения. Словарь. Часть 1. Общие термины» [36] под облицовкой понимают внешний декоративный или защитный слой конструкции, изготавливаемый из штучных или жестких листовых изделий. Данный термин главным образом применяется в строительной промышленности в значении «отделочные материалы» для внутренней и внешней отделки [37–39].

С целью определения возможности использования кусковых древесных отходов для изготовления изделий облицовки необходимо провести анализ требований нормативно-технической документации к данным изделиям.

1.2.1 Анализ требований к облицовочным изделиям

Требования к облицовочным изделиям устанавливаются по ряду технических, технологических, эксплуатационных и экономических показателей [37]. Перечень конкретных требований формируется на основе номенклатуры показателей качества продукции. Анализ нормативно-технических документов: ГОСТ 4.200-78, 4.230-83, 4.226-83, 4.210-79, 4.223-83, 4.207-79 [39–44] позволил установить необходимые для облицовочных изделий из древесины показатели качества продукции. В настоящей работе предложены развернутая (для группы изделий, имеющих близкие функции и схожие свойства) и конкретная (для конкретного вида изделий) номенклатуры показателей качества облицовочных изделий из древесины. Развернутая номенклатура, включающая 85 единичных показателей, приведена в приложении А. Конкретная, состоящая из 9 наиболее значимых как с точки зрения производителя, так и потребителя показателей, приведена в таблице 1.1.

Проведенный анализ требований к продукции из древесины, близкой по характеристикам и назначению к облицовочным изделиям (столярно-строительные изделия из массивной древесины, древесноволокнистые и древесностружечные плиты, фанера) [45–58], позволил установить требования к облицовочным изделиям из древесины (таблица 1.2).

Таблица 1.1 – Конкретная номенклатура показателей качества облицовочных изделий

Комплексный показатель	Единичный показатель
1 Механические показатели	1 Статическая твердость
	2 Истираемость
2 Конструктивные показатели	3 Удельная масса
	4 Размеры изделия
	5 Шероховатость поверхности
3 Точность изготовления	6 Отклонения от номинальных размеров
	7 Отклонения от плоскостности
	8 Отклонения от перпендикулярности
4 Стабильность формы и размеров	9 Разбухание по толщине
	10 Стойкость к короблению
5 Пожароопасность	11 Горючесть
	12 Воспламеняемость
	13 Способность распространения пламени по поверхности
	14 Дымообразующая способность
	15 Токсичность продуктов горения
6 Показатели эстетичности	16 Цвет
	17 Блеск
	18 Текстура
	19 Фактура
	20 Равномерность окраски
7 Показатели эргономичности	21 Суммарный показатель опасности выделяющихся химических веществ
	22 Сложность ухода за изделием
8 Устойчивость к внешним воздействиям	23 Влагостойкость клеевых соединений
	24 Атмосферостойкость
	25 Биостойкость
	26 Химическая стойкость
	27 Цветостойчивость
9 Экономические показатели	28 Удельная себестоимость изделия

Таблица 1.2 – Требования к параметрам облицовочных изделий

№ п/п	Нормируемый показатель	Значения	Основание выбора (регламентирующий документ)
1	Влажность	$8 \pm 3 \%$	ГОСТ 10632-2014 [45] ГОСТ 8242-88 [46]
2	Твердость	Не менее 30 Н/мм ²	[47], ГОСТ 3916.2-2018 [48]
3	Истираемость	Не более 20 % по ГОСТ 16483.39-81 [49]	[50]
4	Предельные отклонения: – по длине – по ширине – по толщине	$\pm 1,2$ мм, $\pm 0,8$ мм, $\pm 0,5$ мм	ГОСТ 6449.5-82 [51], ГОСТ 8242-88 [46], ГОСТ 3916.2-2018 [48]
5	Разбухание по толщине за 24 ч	Не более 20 %	ГОСТ 4598-2018 [52]
6	Покоробленность	Не более 1,5 мм	ГОСТ 16371-2014 [53]
7	Горючесть	Г4*	№ 123-ФЗ [54],[55]
8	Воспламеняемость	В3*	
9	Способность распространения пламени по поверхности	РП4*	
10	Дымообразующая способность	Д2*	
11	Токсичность продуктов горения	Т3*	
12	Суммарный показатель опасности выделяющихся химических веществ	Класс эмиссии формальдегида не ниже Е1 ПДК выделяющихся летучих химических веществ по [53]	ГОСТ 10632-2014 [43]
13	Равномерность окраски	Не более 4 порогов цветоразличения между любыми участками лицевой поверхности (для однотонных)	ГОСТ 18108-2016 [56]
14	Водостойкость клеевых соединений	Средняя А	ГОСТ 33121-2014 [58]
15	Атмосферостойкость	Средняя	ГОСТ 33121-2014 [58]
16	Химическая стойкость	После очистки и дезинфекции химическими реагентами не должно быть видимых изменений поверхности или возможно возникновение едва заметных изменений в блеске или цвете поверхности	ГОСТ 16371-2014 [53]
17	Цветоустойчивость	Не более 4 порогов цветоразличения после облучения по ГОСТ 11583-74 [57]	–

* – соответствует показателям для массивной древесины

Кроме указанных требований на основании существующих правил конструирования изделий из древесины [59], современных тенденций дизайна [60], задач экономической эффективности производственных процессов [61] нами сформулированы дополнительные рекомендации к показателям качества облицовочных изделий (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Рекомендации к облицовочным изделиям

Показатель	Рекомендации
Удельная масса	Минимальна, но обеспечивающая нормативные требования и прочность выбранной конструкции [59]
Размеры изделия	В соответствии с размерами облицовываемой поверхности / изделия
Шероховатость поверхности	Минимальна с учетом способа обработки и требований к внешнему виду изделий, но не более $R_{m\ max} = 250$ мкм [62]
Показатели эстетичности	В соответствии с предпочтениями потребителя (имитация текстуры древесины ценных пород [60])
Показатель сложности ухода за изделием	Зависит от шероховатости поверхности и влагостойкости лицевой поверхности
Удельная себестоимость изделия	Минимальна за счет снижения стоимости сырья, а также трудоемкости, материал- и энергоемкости технологий [61]

Производители облицовочных изделий с целью обеспечения вышеуказанных требований и рекомендаций используют либо высококачественное древесное сырье в виде заготовок из твердолиственных пород и «амбарной» древесины [63, 64], либо различные технологии упрочнения, модифицирования и облагораживания древесины, либо и то, и другое. В условиях дефицита твердолиственной древесины для производства высококачественной продукции из древесины технологии, позволяющие эффективно улучшать свойства древесного сырья, приобретают особую актуальность.

1.2.2 Технологии изготовления облицовочных изделий

Технологии изготовления облицовочных изделий по виду используемого сырья можно классифицировать на три группы:

– технологии изготовления облицовочных изделий из ценной твердолиственной древесины;

– технологии изготовления облицовочных изделий из массивной древесины прочих пород;

– технологии изготовления облицовочных изделий из измельченного древесного сырья.

Технологии изготовления облицовочных изделий из ценных пород основаны на процессах механической обработки заготовок, склеивания и отделки защитно-декоративными покрытиями. Разнообразие дизайна изделий достигается за счет вариативности конструкций и способов отделки.

Для изготовления облицовочных изделий из прочих пород древесины предъявляются высокие требования к качеству сырья (регламентируется наличие пороков древесины на лицевой поверхности) [46]. Часто внешний вид древесины скрывают с помощью непрозрачной, имитационной или специальных видов отделки [65].

При изготовлении облицовочных изделий из измельченной древесины и древесных отходов первостепенное значения уделяется облагораживанию и отделке изделий. Исключение составляют случаи, когда текстура материала из измельченной древесины соответствует необходимой стилистике.

Таким образом, одной из важных задач технологий изготовления облицовочных изделий является обеспечение эстетичного и привлекательного внешнего вида, для чего применяются технологии декорирования. Они имеют свои технологические особенности, ограничения и требования к исходному древесному сырью, в связи с чем требуют дальнейшего рассмотрения.

1.2.2.1 Технологии декорирования изделий из древесины

Декорирование облицовочных изделий из древесины является одним из важных этапов технологии их изготовления. Благодаря процессам декорирования изделие приобретает неповторимость, индивидуальность и стиль.

Технологии декорирования изделий из древесины и древесных материалов позволяют облагораживать поверхности как с сохранением их плоской формы, так и с формированием рельефов [66]. Выбор способа декорирования

определяется свойствами материала, подлежащего декорированию, заданной стилистике и предпочтениям потребителя.

Способы декорирования облицовочных изделий из древесины могут быть классифицированы следующим образом (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Способы декорирования облицовочных изделий из древесины

Способы декорирования, формирующие рельефную поверхность, можно разделить на бесстружечные и со снятием слоя древесины. Наибольшее распространение получили способы декорирования со снятием стружки. К ним относятся фрезерование [67], обработка щетками – браширование [68] и все виды ручной резьбы [65]. Указанными способами декорируют массивную древесину, клееные мебельные щиты. Для плит МДФ применимо только фрезерование.

К бесстружечным процессам в основном относится обработка древесины давлением (штампование и экструзия) [69, 70], а также лазерное гравирование [71]. Штампование применимо для декорирования массивной древесины, шпона, клееных щитов. Экструзией изготавливают и декорируют изделия из ДПК (профиль фильеры определяет форму и внешний вид готовой продукции). Для обработки лазером кроме массивной древесины также пригодны древесноволокнистые плиты.

Способы декорирования отделочных материалов с сохранением плоской поверхности изделий предполагают либо нанесение на отделяемую поверхность жидких защитно-декоративных составов, в том числе с применением приемов ручной росписи, либо облицовывание тонкими листовыми (рулонными) материалами [66].

Особую группу представляют многоступенчатые процессы обработки и декорирования древесины, выполняемые, например, за счет совокупности операций обжига и браширования, тиснения и фрезерования и др. [72, 73]. Они могут применяться для формирования на поверхности древесины как объемного, так и плоского декора и в основном пригодны только для декорирования массивной древесины. Сочетанием разных технологических операций удастся достичь неповторимого внешнего вида изделий, а также улучшения других важных эксплуатационных характеристик.

Способ декорирования за счет обжига и браширования среди многоступенчатых способов является наиболее востребованным в производстве облицовочных и декоративных изделий из древесины, так как не требует использования дорогостоящих материалов и специализированного оборудования, но при этом позволяет лучшим образом подчеркнуть природную структуру древесины.

Недостатком способа является то, что формируемая рельефная поверхность отличается хрупкостью, а изделия с такой поверхностью недолговечны. В этой связи необходимо совершенствование способа декорирования древесины обжигом и брашированием за счет упрочнения поверхности.

1.2.2.2 Технологии упрочнения и модифицирования древесины

Для упрочнения древесины, придания ей новых качеств и устранения природных недостатков применяют технологии упрочнения и модифицирования. Их основной целью является повышение прочности, твердости и влагостойкости материала за счет физических и химических методов воздействия, например, таких как пропитка, термообработка, прессование и др. [74–79].

Все эти технологии можно подразделить на две группы в зависимости от глубины обработки: технологии поверхностной и глубинной обработки. В некоторых случаях, для изделий, не предназначенных для эксплуатации в жестких неблагоприятных условиях достаточно обработки, изменяющей физико-механические свойства только поверхностного слоя [80]. Это позволяет существенно снизить затраты на изготовление продукции [81].

Одним из видов технологий модифицирования древесины, позволяющих обрабатывать как поверхностный слой, так и заготовки по всему сечению являются технологии пропитки. Они направлены на улучшение физико-механических свойств древесины, изменение цвета, повышение устойчивости к негативным воздействиям. В качестве пропиточных составов применяют антисептики, антипирены, синтетические лакокрасочные и связующие материалы на основе карбамидоформальдегидных, меламино-формальдегидных, акриловых, алкидных и других смол, а также их модификаций [74]. Пропитку выполняют путем полного погружения заготовок в раствор и выдержки, путем поверхностного нанесения, капиллярной пропиткой по методу горяче-холодной ванны, под давлением и др. [82]. Преимуществами пропитки являются широкие технологические возможности; недостатками – сложность технологических процессов, низкая экологичность процесса производства и продукции.

Альтернативными технологиям пропитки древесины являются технологии прессования и термической обработки, считающиеся наиболее экологичными [83–89].

Технологии термической обработки позволяют снизить восприимчивость древесины к воздействию внешних факторов, повысить стабильность формы и размеров деталей, улучшить декоративные свойства сырья за счет изменений, происходящих на молекулярном уровне. Качество и глубина термической обработки зависит от выбора технологических режимов. Недостатками технологии термообработки является длительность процесса и снижение при этом механической прочности заготовок [90]. Преимуществами технологии является относительная простота и экологичность.

Технологии модифицирования прессованием в основном направлены на повышение прочности и твердости древесины, а также придание заготовкам требуемой формы [87, 89]. Для производства продукции находят применение технологии равномерного, неравномерного, контурного или всестороннего прессования поперек волокон с предварительным нагревом или пропариванием, реже применяют холодное прессование [87]. Прессованию поддается как массивная древесина, так и измельченное сырье. Недостатком прессования является восстановление исходных свойств заготовок в условиях повышенной влажности, а преимуществами – простота и экологичность процесса обработки.

В большинстве случаев рассмотренные технологии модифицирования комбинируют: термохимическое, химико-механическое, термомеханическое модифицирование. Это способствует более качественному улучшению свойств древесины и сведению к минимуму существующих недостатков [91]. Так, например, прессование обеспечивает повышение плотности и прочности древесины, а термообработка закрепляет приобретенные свойства [90].

Для производства изделий облицовки технологии модифицирования должны отвечать следующим требованиям: обеспечивать повышение долговечности, прочности и твердости древесины; быть экологичными и безопасными; сохранять или улучшать природные декоративные свойства древесины. Выбор необходимого способа модифицирования древесины для упрочнения рельефной заготовки после браширования и обжига должен быть обоснованным и пригодным для обработки сырья в соответствии с его свойствами.

Свойства сырья для изготовления облицовочных изделий также должны отвечать определенным требованиям. В этой связи далее будут рассмотрены требования, предъявляемые к сырью, для изготовления облицовочных изделий.

1.2.3 Требования к сырью для изготовления облицовочных изделий

Условием производства высококачественной продукции является высокое качество используемого сырья. Качество сырья определяется путем установления соответствия его определенным требованиям.

С целью определения требований к сырью для изготовления облицовочных изделий проведен анализ требований к сырью для изготовления продукции подобного назначения: облицовочных досок, панелей и щитов, деталей мебели. Установлены показатели и их значения, которые следует принять за базовые.

Для изготовления указанной продукции чаще всего применяют пиломатериалы хвойных и лиственных пород ГОСТ 8486-86 [92], ГОСТ 2695-83 [93], для которых нормируются показатели влажности, шероховатости, количества пороков.

В случае изготовления клееной продукции могут быть использованы пиломатериалы, а также низкосортные короткомерные заготовки хвойных пород влажностью не более 15 %, длиной от 375 до 1000 мм, шириной не менее 40 мм [13]. Количество пороков древесины регламентируется в стандартах на изделия [46, 53]. Требования обеспечиваются путем устранения пороков в процессе механической обработки.

Для изготовления продукции из модифицированной древесины согласно ГОСТ 23551-79 [94] могут применяться тонкомерные, среднетолщинные и крупномерные сортименты, а также отрезки досок и брусков длиной до 1 м, являющиеся отходами лесопильно-деревообрабатывающих производств (ГОСТ 9629-81 [95]). Стандартом регламентируется количество пороков древесины: сучки диаметром до 50 мм допускается высверливать и заделывать пробками на клей, трещины глубиной более 3 мм также подлежат заделке рейками.

Кусковые древесные отходы хвойных пород по своим размерно-качественным характеристикам соответствуют указанным требованиям, поэтому могут быть использованы для изготовления облицовочных изделий.

1.3 Технологические особенности изготовления облицовочных изделий из кусковых древесных отходов

Особенности технологии изготовления облицовочных изделий из кусковых древесных отходов обусловлены следующими факторами:

- 1) необходимостью улучшения декоративных свойств сырья;
- 2) необходимостью повышения физико-механических свойств сырья;
- 3) спецификой обработки маломерных заготовок;
- 4) потребностью изготовления крупногабаритной продукции;
- 5) необходимостью сохранения высокой экологичности изделий из древесины.

весины.

Благодаря проведенному анализу технологий декорирования (см. п. 1.2.2.1), установлено, что для изготовления экологичных облицовочных изделий из кусковых древесных отходов и необходимого при этом декорирования заготовок наиболее рациональным является способ, включающий операции обжига и браширования. При этом способ не позволяет обеспечить высокие показатели прочности, атмосферостойкости (рисунок 1.5) и гигиеничности декорированной поверхности.



a



б

Рисунок 1.5 – Внешний вид облицовочных изделий, обработанных обжигом и брашированием при эксплуатации в течение 1 года: *a* – внутри помещения; *б* – снаружи помещения

Это обуславливает необходимость упрочняющей обработки. На основании анализа технологий модифицирования древесины установлено, что повысить прочность древесины, в том числе ее поверхностного слоя, и гигиенические свойства без снижения экологических показателей можно за счет прессования, а повысить атмосферостойкость – за счет термической обработки. На

этом основании можно предположить, что технологический процесс изготовления облицовочных изделий из кусковых древесных отходов должен включать операции обжига, браширования, прессования и термической обработки. Для подтверждения этого, в том числе определения необходимого набора и последовательности операций (т.е. их комбинации), режимов обработки необходимо проведение экспериментальных исследований.

1.4 Выводы. Цели и задачи исследования

1.4.1 Ресурсосбережение при переработке древесины обеспечивается за счет организационно-распорядительных, инженерно-технологических, экономических и социально-психологических методов. Для деревообрабатывающих предприятий, характеризующихся низким уровнем использования сырья, наиболее актуальными являются инженерно-технологические методы ресурсосбережения в виде комплексной переработки древесины, включающей переработку древесных отходов.

Кусковые отходы считаются наиболее ценным видом древесных отходов и находят широкое применение для производства разнообразной продукции. Изготовление из них облицовочных изделий сдерживается их низкими физико-механическими и декоративными свойствами, а также значительным разбросом размерно-качественных характеристик, в связи с чем требует эффективных технологических решений.

1.4.2 В условиях дефицита твердолиственной древесины изготовление облицовочных изделий из кусковых древесных отходов возможно, но требует улучшения их физико-механических и декоративных свойств. Отдельными способами модифицирования или декорирования древесины можно улучшать исходные свойства древесного сырья. Среди существующих технологий модифицирования и декорирования отсутствуют технологии, позволяющие комплексно улучшать физико-механические и декоративные свойства древесного сырья при сохранении высоких экологических показателей.

1.4.3 Перспективным способом для изготовления облицовочных изделий из кусковых древесных отходов является способ, включающий операции обжига, браширования, прессования и термической обработки. Внедрение его в промышленное производство сдерживается недостаточной изученностью процесса, отсутствием рекомендаций по выбору набора и последовательности технологических операций, режимов обработки, оборудования и оснастки.

На основании сделанных выводов сформулированы *задачи исследования*:

- 1) обосновать структуру процесса обработки древесины хвойных пород для улучшения ее физико-механических и декоративных свойств с целью использования в производстве облицовочных изделий;
- 2) определить основные закономерности протекающих процессов и факторы, влияющие на процесс комбинированной обработки;
- 3) установить влияние параметров режимов обжига, браширования, прессования и термической обработки на показатели качества облицовочных изделий;
- 4) определить рациональные значения параметров режимов обработки, влияющих на качество облицовочных изделий;
- 5) разработать варианты конструкции и технологического процесса изготовления облицовочных изделий из кусковых древесных отходов;
- 6) оценить эффективность предложенных технологических решений и качество изготавливаемых облицовочных изделий.

2 ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ УЛУЧШЕНИЯ ДЕКОРАТИВНЫХ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ

Изготовление облицовочных изделий из кусковых древесных отходов требует комплексного улучшения их декоративных и физико-механических свойств (см. п. 1.3). Для определения возможности этого улучшения за счет операций обжига, браширования, прессования и термической обработки необходимо подтвердить, что при такой обработке будут выполнены условия, обеспечивающие повышение декоративных и физико-механических свойств древесины. В этой связи целью раздела является обоснование возможности улучшения декоративных и физико-механических свойств древесного сырья за счет комбинирования операций обжига, браширования, прессования и термической обработки и определение факторов комбинированной (многостадийной) обработки.

Задачи раздела:

- определение условий, способов и приемов, обеспечивающих высокие декоративные и физико-механические свойства древесины;
- исследование изменения свойств и структуры древесины при обжиге, брашировании, прессовании и термической обработке;
- определение закономерностей процесса комбинированной обработки и параметров технологических режимов для его регулирования.

2.1 Определение условий, способов и приемов, обеспечивающих повышение эксплуатационных свойств облицовочных изделий

Обеспечение высоких эксплуатационных свойств облицовочных изделий, изготавливаемых из кусковых древесных отходов, возможно только за счет сохранения природных декоративных и физико-механических свойств древесины, обусловленных особенностями ее строения, а также их повышения.

2.1.1 Способы улучшения декоративных свойств древесины

Декоративные свойства древесины определяют внешний вид облицовочных изделий. В результате анализа работ [66–73], проведенного в разделе 1 настоящей работы (см. п. 1.2.1, пп.1.2.2.1.) нами выделены способы, обеспечивающие высокие декоративные свойства древесины. К ним относятся выбор заготовок из пород, обладающих более красивой и благородной текстурой, в том числе тангенциального распила [97], а также применение технологий декорирования и отделки, которые приводят к изменениям цвета, блеска, текстуры и фактуры древесины. Результаты данного анализа приведены в строке 1 таблицы 2.1.

Таблица 2.1 – Условия, способы и приемы, обеспечивающие высокие декоративные и физико-механические свойства древесины

Требования к физико-механическим свойствам	Направления изменения строения и структуры заготовок из древесины, свойств их поверхности	Предлагаемые способы и технологические приемы
1 Высокие декоративные свойства	- Изменение цвета, блеска, текстуры и фактуры древесины	- Выбор заготовок тангенциального распила; - декорирование и отделка
2 Высокая твердость поверхности древесины	- Повышение содержания поздних трахеид	- Выбор заготовок смешанного и тангенциального распила из комлевой части ствола
	- Уплотнение структуры материала	- Модифицирование (прессование, пропитка, облучение)
3 Влагостойкость древесины	- Понижение содержания гемицеллюлоз	- Естественное старение; - термическая обработка; - химическая обработка
4 Водостойкость древесины	- Закрытие пор поверхностных слоев; - уплотнение структуры материала	- Формирование на поверхности защитно-декоративного покрытия; - модифицирование (прессование, пропитка термическая обработка)
5 Высокая биостойкость	- Увеличение содержания экстрактивных веществ	- Выбор заготовок из смолистых пород
	- Уплотнение структуры материала; - снижение равновесной влажности; - устранение питательной среды	- Модифицирование (пропитка, антисептирование, прессование, термической обработка)

Требования к физико-механическим свойствам	Направления изменения строения и структуры заготовок из древесины, свойств их поверхности	Предлагаемые способы и технологические приемы
6 Высокая атмосферостойкость	<ul style="list-style-type: none"> - Уплотнение структуры материала; - снижение равновесной влажности; - закрытие пор поверхностных слоев 	<ul style="list-style-type: none"> - Модифицирование; - формирование защитно-декоративного покрытия
	<ul style="list-style-type: none"> - Снижение шероховатости поверхности; - устранение рельефов и сложной конфигурации 	<ul style="list-style-type: none"> - Повышение качества обработки поверхности резанием; - отделка поверхности; - обоснованный выбор конструкции изделий
7 Стабильность формы и размеров деталей	<ul style="list-style-type: none"> - Уплотнение структуры материала; - закрытие пор поверхностных слоев 	<ul style="list-style-type: none"> - Модифицирование; - формирование защитно-декоративного покрытия

2.1.2 Условия и приемы повышения твердости поверхности древесины

Твердость поверхности древесины является важным показателем качества облицовочных изделий, определяющим их долговечность (см. п. 1.2), поэтому обеспечение высокой твердости необходимо при изготовлении облицовочных изделий.

В целом твердость древесины, как и другие физико-механические свойства, зависит от ее структуры. Наиболее высокая твердость обеспечивается за счет более плотной структуры материала [96]. Существует линейная зависимость между плотностью и твердостью древесины [87]. Выбор заготовок из более плотной древесины позволяет добиться более высоких значений твердости.

У хвойных пород, например, повышенное содержание поздних трахеид в комлевой части ствола ориентировочно на середине его радиуса дает более плотную структуру [47]. Соответственно, выбор заготовок из этой зоны обеспечит более высокую твердость древесины.

Искусственно обеспечить наиболее плотную структуру древесины и соответственно повышенную твердость можно за счет процессов обработки. Для этого применяют различные технологии модифицирования (пропитки, прессования, облучения) [74, 78–80, 82, 87–89]. Наиболее простым и экологичным,

менее ресурсо- и энергозатратным является прессование. Установлено, что твердость древесины (здесь обозначено H , кгс/мм²) возрастает с увеличением степени деформации ε по кривой типа [87]:

$$H = a + b\varepsilon^c, \quad (2.1)$$

где a , b , c – постоянные коэффициенты, зависящие от породы древесины.

В результате проведенного анализа работ [47, 74, 78–80, 82, 87–89, 96], нами выделены условия и приемы, обеспечивающие повышение твердости древесины, в том числе ее поверхности. Эти условия и приемы приведены в строке 2 таблицы 2.1 на стр. 35. Главным условием повышения твердости поверхности древесины является наличие уплотненной структуры материала, которое достигается преимущественно за счет прессования.

2.1.3 Условия обеспечения повышенной водо- и влагостойкости древесины

Срок эксплуатации изделий из древесины значительно зависит от водо- и влагостойкости материала [66], поэтому обеспечение водо- и влагостойкости древесины для изготовления облицовочных изделий является необходимым условием их высокого качества.

В процессе эксплуатации облицовочных изделий возникают ситуации взаимодействия материала не только с окружающим влажным воздухом, но и непосредственно с капельно-жидкой влагой. Способность древесины поглощать влагу вследствие ее пористого строения является одним из существенных недостатков как природного материала.

При взаимодействии древесины с влажным воздухом происходит процесс влагопоглощения. На поверхности древесины концентрируются молекулы воды и начинается процесс сорбции. Основные составляющие клеточных стенок древесины – целлюлоза, гемицеллюлозы, лигнин – сорбируют влагу из воздуха в разной степени. В большей мере сорбционная способность проявляется у гемицеллюлоз, слабее – у целлюлозы, и еще слабее – у лигнина [97]. В связи

с этим, одним из условий снижения влагопоглощения древесины является уменьшение содержания гемицеллюлоз. Это достигается в результате естественного старения, термической или химической обработки древесины [97].

При взаимодействии древесины с капельно-жидкой влагой происходит процесс водопоглощения. Влага проникает в глубь древесины через открытые поры поверхностных слоев и заполняет их по всему сечению материала [98]. Это приводит не только к изменению размеров и формы изделий из древесины, но и снижению физико-механических свойств. Возможное количество впитавшейся влаги зависит от плотности (пористости) древесины [98]. Соответственно, условиями снижения водопоглощения и повышения водостойкости являются закупоривание пор поверхностных слоев древесины и снижение пористости материала, а также исключение контакта материала с влагой. Это достигается различными способами: нанесением защитно-декоративных покрытий, пропиткой, прессованием, термической обработкой и другими видами модифицирования [98]. Анализ литературных источников [97–98], позволил установить способы и приемы, позволяющие достичь водо- и влагостойкости древесины (см. таблицу 2.1, стр. 35, строки 3 и 4).

Общими условиями обеспечения высокой влаго- и водостойкости древесины являются исключение и минимизация контакта с влагой, понижение содержания гемицеллюлоз и снижение пористости материала, особенно поверхностных слоев, что достигается за счет формирования на поверхности защитно-декоративных покрытий и модифицирования структуры древесины.

2.1.4 Способы повышения долговечности изделий из древесины

Для увеличения срока службы облицовочных изделий необходимо повышение их долговечности. Под долговечностью изделий из древесины понимают сохранение их эксплуатационных свойств в условиях температурно-влажностных колебаний и воздействия микроорганизмов, то есть долговечность древесины определяется показателями био- и атмосферостойкости материала [99].

Биостойкость характеризуется способностью древесины противостоять биологическим повреждениям, в первую очередь грибным. Выделяют два вида биостойкости древесины – естественную и приобретенную. Естественная биостойкость древесины зависит от многих факторов: породы, плотности, возраста древесины, геоклиматических условий произрастания и содержания веществ, обладающих биоцидными свойствами [99]. Наличие в составе экстрактивных веществ (смола, дубильных веществ, эфирных масел и камеди) препятствует биологической деструкции необработанной массивной древесины [100].

Приобретенная биостойкость обусловлена изменениями структуры древесины при ее модифицировании, в том числе свойствами и количеством введенных защитных составов [101]. Условиями повышения приобретенной биостойкости являются снижение равновесной влажности и пористости, повышение плотности древесины и удаление из нее питательной среды в результате обработки. Это достигается за счет технологий пропитки, антисептирования, прессования или термической обработки.

Под атмосферостойкостью древесины понимают ее устойчивость к воздействию солнечного света, осадков, температурных колебаний, ветра, пыли, газов и других атмосферных факторов. Для повышения атмосферостойкости изделий необходимо выполнение большинства вышеуказанных, и дополнительно к этому наличие непрозрачного покрытия, высокой твердости поверхности и сокращения площади контакта изделия с окружающей средой. Непрозрачное покрытие служит защитным экраном от ультрафиолетового излучения, что предотвращает разрушение лигнина. Высокая твердость поверхности защищает древесину от негативного влияния пыли и ветровых нагрузок. Минимизация площади контакта изделия с окружающей средой за счет повышения качества обработки поверхности, снижения ее шероховатости и по возможности исключения в конфигурации изделий рельефов и полостей препятствует ускоренному разрушению внутренних слоев материала.

В результате анализа работ [99–101] нами выделен ряд условий, обеспечивающих повышение долговечности изделий из древесины (см. строки 5 и 6

таблицы 2.1 на стр. 35, 36). Их выполнение достигается за счет разработки конструкции изделий в соответствии с условиями их эксплуатации, выбора заготовок из наиболее смолистых хвойных пород, повышения качества обработки резанием, обработки технологиями модифицирования и отделки.

2.1.5 Условия, обеспечивающие стабильность формы и размеров деталей из древесины

Низкая стабильность формы и размеров деталей и изделий из древесины является одним из их основных недостатков, снижающих конкурентоспособность. Стабильность формы и размеров напрямую связана с содержанием связанной влаги в древесине и зависит от процессов усушки и разбухания, обусловленных колебаниями влажности. В связи с тем, что связанная влага находится в лигноуглеводной матрице, в промежутке между целлюлозными микрофибриллами и частично внутри самих микрофибрилл [102], в основном ориентированных вдоль оси ствола, изменение содержания связанной влаги приводит к изменениям толщины клеточных стенок преимущественно в поперечном направлении. Соответственно, наименьшая стабильность размеров заготовок наблюдается в направлении поперек волокон. Существует гиперболическая зависимость величины усушки и разбухания от плотности древесины: чем выше плотность древесины, тем больше величина усушки и разбухания [97]. Поэтому соотношение ранней и поздней зон годовичных слоев в заготовке влияет на стабильность размеров. Заготовки с более широкой ранней зоной годовичного слоя и более узкой поздней зоной подвержены усушке и разбуханию в меньшей степени.

Вместе с тем колебания содержания связанной влаги влияют на стабильность формы деталей. Неравномерное распределение влажности по объему заготовок является причиной появления внутренних напряжений, приводящих к короблению заготовки и появлению трещин.

В связи с вышесказанным, условиями, обеспечивающими стабильность формы и размеров деталей из древесины, являются снижение поглощающей

способности древесины, достигаемое за счет закупоривания пор поверхностных слоев древесины и уплотнение структуры материала (см. строку 7 таблицы 2.1 на стр. 36). С этой целью используют технологии отделки, пропитки и модифицирования, в том числе прессования и термической обработки.

2.2 Анализ процессов обработки древесины, влияющих на ее декоративные и физико-механические свойства

2.2.1 Обугливание древесины при поверхностном обжиге

Механизм процесса обжига имеет схожие закономерности с механизмами процессов пиролиза древесины и термической обработки [103, 104].

При соприкосновении древесины с источником огня происходят следующие физико-химические процессы: 1) нагрев древесины вследствие конвекции и излучения; 2) испарение влаги в окружающую среду и ее перемещение вглубь материала; 3) пиролиз древесины, образование конденсированного и газообразных продуктов пиролиза; 4) горение газообразных продуктов пиролиза; 5) горение конденсированного продукта пиролиза [103].

При поверхностном обжиге можно наблюдать первые три фазы. Четвертая фаза протекает лишь на начальной стадии на кромках заготовок. Пятая фаза наблюдается при более глубоком обжиге. В результате обработки на поверхности образуется тонкий слой угля, обладающий неоднородной пористой структурой с усадочными трещинами и располагающаяся под ним зона пиролиза (рисунок 2.1) [104].



Рисунок 2.1 – Поперечный разрез бруска древесины, подвергшийся обжигу:
 1 – зона растрескивания и образования трещин; 2 – ненарушенная зона;
 3 – углистый слой; 4 – зона пиролиза; 5 – зона, не охваченная пиролизом;
 стрелками указаны возможные направления движения летучих продуктов [104]

Глубина обугливания Z , равная сумме толщин углистого слоя 3 и зоны пиролиза 4, определяется продолжительностью обработки t . Обугливание происходит последовательно, распространяясь от поверхности в глубь сечения материала в среднем со скоростью от 0,7 до 1 мм/мин [105]. Скорость обугливания v зависит от ряда факторов: плотности ρ и влажности древесины W , температуры обжига T , размеров заготовки: длины L , ширины B , толщины H_3 , количества обжигаемых сторон n , шероховатости поверхности $R_{m\ max}$, а также показателей ориентации заготовки в пространстве Y , формы заготовки F , притока воздуха $P_в$, наличия трещин S [106]. В работе [106] показано, что, «в первом приближении ... зависимость глубины обугливания от времени близка к прямолинейной».

Таким образом, глубину обугливания можно представить в виде соотношения:

$$Z = v \cdot t. \quad (2.2)$$

Поскольку v является функцией от следующих факторов [106]:

$$v = f(\rho, W, T, L, B, H_3, n, R_{m\ max}, Y, F, P_в, S), \quad (2.3)$$

то глубина обугливания является функцией от ряда факторов:

$$Z = f(\rho, W, T, L, B, H_3, n, R_{m\ max}, Y, F, P_в, S, t). \quad (2.4)$$

Указанные факторы можно рассматривать как начальные условия и параметры режима обжига. При этом увеличение плотности, влажности древесины и размеров сечения заготовки приводит к уменьшению скорости обугливания. Это объясняется тем, что для интенсивного обугливания необходима более рыхлая структура древесины и значительный приток воздуха; содержащаяся в древесине влага требует дополнительных энергетических затрат на испарение; нагрев заготовки более крупного сечения осуществляется медленнее за счет интенсивного отвода тепла. Вместе с тем более быстрому обугливанию способствует увеличение притока воздуха, температуры нагревающей среды, количества обжигаемых сторон и шероховатости поверхности [107].

При проведении поверхностного обжига древесины на глубину не более 1 мм температуру обработки обычно стабилизируют на уровне $1100 \div 1300$ °С. Продолжительность обработки t , выраженную через скорость перемещения пламени по поверхности $V_{nn} = L / t$, определяют в зависимости от факторов ρ , W , n , $R_{m \max}$, Y , F , $P_{\text{в}}$, S . Для заготовок прямоугольной формы без рельефов и трещин с $\rho = 400 \div 600$ кг/м³, $W = 8 \div 12$ %, $R_{m \max} \leq 200$ мкм, обжигаемых с одной стороны без дополнительного притока воздуха, скорость обработки обычно составляет $V_{nn} = 0,5 \div 1,2$ м/мин.

В результате обжига за счет термодеструкции углеводных и ароматических компонентов в поверхностном слое (глубиной до 2 мм) и закупорки в нем пор древесины становится менее восприимчивой к воздействию грибков, микроорганизмов и влаги [108]. Малая продолжительность процесса поверхностного обжига обуславливает слабый характер деструкции, особенно в глубинных слоях заготовки. Это не позволяет обеспечить высоких защитных свойств древесины, но для декоративных целей такая обработка обжигом является достаточной. Для последующей обработки заготовок давлением слабая деструкция является наоборот преимуществом, так как происходящий в процессе термодеструкции разрыв молекулярных цепочек гемицеллюлозы приводит к увеличению устойчивости древесины к сжатию [108], а высокая степень устойчивости к сжатию для прессова-

ния нежелательна. Поэтому для комбинированного процесса ограничение интенсивности обработки поверхностным обжигом за счет регулирования скорости перемещения пламени по поверхности является важным.

2.2.2 Выявление природной структуры древесины при брашировании

Для структурирования поверхности древесины применяют способы естественного старения, химического травления, воздушно-абразивной обработки и браширования. Особое распространение получило браширование, в том числе браширование с обжигом, так как оно практически не имеет ограничений по производительности, экологичности и размерам обрабатываемых заготовок [109]. Сочетание браширования с операцией предварительного обжига обеспечивает более эффективное повышение декоративных свойств заготовок из древесины, в связи с чем в настоящей работе будут рассматриваться процессы, протекающие при такой двухстадийной обработке.

При обработке обожженной поверхности щетками на поверхности формируется «гребенчатый» рельеф. Глубина рельефа (шероховатость поверхности) после обработки варьируется в диапазоне $R_{m\max} = 500 \div 1500$ мкм. Согласно классификации поверхностей, разработанной Шахнельдяном Б.Н. и Загаринской Л.А. [109], полученная поверхность относится к рельефной и шероховатой.

Управлять процессом браширования, то есть обеспечивать необходимую степень браширования (шероховатость поверхности $R_{m\max}$) можно путем регулирования таких параметров режима, как вид распила r , тип и жесткость щеток J , скорость вращения инструмента V и скорость подачи заготовок V_s [109]. Сергеева В.В. отмечает, что на результат обработки брашированием прямое влияние оказывает также влажность древесины W , соотношение плотностей ранней и поздней зон древесины (порода) Pr и величина выхода инструмента h [109] (рисунок 2.2).

Для браширования с предварительным обжигом величина влажности заготовок не будет являться первостепенным фактором, поскольку влажность

заготовок для обжига должна составлять от 5 до 20 %, а поверхностные обожженные слои будут обладать пониженной влажностью. У заготовок из хвойных пород соотношение плотностей ранней и поздней зон годичного слоя максимально (для сосны равно 2,24 [109]), что позволяет формировать в процессе браширования максимально рельефную и контрастную поверхность, обладающую высокими эстетическими свойствами.

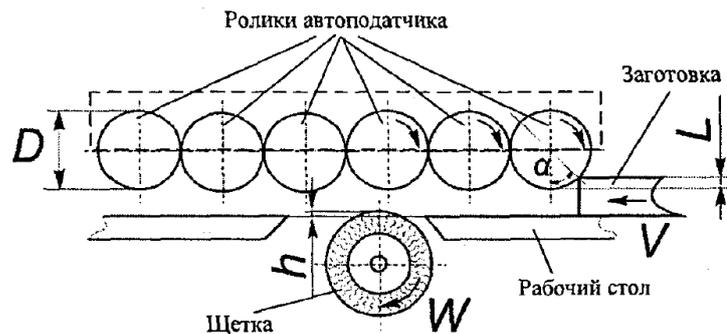


Рисунок 2.2 – Схема обработки брашированием [109]

По исследованиям В.В. Сергеевой [109] шероховатость обработанной поверхности заготовок из древесины зависит от величины выхода инструмента не прямо пропорционально. Наиболее выраженная текстура ($R_{m\max} = 500 \div 600$ мкм) формируется при величине выхода инструмента от 0,7 до 1,2 мм. (рисунок 2.3).

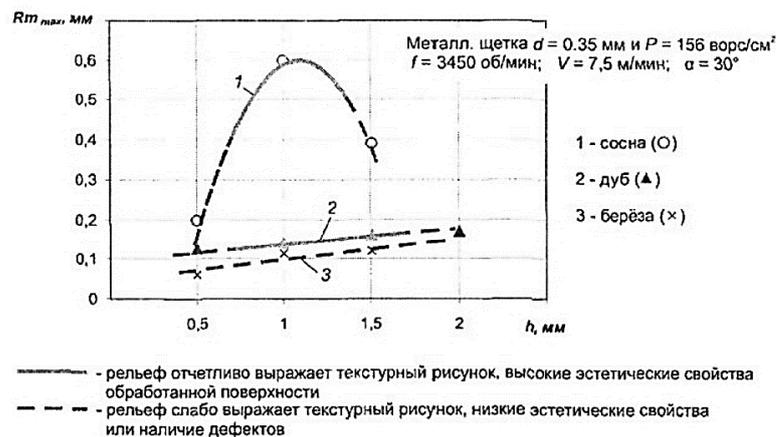


Рисунок 2.3 – Зависимость глубины рельефа $R_{m\max}$ от выхода инструмента h для различных пород древесины [109]

Будем считать, что в случае браширования с предварительным обжигом при аналогичных режимах обработки шероховатость поверхности увеличится,

предположительно на $0,3 \div 0,7$ мм за счет повышенной хрупкости обожженных слоев, но характер зависимости шероховатости поверхности от величины выхода инструмента не изменится.

Таким образом, можно представить, что шероховатость брашированной поверхности в виде функции от следующих факторов:

$$R_{m \max} = f(r, J, V, V_s, W, Pr, h). \quad (2.5)$$

При брашировании заготовок ручным электроинструментом факторы V , V_s , h заменяются на скорость обработки V_p и усилие прижима щетки $P_{щ}$.

Рекомендуемые в работе [109] значения параметров режима браширования заготовок из древесины хвойных пород: $V = 3200 \div 3500$ об/мин; $V_s = 4 \div 7$ м/мин; $h = 0,7 \div 1,2$; тип щеток – металлические, слабой набивки с диаметром ворса до $0,35$ мм.

2.2.3 Уплотнение подвергнутой обжигу и брашированию древесины при ее сжатии поперек волокон

2.2.3.1 Особенности прессования древесины как анизотропного материала

Характерной особенностью древесины всех пород является анизотропия, которая является следствием сложного слоисто-трубчатого или трубчатого строения древесины. Благодаря процессу прессования природная анизотропия массивной древесины может быть как усилена, так и ослаблена [87].

У хвойных пород, например, различие механических свойств древесины в радиальном и тангенциальном направлениях обусловлено ярко выраженной слоистостью, чередованием ранней и поздней зон годовичных слоев. Наибольшую прочность при сжатии поперек волокон древесина хвойных пород имеет в тангенциальном направлении, если кривизна годовичных колец в пределах сжимаемого участка невелика. Это объясняется большими размерами поздних трахеид в тангенциальном направлении по сравнению с их размерами в ради-

альном направлении, вследствие влияния сердцевинных лучей [110]. При исследовании процессов прессования важно учитывать ориентированное микро- и макростроение древесины.

2.2.3.2 Определение величины деформации древесины

Под воздействием нагрузки древесина деформируется. Деформацию древесины можно рассматривать как деформацию упруго-вязкого материала [87]. Общая деформация ε является суммой упругой ε_y и пластической ε_n деформаций:

$$\varepsilon = \varepsilon_y + \varepsilon_n, \quad (2.6)$$

или

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \frac{1}{2\eta} \cdot \frac{\sigma^2}{v}, \quad (2.7)$$

где σ – напряжение, кгс/см²;

E – модуль упругости древесины при сжатии поперек волокон;

η – коэффициент вязкости материала, кгс/см²;

v – скорость нагружения.

Деформация древесины зависит от коэффициента внутреннего трения, скорости нагружения и модуля упругости.

Составляющая $\frac{\sigma}{E}$ обычно очень мала, и выражение (2.7) с достаточной степенью точности [87] можно представить в виде:

$$\varepsilon = \frac{1}{2\eta} \cdot \frac{\sigma^2}{v}. \quad (2.8)$$

Величина деформации обратно пропорционально коэффициенту внутреннего трения и скорости нагружения. Чем меньше коэффициент внутреннего трения и чем медленнее происходит нагружение, тем больше деформация при одном и том же напряжении.

Коэффициент внутреннего трения древесины зависит от вязкости связанной влаги и толщины ее слоя, поэтому и деформация при нагружении также будет зависеть от данных факторов.

Кроме того, отмечается [87], что на деформацию древесины при сжатии в радиальном направлении оказывают влияние сердцевинные лучи. С увеличением ширины сердцевинных лучей $B_{сл}$ повышается сопротивление древесины сжатию.

Температура T и влага W на деформацию ε влияют незначительно, но на величину напряжения σ их влияние существенно [87]. При повышении температуры и влажности древесины снижается коэффициент внутреннего трения, что приводит к снижению напряжения σ .

Таким образом, величина деформации древесины представляет собой функцию от ряда факторов:

$$\varepsilon = f(\sigma, \tau, E, \eta, \nu, B_{сл}, T, W). \quad (2.9)$$

На основании вышеизложенного и анализа работ [87–91] можно заключить, что факторы, влияющие на деформацию древесины, относятся как к свойствам заготовки (порода, влажность, вид распила, кривизна годичных слоев и др., соотношение ранней и поздней зон годичного слоя, смолистость), так и к самому процессу прессования (температура обработки, скорость нагружения и усилие прессования, наличие или отсутствие пресс-форм).

При выборе режима прессования необходимо учитывать влияние обеих групп факторов.

2.2.3.3 Фазы деформации древесины

Ранее определено, что деформация древесины при сжатии протекает в три фазы [87]. Первая фаза ограничена участком величины относительной деформации от $\varepsilon = 0 \%$ до $\varepsilon = 3 \div 6 \%$, что определяется температурой и влажностью древесины. Деформация первой фазы в радиальном направлении прессования протекает главным образом из-за упругого сжатия клеток ранней зоны

годовых слоев и продолжается до момента, пока стенки элементов ранней зоны не потеряют устойчивости и не начнут сминаться.

Вторая фаза ограничена участком от $\varepsilon = 3 \div 6 \%$ до $\varepsilon = 30 \div 40 \%$. Общая деформация древесины в данной фазе складывается из пластического течения и смятия оболочек клеток ранней древесины и относительной деформации оболочек клеток поздней древесины.

Третья фаза протекает за счет деформации толстых оболочек клеток поздней древесины. Эти оболочки даже при больших напряжениях σ не сминаются, поэтому абсолютная деформация в данной фазе незначительна (рисунок 2.4).

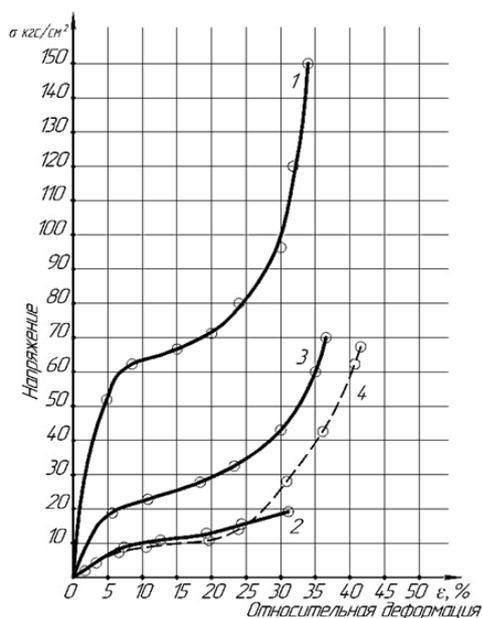


Рисунок 2.4 – Типичные диаграммы деформация – напряжение ε – σ для древесины сосны при сжатии в радиальном направлении: 1– в сухом состоянии, 2 – в пропаренном состоянии, 3 – во влажном состоянии при комнатной температуре, 4 – высушенной и затем увлажненной [87]

На практике древесину прессуют до 40 % упрессовки, так как для получения высокопрочной древесины прессование следует доводить до третьей фазы деформации, начало которой согласно диаграмме деформация-напряжение лежит в интервале от 32 до 40 % [87]. С учетом того, что после снятия нагрузки древесина стремится восстановить свою первоначальную форму, сжатие древесины в прессе должно быть бóльшим ($> 40 \%$), но при этом не приводить к разрушению заготовок.

2.2.3.4 Относительная деформация и боковое расширение древесины

Результат процесса прессования характеризуют через показатель относительной деформации ε , % [87], который определяют либо по изменению геометрических размеров заготовки, либо по изменению объемного веса (плотности) древесины ρ :

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h_0}, \quad (2.10)$$

$$\varepsilon = \frac{\rho - \rho_0}{\rho}, \quad (2.11)$$

где h_0 – начальный размер бруска в направлении прессования, мм;

h – конечный размер бруска в этом же направлении, мм;

ρ_0 – начальная плотность заготовок из древесины, кг/м³;

ρ – плотность заготовок после прессования, кг/м³.

Процесс прессования также характеризует величина бокового расширения δ . Значение бокового расширения зависит от степени деформации, направления прессования относительно годовичных слоев, породы древесины и метода обработки. С увеличением радиуса кривизны годовичных слоев и увеличением ширины слоя ранней древесины боковое расширение увеличивается.

Таким образом, показатели относительной деформации и бокового расширения являются выходными характеристиками процесса прессования и должны быть приняты в качестве откликов в экспериментальных исследованиях процесса прессования.

2.2.3.5 Неравномерность уплотнения при прессовании

При одноосном прессовании заготовка из древесины уплотняется неравномерно. Неравномерность уплотнения в первую очередь обусловлена снижением передающего давления по высоте [87].

По данным П.Н. Хухрянского, величина неравномерности уплотнения при степени деформации более 30 % не превышает 4 %. При одноосном одно-стороннем прессовании в пресс-форме без предварительного нагрева и пропаривания, степень деформации по высоте бруска изменяется по уравнению [87]:

$$\varepsilon = \frac{1}{b} \ln \frac{\sigma e^{-2\frac{1}{b}f\mu\xi}}{a}, \quad (2.12)$$

где f – коэффициент трения древесины о стенки матрицы;

μ – коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона);

ξ – расстояние от передающей давление поверхности до элементарного слоя в спрессованном состоянии;

a, b – постоянные величины, зависящие от породы древесины, способа и режима ее предварительной обработки.

Вместе с тем существуют различные представления о распределении наиболее и наименее уплотненных слоев по толщине прессуемого бруска (рисунок 2.5) [85, 111].

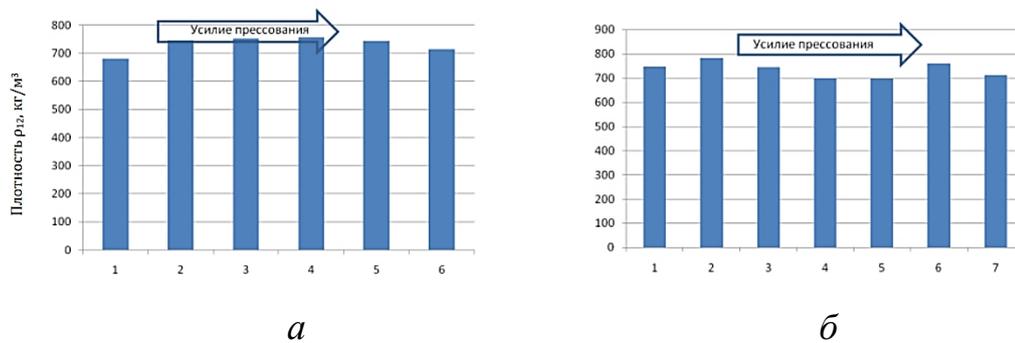


Рисунок 2.5 – Графики послойного распределения плотности прессованной древесины березы: *a* – влажностью 15 %; *б* – 30 % [111]

При прессовании заготовок, подвергнутых обжигу и брашированию будет также наблюдаться неравномерность уплотнения заготовок по ширине. Сведения о характере изменений степени деформации по ширине заготовок вследствие влияния рельефной поверхности, соответствующей природной структуре древесины, в изученных литературных источниках отсутствуют, в связи с чем данный вопрос необходимо рассмотреть в настоящей работе.

2.2.3.6 Особенности прессования заготовок, подвергнутых обжигу и брашированию

Прессование заготовок из древесины, подвергнутых обжигу и брашированию, в виду влияния рельефной поверхности является неравномерным. В связи с этим, надо предполагать, что типичная диаграмма деформация – напряжение ε – σ при сжатии древесины в сухом состоянии (график 1 на рисунке 2.6), включающая три фазы деформации, будет претерпевать видоизменения, и условно можно будет выделить четыре фазы (график 2 на рисунке 2.6).

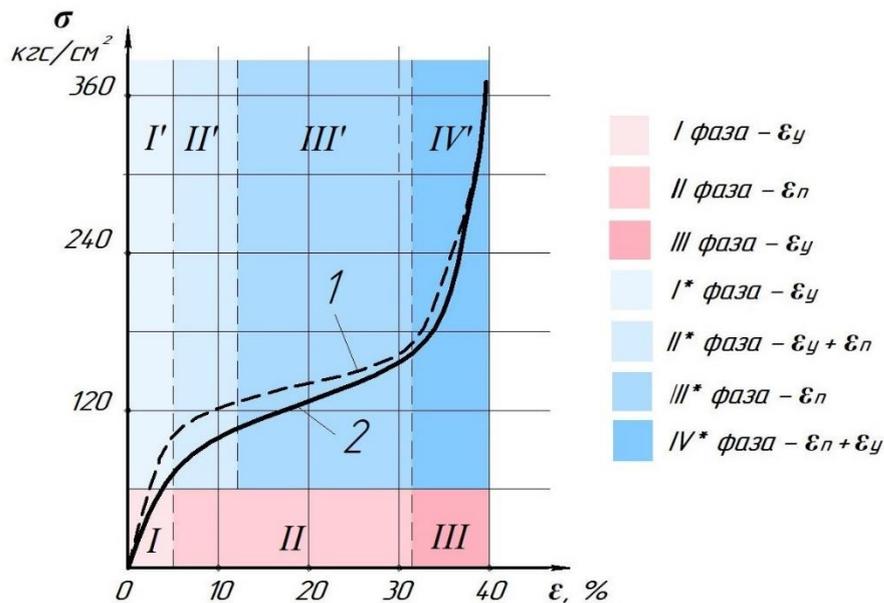


Рисунок 2.6 – Диаграмма деформация-напряжение ε – σ при сжатии древесины в сухом состоянии: 1 – при равномерном прессовании; 2 – при прессовании после браширования

В начальный момент времени давление пуансона будет осуществляться только на вершины гребней (рисунок 2.7 а, б). Напряжение от гребней будет передаваться нижележащим слоям клеток, и расположенные под ними клетки ранней зоны годичного слоя начнут упруго деформироваться. В этот момент начальное напряжение в древесине будет меньше напряжения при равномерном прессовании, так как площадь поверхности гребней ω_{gp} значительно меньше площади продольного сечения заготовки ω . Этот процесс соответствует фазе I' (рисунок 2.6).

При достижении $\varepsilon = 3 \div 6 \%$ [87] (рисунок 2.7 *в*) в зоне под гребнями (далее зона Г) начнутся пластическое течение и смятие оболочек клеток ранней зоны годичного слоя. После соприкосновения пуансона с поверхностью впадин ($\varepsilon = 9 \div 12 \%$) (рисунок 2.7 *г*) зона заготовки под впадиной (далее зона В) начнет упруго деформироваться, и общая деформация в этот момент, согласно выражению (2.6), будет складываться из упругой и пластической составляющих, соответственно участок кривой будет характеризоваться более крутым подъемом. Эти процессы соответствуют фазе *II'* (рисунок 2.6).

Далее, предположительно при $\varepsilon = 12 \div 30 \%$, деформация клеток в зонах Г и В будет протекать преимущественно за счет пластической деформации (фаза *III'*). После чего начнется плавный переход к деформации толстостенных клеток поздней древесины (фаза *IV'*).

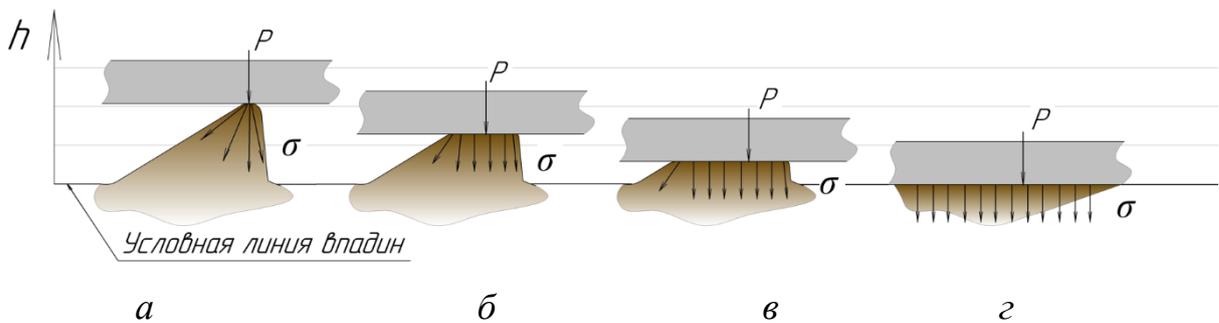


Рисунок 2.7 – Схема прессования гребней

Зоны заготовки Г и В будут характеризоваться разной степенью деформации. Так как зона Г заготовки деформируется в большей степени, чем зона В, важно, чтобы режим прессования, определяемый через среднюю степень деформации зоны Г $\varepsilon_{Г\text{ ср}}$, обеспечивал в поверхностном слое заготовки в зоне В уплотнение до третьей фазы деформации.

Для определения зависимости степени деформации поверхностного слоя зоны В $\varepsilon_{В}$ от степени деформации зоны Г $\varepsilon_{Г\text{ ср}}$ необходимо сначала получить зависимости $\varepsilon_{г}$ и $\varepsilon_{в}$.

С целью получения необходимых зависимостей рассмотрим условную упрощенную модель рельефной заготовки (рисунок 2.8 *а*). Заготовку шириной *В* условно представим в виде набора брусков двух высот, соответствующих толщинам заготовки в зоне гребней и в зоне впадин:

$$B = b_{\Gamma} + b_{\text{В}} = \sum_{i=1}^n b_{\Gamma i} + \sum_{j=1}^n b_{\text{В}j}, \quad (2.13)$$

где b_{Γ} – суммарная ширина зоны гребней, мм;

$b_{\text{в}}$ – суммарная ширина зоны впадин, мм;

$b_{\Gamma i}$ – ширина i -го гребня, мм;

$b_{\text{в}j}$ – ширина j -ой впадины, мм;

i, j – число гребней и впадин в заготовке.

Возьмем по одному бруску из зоны Г и зоны В и определим для них зависимости изменения степени деформации по сечению при прессовании в пресс-форме, основываясь на принципе равновесия элементарного слоя, предложенного для описания процесса прессования П.Н. Хухрянским [87].

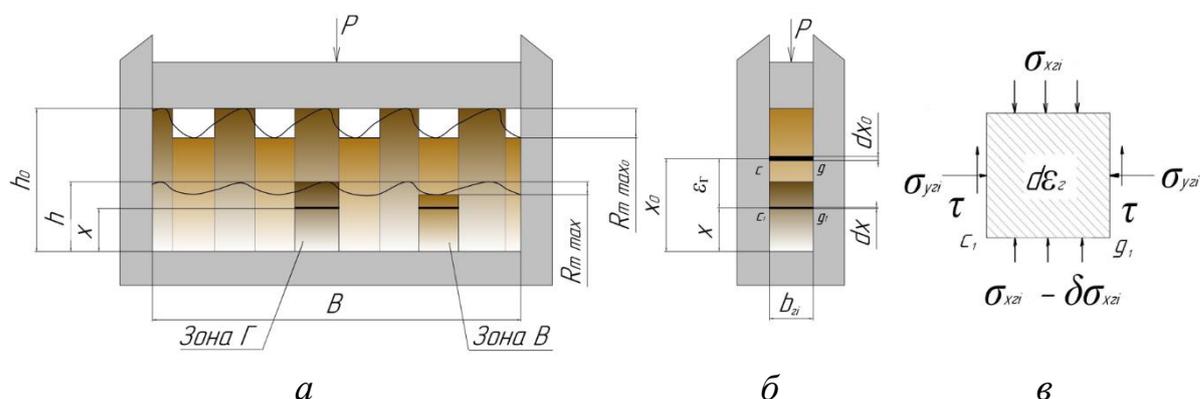


Рисунок 2.8 – Расчетная схема: *а* – упрощенная схема заготовки; *б* – схема прессования гребня; *в* – элементарный слой

Сначала определим зависимость изменения степени деформации ε_{Γ} в бруске зоны Г. Расчетная схема представлена на рисунке 2.8 б, в. Для нее, а также для общей модели заготовки (рисунок 2.8 а) приняты следующие обозначения:

h_0 и h – высота бруска до и после прессования, мм;

$b_{\Gamma i}$ и L – ширина и длина бруска, мм;

$R_{m\max 0}$ и $R_{m\max}$ – шероховатость поверхности заготовки соответственно до и после прессования, мкм;

ε_{Γ} – степень деформации зоны Г, % определяемая по (2.10);

$\varepsilon_{\text{в}}$ – степень деформации зоны В, %, определяемая по выражению (2.14):

$$\varepsilon_B = \frac{h_0 - h - 0,001R_{m \max 0} + 0,001R_{m \max x}}{h_0 - 0,001R_{m \max 0}}, \quad (2.14)$$

x_0 – начальное расстояние от дна матрицы до элементарного слоя cg , мм;

dx_0 – толщина слоя cg до прессования, мм;

x – расстояние от дна матрицы и до слоя cg в спрессованном состоянии, мм;

dx – толщина слоя cg в спрессованном состоянии, мм;

$\sigma_{\Gamma i}$ – напряжение непосредственно под поверхностью, передающей давление, МПа;

$\sigma_{x\Gamma i}$ – напряжение в древесине на глубине x от дна матрицы, МПа;

$\sigma_{y\Gamma i}$ – напряжение от бокового давления на стенки соседних зон заготовки, МПа;

τ – напряжение от трения о поверхности соседних зон заготовки, МПа.

Введем следующие допущения: влажность и температура по всему сечению брусков одинаковы; смежные бруски выполняют функцию ограничивающих стенок пресс-формы и не деформируются от распирающих боковых усилий; собственный вес древесины не учитывается; коэффициент трения дерева о металл для боковых брусков равен коэффициенту внутреннего трения древесины, ширины всех брусков зоны Γ одинаковы, ширины всех брусков зоны B равны между собой, $R_{m \max} = 0,2 R_{m \max 0}$.

Выделим у спрессованного бруска на расстоянии x от дна матрицы слой древесины толщиной dx (рисунок 2.8 б). На этот слой действуют три силы: прессования, бокового давления, трения древесины о боковые стенки смежных брусков.

Боковое давление $\sigma_{y\Gamma i}$ зависит от бокового расширения древесины и напряжения в ней при прессовании. При заданном напряжении $\sigma_{x\Gamma i}$ на глубине x боковое давление будет равно:

$$\sigma_{y\Gamma i} = \mu \sigma_{x\Gamma i}, \quad (2.15)$$

где μ – коэффициент поперечной деформации.

Сила трения τ зависит от $\sigma_{y\Gamma i}$ и от коэффициента внутреннего трения древесины η , так как принято, что матрицей являются смежные бруски:

$$\tau = \eta\sigma_{ygi} = \eta\mu\sigma_{xgi}. \quad (2.16)$$

При условии равновесия слоя cg можно записать уравнение:

$$d\sigma_{xgi}b_{gi}L + 2\tau Ld(h-x) = 0, \quad (2.17)$$

или

$$d\sigma_{xgi}b_{gi}L + 2\eta\mu\sigma_{xgi}Ld(h-x) = 0. \quad (2.18)$$

После деления переменных на σ_{xgi} и интегрирования получим:

$$\frac{d\sigma_{xgi}}{\sigma_{xgi}} + 2\eta\mu\frac{1}{b_{gi}}d(h-x) = 0. \quad (2.19)$$

Откуда:

$$\sigma_{xgi} = ce^{-2\eta\mu\frac{1}{b_{gi}}(h-x)} = 0. \quad (2.20)$$

Для определения коэффициента c примем $(h-x) = 0$. Таким образом $c = \sigma_{gi}$, то есть для верхнего слоя древесины давление прессования равно давлению пуансона.

Давление прессования древесины на любой высоте бруска выразится уравнением:

$$\sigma_{xgi} = \sigma \cdot e^{-2\eta\mu\frac{1}{b_{gi}}(h-x)} \quad (2.21)$$

Для определения зависимости изменения степени деформации по толщине бруска примем, что характер зависимости между напряжением и степенью деформации описывается уравнением [87]:

$$\sigma_{xgi} = ae^{b\varepsilon}, \quad (2.22)$$

где a и b – коэффициенты, зависящие от породы и предварительной обработки древесины.

Исходя из уравнения (2.23):

$$\varepsilon = \frac{1}{b} \ln \frac{\sigma_{xgi}}{a}, \quad (2.23)$$

и подставив выражение (2.21) в (2.23), получим зависимость деформации древесины по высоте бруска в зоне i -го гребня:

$$\varepsilon_{ri} = \frac{1}{b} \ln \frac{\sigma_{ri} e^{-\frac{2\eta\mu(h-x)}{b_{ri}}}}{a}. \quad (2.24)$$

Для всей зоны гребней в заготовке выражение (2.24) будет иметь вид:

$$\varepsilon_r = \frac{1}{b} \ln \frac{\sigma_r e^{-\frac{2\eta\mu(h-x)}{b_r}}}{a}. \quad (2.25)$$

Упростив выражение (2.25), получим:

$$\varepsilon_r = k_1 - k_2 \frac{\eta\mu(h-x)}{b_r}, \quad (2.26)$$

где k_1 и k_2 – коэффициенты, зависящие от породы древесины, вида распила заготовки, способа и режимов ее предварительной обработки.

Аналогичным образом определим зависимость изменения степени деформации древесины по высоте бруска в зоне впадин:

$$\varepsilon_B = \frac{1}{b} \ln \frac{\sigma_B e^{-\frac{2\eta\mu(h-x-0,0002R_{m \max 0})}{B-b_r}}}{a}, \quad (2.27)$$

или

$$\varepsilon_B = k_3 - k_4 \frac{\eta\mu(h-x-0,0002R_{m \max 0})}{B-b_r}, \quad (2.28)$$

где k_3 и k_4 – коэффициенты, зависящие от породы древесины, вида распила заготовки, способа и режимов ее предварительной обработки.

После получения зависимостей ε_r и ε_B , определим их соотношение:

$$\frac{\varepsilon_B}{\varepsilon_r} = (k_3 - k_4 \frac{\eta\mu(h-x-0,0002R_{m \max 0})}{b_B}) / (k_1 - k_2 \frac{\eta\mu(h-x)}{b_r}). \quad (2.29)$$

При подстановке справочных значений коэффициентов [159], величин напряжений, соответствующих началу третьей фазе деформации [87], и размеров заготовок $h = 16$ мм и $B = 50$ мм для $x > 0,8h$, получим следующее выражение:

$$\varepsilon_B = 0,89\varepsilon_r \quad (2.30)$$

Затем, определив при различных значениях давления прессования средние значения степени деформации зоны Г $\varepsilon_{Г\text{ ср}}$ по пяти значениям $\varepsilon_{Г}$, найденным по уравнению (2.26) для равномерно расположенных по толщине заготовки слоев и подставив их в уравнение (2.10), и также определив по выражениям (2.26) и (2.28) значения $\varepsilon_{Г}$ и $\varepsilon_{В}$ для поверхностного слоя, получили зависимость (рисунок 2.9).

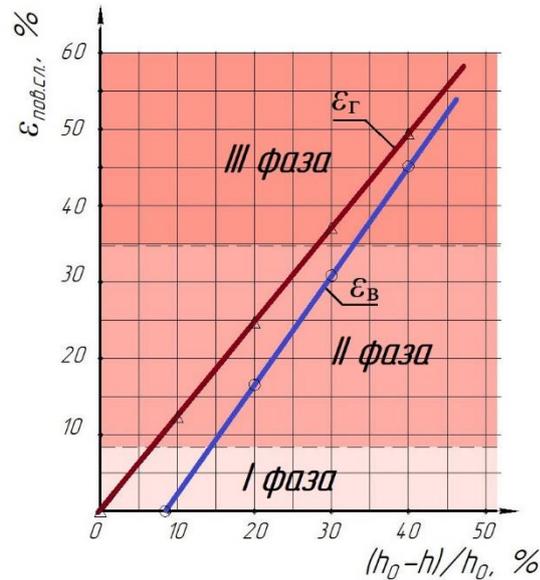


Рисунок 2.9 – Зависимость степени деформации зон Г и В заготовки от величины относительной деформации заготовки по толщине

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

Кроме того, проведенный анализ, в том числе анализ уравнений (2.25) и (2.27), включающих 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 $R_{m\text{ max}}$: $\varepsilon = f(Pr, W, R_{m\text{ max}})$. Полученные выводы послужили основой для выбора варьируемых факторов при проведении экспериментальных исследований (см. п. 4.2).

2.2.4 Изменения структуры и свойств древесины при термической обработке

2.2.4.1 Структурные изменения древесины

Суть термической обработки заключается в нагревании древесины до температуры в диапазоне от 150 до 240 °С, в результате чего происходит изменение ее цвета, структуры и состава [112].

На первом этапе при температуре от 50 до 100 °С из древесины испаряется влага и экстрактивные вещества – терпены, воски, фенол, жиры. Они не являются структурообразующими и легко удаляются [113].

Далее под действием более высоких температур (более 150 °С) разлагается гемицеллюлоза на более мелкие по размеру молекулы. Затем из состава древесины паром вымываются растворимые сахара и глюкоза. В результате этого исчезает питательная среда для грибков и бактерий, уменьшается объем материала, снижается уровень его внутренних напряжений и способность к водопоглощению [113].

Подобно гемицеллюлозе лигнин преобразуется в реактивные молекулы другого типа. Это способствует изменению клеточной структуры древесины. Структура целлюлозы при этом сохраняется неизменной. Взаимодействие реагентов и образование термореактивных (отверждаемых) смол, обволакивающих волнистую структуру целлюлозы, ведет к образованию жесткой структуры материала [112, 114].

Вместе с тем полимеры, составляющие стенки древесных клеток, при высокой температуре расплавляются, стенки сосудов частично свариваются, и древесина теряет присущую ей пористость, что почти полностью исключает в дальнейшем проникновение в нее атмосферной влаги [115].

2.2.4.2 Факторы процесса и их влияние на свойства заготовок из древесины

Варьирование режимов термической обработки древесины позволяет получать древесину с различными декоративными, теплофизическими, физико-механическими и другими свойствами. Основными параметрами режима термообработки древесины являются температура и продолжительность обработки, влажность агента обработки и давление в камере [112, 116].

Многочисленными исследованиями [117–124], направленными на изучение изменения свойств древесины от режимов ее термомодифицирования, установлены следующие закономерности. Увеличение температуры и продолжительности обработки приводит к большей степени разрушения структурных компонентов в результате чего наблюдается снижение прочности [117, 118]. Обработка при высоких температурах (более 220 °С) возможна только в среде с высоким содержанием водяного пара и низким содержанием кислорода, чтобы предотвратить горение древесины.

Воздействие на древесину температуры ниже 60 °С независимо от длительности обработки не снижает ее эксплуатационную прочность. Влияние более высокой температуры сказывается уже при $T = 80$ °С и продолжительности $t = 40 \div 50$ ч, а при $T = 120$ °С, $t = 2 \div 3$ ч [119].

В результате экспериментальных исследований, направленных на определение биостойкости термически обработанной древесины [117], установлено, что термообработка при температуре 190 °С обеспечивает высокую степень защиты древесины от поражения деревоокрашивающими и плесневыми грибами. При этом устойчивость древесины к грибам, вызывающим ее гниение, повышается незначительно.

Кроме того, в процессе термообработки снижается равновесная влажность древесины. Исследования показывают [120], что в диапазоне до 120 °С данный параметр изменяется незначительно. Заметное изменение равновесной влажности древесины происходит при достижении температуры 160 °С. Зависимость изменения равновесной влажности от температуры обработки представлена на рисунке 2.10.

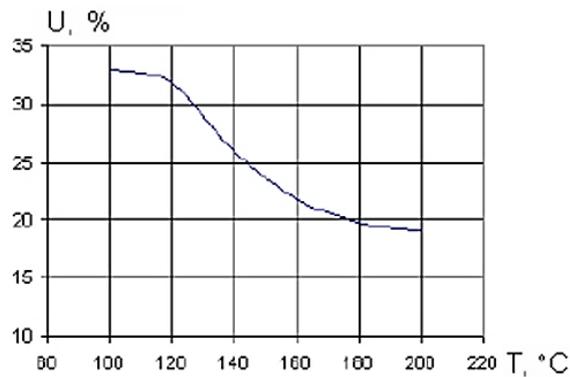


Рисунок 2.10 – Влияние температуры обработки на равновесную влажность древесины [120]

Цвет древесины является также одним из важнейших показателей оценки качества термической обработки. В работе [121] представлено изменение цвета древесины в зависимости от продолжительности обработки (диапазон от 40 до 480 мин.) при температуре 220 °С. В исследованиях [122, 123] в явном виде представлены зависимости составляющих цвета R , G , B от температуры и продолжительности обработки, а также от степени разложения древесины в процессе деструкции. Данные зависимости позволяют прогнозировать цвет древесины в результате термической обработки.

Таким образом, факторы температура T и продолжительность обработки t являются основными параметрами режима термической обработки. Выбор конкретных режимов производят исходя из типа процесса обработки, породы, размеров и начальной влажности заготовок, необходимого уровня изменения физико-механических свойств и цвета древесины, стойкости к биологическому износу и размерной стабильности продукта [124].

2.3 Обоснование комбинирования операций обжига, браширования, прессования и термической обработки

После обжига и браширования лицевая поверхность заготовок характеризуется повышенной хрупкостью рельефа. Целью введения операции прессования является выравнивание рельефной поверхности и упрочнение поверхностных слоев заготовки для обеспечения высокой твердости и гигиеничности облицовочных изделий.

После выравнивания рельефа лицевой поверхности прессованием участки, соответствующие ранней зоне годичного слоя, остаются по-прежнему незащищенными. Это приводит к необходимости дополнительной обработки – термической обработки. В нашем случае целью термообработки является закупорка пор поверхностных слоев древесины для предотвращения попадания влаги внутрь материала, повышение стабильности формы и размеров прессованных заготовок.

2.4 Определение факторов комбинированного процесса

Благодаря анализу процессов обжига, браширования, прессования и термической обработки (см. п. 2.2) установлены наиболее значимые факторы и параметры режимов, оказывающие влияние на результат обработки по каждому из процессов, а именно факторы, относящиеся к свойствам заготовки: порода древесины P_r , вид распила заготовок r , их влажность W и параметры режимов: для обжига – скорость перемещения пламени по поверхности V_{mn} , для браширования – скорость вращения инструмента V , скорость подачи V_s , выход инструмента h , тип и жесткость щеток J , для прессования – степень деформации ϵ , для термической обработки – температура T и продолжительность t . Можно предполагать, что на результат комбинированной обработки будет оказывать влияние совокупность указанных факторов.

2.5 Требования к заготовкам для процесса комбинированной обработки

При комбинировании технологических операций обжига, браширования, прессования и термической обработки в единый технологический процесс необходимо учитывать не только факторы каждой отдельной операции, но также и взаимовлияние операций друг на друга. На основании анализа, представленного в пп. 2.2.1–2.2.4, составлен полный поэтапный перечень факторов (приложение Б), оказывающих влияние на результат обработки, а также сформулированы ограничения и требования, предъявляемые к заготовкам.

Для процесса обжига, как первого этапа комбинированной обработки, нет особых ограничений и требований к качеству заготовок. Нежелательным является только их высокая смолистость, которая приводит к неравномерному обугливанию поверхности и образованию пятен.

При брашировании главное требование к заготовке – наличие упорядоченной структуры древесины. Этому требованию соответствуют заготовки хвойных и лиственных кольцесосудистых (твердых) пород. Предпочтительным с точки зрения высоких эстетических свойств является тангенциальный распил заготовки. Для исключения появления заусенцев на заготовках их влажность не должна превышать $18 \div 20 \%$.

К заготовкам для прессования предъявляются особые требования к влажности, виду распила и наличию пороков. С учетом требований предыдущих этапов необходимо выбирать тангенциальный вид распила заготовок и влажность не более 20% . В заготовках не допускается наличие сучков, так как в зоне сучков направление прессования меняется с поперечного на торцовое. Высокая смолистость заготовок хвойных пород для прессования так же, как и для обжига, нежелательна. Она становится причиной коробления заготовок.

На этапе термической обработки особых требований к качеству заготовок не предъявляется.

Вышеуказанные требования необходимо учитывать при разработке технологического процесса изготовления облицовочных изделий и выбора рациональных параметров режимов обработки обжигом, брашированием, прессованием и термообработкой.

2.6 Выводы по второму разделу

2.6.1 Установлены направления изменения строения и структуры заготовок из древесины и свойств их поверхности, необходимые для повышения твердости, влаго- и водостойкости, долговечности, стабильности размеров и формы. К ним относятся: уплотнение структуры материала и закрытие пор поверхностных слоев, снижение значений равновесной влажности и шероховатости поверхности, а также удаление из древесины питательной для микроорганизмов среды. Основными способами и приемами, обеспечивающими указанные изменения являются модифицирование и отделка древесины.

2.6.2 Анализ изменений структуры и свойств древесины, происходящих при обжиге, брашировании, прессовании и термической обработке подтверждает возможность улучшения физико-механических и декоративных свойств заготовок, необходимых для изготовления облицовочных изделий из кусковых древесных отходов. Прессование обеспечивает формирование плотной структуры материала и низкой шероховатости поверхности. Термическая обработка и обжиг позволяют снизить равновесную влажность и повысить биостойкости материала. Обжиг дополнительно создает на поверхности защитное покрытие. Браширование повышает декоративные свойства заготовок.

2.6.3 При комбинировании операций обжига, браширования, прессования и термической обработки на результат обработки будет оказывать влияние ряд факторов, относящихся как к свойствам заготовки (порода древесины Pr , вид распила заготовок r , их влажность W), так и к каждому отдельному процессу: для обжига – скорость перемещения пламени по поверхности V_{mn} , для браширования – скорость вращения инструмента V , скорость подачи V_s , выход инструмента h , тип и жесткость щеток J , для прессования – степень деформации ε , для термической обработки – температура T и продолжительность t . Все эти факторы являются параметрами режимов обработки. Рекомендуемые их значения по результатам анализа: $V_{mn} = 0,5 \div 1,2$ м/мин, $V = 3200 \div 3500$ об/мин, $V_s = 4 \div 7$ м/мин, $h = 0,7 \div 1,2$ мм; тип щеток – стальные с диаметром ворса до 0,35 мм и малой плотностью набивки; $\varepsilon \geq 33$ %, $T \geq 150$ °С, $t > 40$ мин.

2.6.4 Особенностью обработки давлением заготовок, подвергнутых обжигу и брашированию, является изменение характера процесса прессования. Прессование становится неравномерным. Под влиянием рельефной поверхности уплотнение заготовок протекает неравномерно не только по их толщине, но и по ширине. В поверхностном слое заготовки зона гребней деформируется в большей степени, чем зона впадин на $4 \div 6$ %.

2.6.5 Комбинирование операций накладывает ряд ограничений на параметры заготовки. Обработке подлежат заготовки хвойных пород тангенциального распила влажности не более 20 % с невысокой смолистостью и без сучков. Их прессование необходимо проводить только в радиальном направлении.

3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ

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

3.1 Программа экспериментальных исследований

В основу разработки программы экспериментальных исследований легли задачи исследования, представленные в разделе 1, а также результаты теоретического анализа процессов обжига и браширования, прессования и термической обработки, представленные в разделе 2. Программа исследования включает 3 блока (рисунок 3.1).

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. Цель исследования – установить оптимальный набор операций для изготовления облицовочных изделий.

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, поиск рациональных режимов обработки, а также оценку свойств заготовок после обработки.

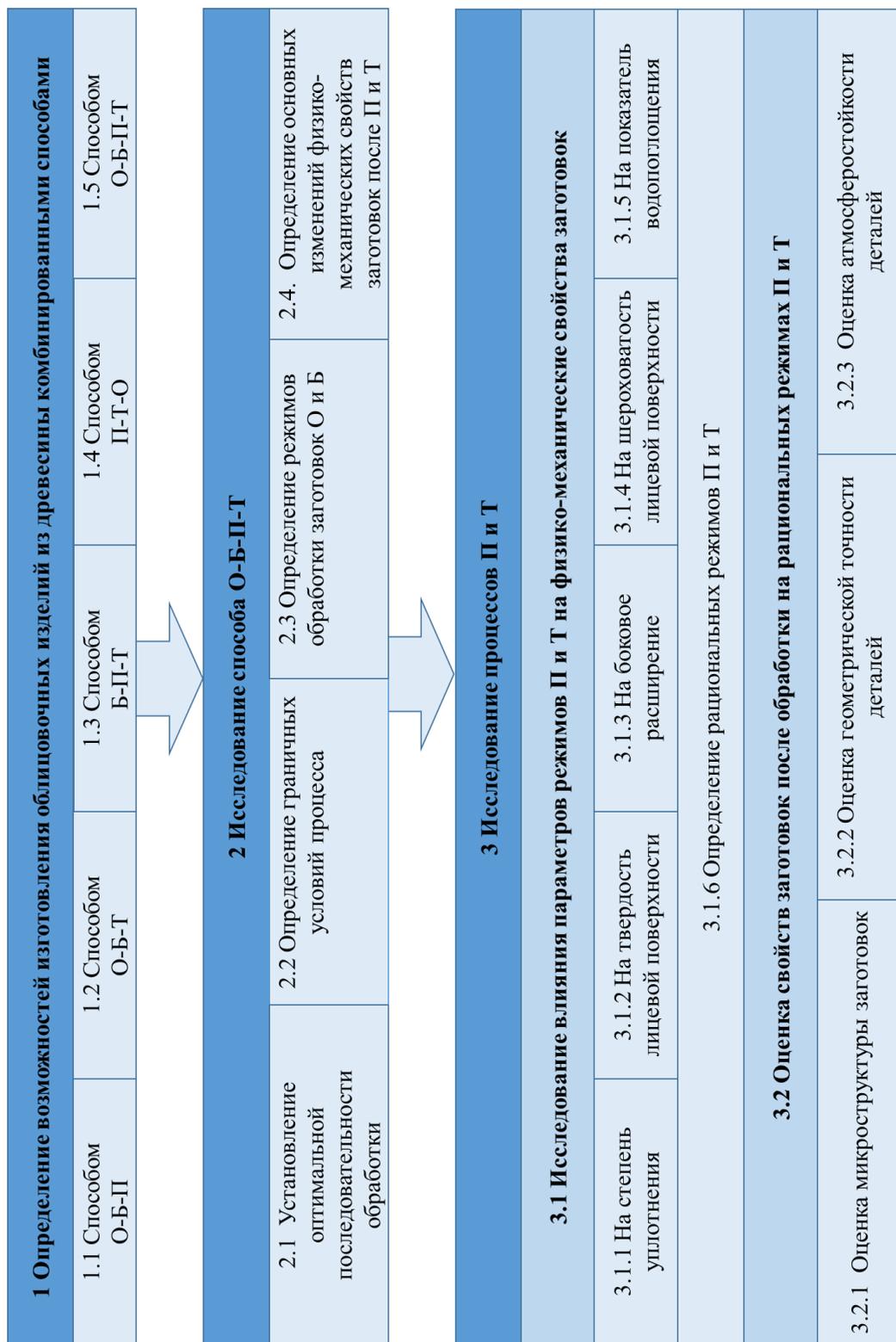


Рисунок 3.1 – Программа экспериментальных исследований

3.2 Характеристики и свойства исследуемых материалов

Для проведения экспериментальных исследований использовали заготовки из наиболее распространенных в европейской части России хвойных пород – сосны (лат. *Pinus sylvestris*) и ели (лат. *Picea abies*).

Для группы исследований блока 1 использовали фрезерованные образцы из древесины сосны смешанной распиловки размерами 16×40×40 мм, не содержащие таких пороков, как сучки и трещины.

Для группы исследований блока 2 использовали аналогичные по породе и качеству образцы тангенциального распила, размерами 12×50×70 мм. Обработку обжигом и брашированием проводили по внутренней пласти.

Исследования, включенные в блок 3, проводили на образцах:

– из древесины сосны тангенциального распила, размерами 16×40×20 мм, 12×30×30 мм;

– из древесины ели тангенциального распила размерами 10×40×40 мм.

Для блоков исследований 1–3 средняя плотность образцов из древесины сосны составила 480 ± 20 кг/м³ из древесины ели – 450 ± 20 кг/м³; влажность образцов находилась в диапазоне значений 7 ÷ 17 %.

Значения плотности древесины определяли по типовому соотношению [97] через массу образцов, измеренную с помощью весов Vibra SJ-6200CE с точностью до 0,01 г и их габаритных размеров с помощью штангенциркуля Electronic Digital Caliper; измерение влажности проводили с помощью электронного влагомера Hydromette compact (Gann GmbH) согласно методике, указанной в ГОСТ 16588–91 [125]. За среднее значение влажности образцов принимали среднее арифметическое трех измерений.

3.3 Характеристики оборудования, установок и приборов для проведения экспериментальных исследований

Перечень используемого во время экспериментальных исследований оборудования и установок представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Перечень применяемого оборудования и установок

Этап обработки	Наименование	Марка	Назначение
1 Обжиг	1.1 Лампа паяльная	ПЛ-2	Обжиг заготовок
2 Браширование	2.1 Шуруповерт	Metabo BS14.4	Механизация процесса браширования
	2.2 Щетка для дрели дисковая металлическая	Dexter 75	Снятие мягких слоев древесины, формирование рельефа
	2.3 Щетка для дрели дисковая сизалевая	SL680	Удаление ворса, заусенцев
3 Прессование	3.1 Пресс гидравлический	T61210M(AE&T)	Уплотнение образцов
	3.2 Пресс гидравлический	П-472Б	Уплотнение образцов, измерение давления прессования
	3.2 Комплект оснастки для прессования	Нестандартное оборудование	Пресс-форма
4 Термическая обработка	4.1 Шкаф сушильный	ШСП-0,25-60 (НПЛ «Теплоприбор»)	Термическая обработка образцов

Перечень используемого измерительного инструмента и приборов представлен в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Перечень измерительного инструмента и приборов

Наименование	Марка	Назначение
Штангенциркуль	Electronic Digital Caliper	Измерение размеров образцов
Влагомер	Hydromette compact («Gann GmbH»)	Измерение влажности древесины
Весы лабораторные электронные	Vibra SJ-6200CE (Shinko)	Определение массы образцов
Шприц медицинский	ГОСТ ISO 7886-1-2011	Нанесение капли жидкости на поверхность
Секундомер	Mi 5SPLUS	Измерение времени впитывания капли жидкости

Наименование	Марка	Назначение
Глубиномер индикаторный	ГИ 100 ГОСТ 7661-67	Измерение шероховатости поверхности
Твердомер	ТР 5014 ГОСТ 23677-79	Измерение твердости поверхности образцов
Микроскоп	МБС-10	Исследование структуры образцов
Фотоаппарат	Sony DSC-300	Получение фотографий микроструктуры образцов

Для обработки образцов после обжига и браширования прессованием в гидравлическом прессе необходима специальная технологическая оснастка в виде пресс-формы (рисунок 3.2 *а*), ограничивающая величину бокового расширения заготовок и степень прессования. Схема прессования представлена на рисунке 3.2 *б*.

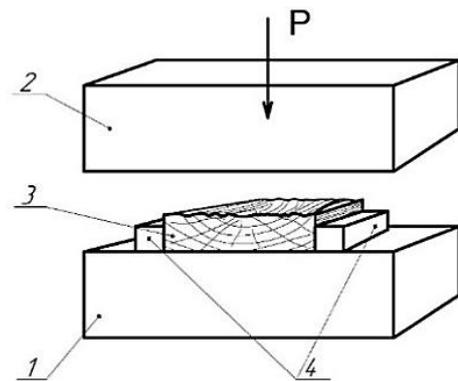
*а**б*

Рисунок 3.2 – Обработка заготовок прессованием: *а* – пресс-форма; *б* – схема прессования: 1 – неподвижная плита прессы, 2 – подвижная плита прессы, 3 – заготовка рельефом, 4 – ограничители степени прессования

3.4. Методика изготовления экспериментальных образцов

Методика изготовления экспериментальных образцов для группы исследований блока 1 включает от двух до четырех этапов. Способы и режимы изготовления экспериментальных образцов представлены в таблице 3.3. Требования к шероховатости поверхности после обжига и браширования $R_{m\ max} = 1200$ мкм.

Таблица 3.3 – Способы и параметры режимов обработки образцов для исследований блока 1

№ образца	Способ обработки	Параметры режимов обработки
1	Обжиг+браширование (О-Б)	$V_{nn} = 1$ м/мин
2	Обжиг+браширование+прессование (О-Б-П)	$V_{nn} = 1$ м/мин, $\varepsilon = 50$ %
3	Обжиг+браширование+термообработка (О-Б-Т)	$V_{nn} = 1$ м/мин, $T = 180$ °С
4	Браширование+прессование+термообработка (Б-П-Т)	$\varepsilon = 50$ %, $T = 180$ °С
5	Обжиг+ прессование+термообработка (П-Т-О)	$V_{nn} = 1$ м/мин, $\varepsilon = 50$ %, $T = 180$ °С
6	Обжиг+браширование+прессование+термообработка (О-Б-П-Т)	$V_{nn} = 1$ м/мин, $\varepsilon = 50$ %, $T = 180$ °С

Методика изготовления экспериментальных образцов для блоков исследований 2 и 3 включает все четыре этапа: обжиг, браширование, прессование и термическую обработку. Сначала заготовки обжигают огнем паяльной лампы по лицевой пласти до образования равномерно обугленной поверхности. Затем сгоревшие и менее плотные слои древесины удаляют механически в направлении вдоль волокон при помощи металлической и нейлоновой (сизалевой) щеток до получения контрастной рельефной поверхности, соответствующей природной текстуре древесины, после чего их прессуют поперек волокон, выравнивая полученный рельеф. В конце заготовки обрабатывают термически. Часть заготовок для исследования блока 2 изготовлена способом с последовательностью операций: браширование – обжиг – прессование – термическая обработка.

Обоснование выбора параметров режимов обработки заготовок обжигом, брашированием, прессованием и термической обработкой представлено в п. 2.2 и п. 3.5.1, и 4.1.2.

3.5 Методика планирования экспериментов и статистической обработки экспериментальных данных

3.5.1 Выбор основных факторов процесса

В результате определения всех факторов процессов обжига, браширования, прессования и термической обработки (приложение Б) и их анализа, установлено, что наиболее значимыми общими факторами являются порода древесины, влажность W и вид распила заготовок. Дополнительно для отдельных операций значимы следующие факторы, в работах [87, 109, 112, 114, 137] принятые за параметры режимов обработки:

- для браширования – вид инструмента и высота его выхода h , скорость вращения инструмента V и скорость подачи заготовки V_s ;
- для прессования – степень прессования ε (характеризующая степень сжатия заготовок в момент запрессовки) и наличие (отсутствие) пресс-формы;
- для термической обработки – температура T и продолжительность обработки t .

Далее влияние этих факторов следует учитывать при планировании и проведении экспериментальных исследований.

3.5.2 Определение граничных условий обработки заготовок комбинированным способом

При планировании эксперимента интервалы варьирования факторов должны лежать в определенных диапазонах значений; нарушение этих значений существенно снизит качество обработанных заготовок. Основные ограничения, накладываемые на процесс комбинированной обработки, в том числе на параметры режимов обжига, браширования, прессования и термической обработки, описаны в п. 2.4. Они являются результатом аналитического исследования и подтверждены автором экспериментально [126]. В дополнение к этому необходимо экспериментально установить ограничения на наиболее значимые

факторы, указанные в п. 3.5.1. Результаты экспериментальных исследований по определению граничных условий обработки представлены в п. 4.1.2.2.

3.5.3 Обоснование выбора откликов

Основной задачей экспериментальных исследований является определение рациональных режимов обработки заготовок из древесины обжигом, брашированием, прессованием и термической обработки для обеспечения наиболее высокого качества облицовочных изделий, поэтому выбор откликов проведен из числа показателей качества облицовочных изделий (см. таблицу 1.1 п. 1.2) с учетом условий, обеспечивающих требуемые эксплуатационные свойства (см. п. 2.1 раздела 2). С технологической точки зрения и по аналогии с ГОСТ 4598-86 [52] наиболее важными из них являются:

- степень уплотнения древесины γ и твердость лицевой поверхности заготовок HRR , характеризующие устойчивость материала к ударным и статическим нагрузкам;
- отклонения от заданных размеров, в виде бокового расширения β , определяющие точность изготовления деталей;
- глубина рельефа лицевой поверхности после прессования или шероховатость поверхности $R_{m\ max}$ как показатель гигиеничности облицовочных изделий;
- показатель влагостойкости (водопоглощения) G , характеризующий стойкость материала к воздействию влаги в процессе эксплуатации облицовочных изделий.

Выбранные для экспериментальных исследований отклики приведены в таблице 3.4.

Выбранные отклики в зависимости от их влияния на качество облицовочных изделий по аналогии с показателями качества продукции [127] разделены на позитивные (повышают качество продукции) и негативные (снижают ее качество). Позитивными откликами в данном случае будут являться γ , HRR и G , так

как при увеличении их численного значения уровень качества облицовочных изделий увеличивается. С увеличением γ и HRR заготовок из древесины увеличивается их устойчивость к воздействию ударных и статических нагрузок. С увеличением G , определяемого как время впитывания капли жидкости лицевой поверхностью, увеличивается влагостойкость заготовок.

Таблица 3.4 – Исследуемые отклики

Наименование параметра	Вид параметра	Обозначение	Единица измерения	Кодированное значение
Степень уплотнения	позитивный	γ	%	y ₁
Твердость лицевой поверхности	позитивный	HRR	-	y ₂
Боковое расширение	негативный	β	%	y ₃
Шероховатость поверхности	негативный	$R_{m\ max}$	мкм	y ₄
Показатель водопоглощения	позитивный	G	с	y ₅

Негативными показателями являются $R_{m\ max}$ и β ; при их увеличении качество облицовочных изделий ухудшается. Меньшая шероховатость лицевой поверхности облицовочных изделий в процессе их эксплуатации позволяет упростить уход за ними. Это способствуют повышению гигиенических свойств. Уменьшение величины бокового расширения повышает точность изготовления деталей. Таким образом, в случае максимальных значений откликов степень прессования, твердость и показатель водопоглощения и минимальных значений шероховатости поверхности и бокового расширения качество облицовочных изделий будет наиболее высоким.

В качестве дополнительных откликов выбраны микроструктура древесины после обработки, точность изготовления деталей облицовочных изделий и атмосферостойкость. Их оценка необходима для определения уровня качества деталей после обработки и возможности изготовления облицовочных изделий для наружной обшивки.

3.5.4. Методика определения откликов

3.5.4.1 Определение степени уплотнения заготовок

Для оценки величины уплотнения заготовок в результате прессования и термической обработки предложен показатель степень уплотнения γ , определяемый как:

$$\gamma = \frac{\rho_{п}}{\rho_0} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

где $\rho_{п}$ – плотность обработанных заготовок, кг/м³;

ρ_0 – начальная плотность заготовок, кг/м³.

Плотность заготовок до и после обработки определяли путем измерения их массы и габаритных размеров. В отличие от показателя «степень деформации» [87] (см. п. 2.2.3) степень уплотнения γ учитывает поперечную деформацию заготовок.

3.5.4.2 Определение твердости лицевой поверхности заготовок

Измерение твердости лицевой поверхности заготовок после комбинированной обработки выполняли методом Роквелла с помощью твердомера ТР5014 по шкале НRR. Предварительная нагрузка составляла 98,07 Н, испытательная нагрузка – 588,4 Н. Вид индентора – стальной шарик диаметром 12,7 мм. Измерения проводили в трех точках. За среднее значение твердости лицевой поверхности образцов принимали среднее арифметическое трех измерений.

3.5.4.3 Определение бокового расширения заготовок

С целью оценки величины поперечной деформации заготовок в результате прессования и термической обработки определяли значения бокового расширения посредством измерения ширины образцов до и после обработки (рисунок 3.3).

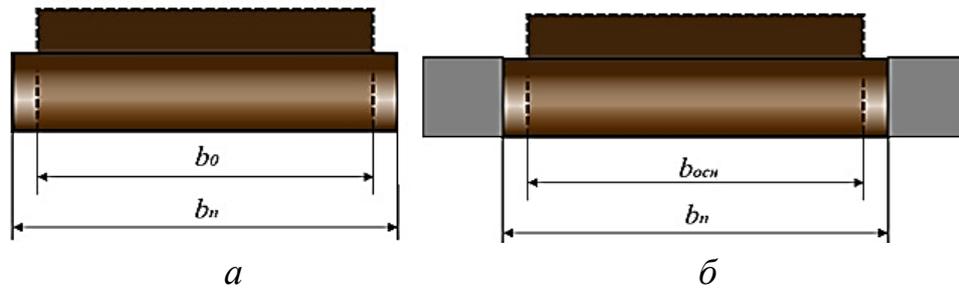


Рисунок 3.3 – Схема определения ширины заготовки до и после обработки: *a* – при прессовании без пресс-формы; *б* – при прессовании в пресс-форме

Величину бокового расширения при прессовании без пресс-формы определяли по формуле:

$$\beta = \frac{b_n - b_0}{b_0} \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

где b_n – ширина обработанных заготовок, мм;

b_0 – начальная ширина заготовок, мм.

В случае прессования заготовок в пресс-форме боковое расширение определяли по формуле:

$$\beta = \frac{b_n - b_{очн}}{b_{очн}} \cdot 100\%, \quad (3.3)$$

где $b_{очн}$ – расстояние между боковыми гранями пресс-формы, мм.

3.5.4.4 Определение шероховатости лицевой поверхности заготовок

Шероховатость лицевой поверхности до и после упрочняющей обработки $R_{m \max}$ измеряли индикаторным глубиномером по ГОСТ 7016-2013 [128]. Результат определяли, как среднее арифметическое трех замеров.

3.5.4.5 Определение показателя водопоглощения заготовок

Для оценки защитных свойств декоративной поверхности древесины по устойчивости к воздействию влаги использовали показатель водопоглощения. Согласно ГОСТ 16483.20-72 «Древесина. Метод определения водопоглощения»

[129] водопоглощение древесины оценивают в процентах как отношение массы впитанной влаги к массе абсолютно сухого образца, выдержанного в течении длительного времени (не менее 30 суток) в воде. Недостатком данного способа является длительность процесса испытания. В связи с этим автором предложен альтернативный способ для определения показателя водопоглощения.

Согласно ему для определения показателя водопоглощения образцы после комбинированной обработки в течении длительного времени выдерживают в комнатных условиях, укладывают на ровную горизонтальную поверхность, затем на лицевую поверхность образца с помощью шприца наносят одинаковые капли воды и измеряют время (в секундах) до полного впитывания капли (рисунок 3.4). Поверхности с повышенными гидрофобными свойствами впитывают влагу медленнее. За среднее значение показателя водопоглощения принимают среднее арифметическое трех замеров. Предложенный способ оценки имитирует воздействие влаги на изделие в процессе влажной уборки и является визуально показательным.



Рисунок 3.4 – Процесс определения показателя водопоглощения

3.5.4.6 Оценка микроструктуры заготовок

Оценка изменений микроструктуры заготовок из древесины, обработанных комбинированным способом, необходима для выявления особенностей механизма обработки, определения эффективности обработки, установления взаимосвязи между строением и свойствами материала.

Исследование изменений микроструктуры древесины проводили поэтапно по шлифам торцовых поверхностей заготовок с помощью микроскопа МБС-10 при увеличении в 18, 36 и 63 раза.

Толщину углистого H_y и пиролизированного H_n слоев определяли по фотографиям структуры поверхностного слоя заготовки после обжига (рисунок 3.5). Шероховатость брашированной поверхности $R_{m\ max}$ измеряли по фотографиям структуры поверхности после браширования (рисунок 3.6)

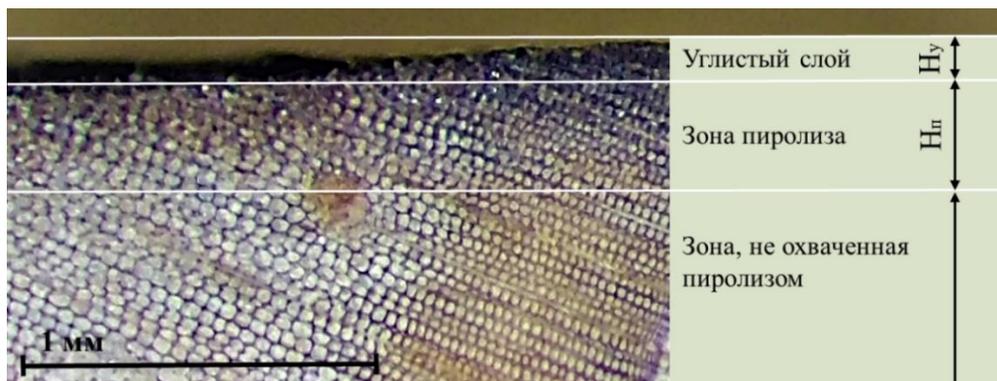


Рисунок 3.5 – Схема определения глубины углистого и пиролизированного слоев

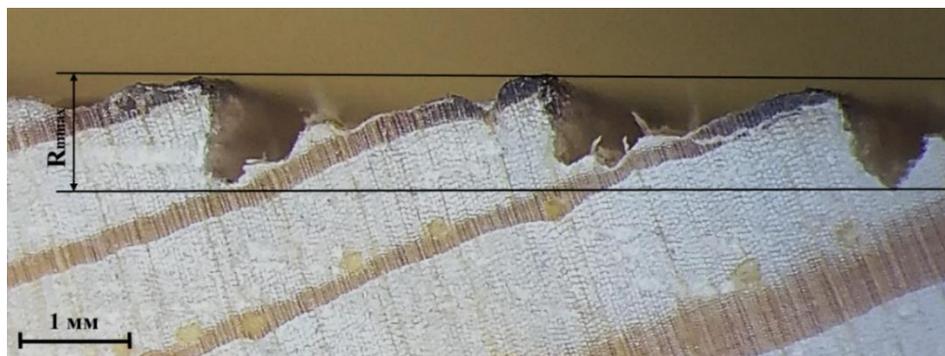


Рисунок 3.6 – Схема определение шероховатости брашированной поверхности

Степень деформации клеток поверхностного слоя после упрочняющей обработки определяли по формуле:

$$\varepsilon'_k = \frac{h_{0к} - h_{пк}}{h_{0к}} \cdot 100\%, \quad (3.4)$$

где $h_{0к}$ – высота клетки до прессования и термической обработки, мкм;

$h_{нк}$ – высота клетки после прессования и термической обработки, мкм.

Значения $h_{0к}$ и $h_{нк}$ определяли, как среднее арифметическое высот 10 клеток ранней зоны поверхностного слоя. Величину $\varepsilon'_к$ определяли отдельно для клеток зоны Г и зоны В.

Результаты оценки микроструктуры заготовок приведены в п. 4.3.1

3.5.4.7 Оценка геометрической точности деталей

В виду анизотропности древесины процессы обжига и прессования могут протекать неравномерно, что приводит к образованию дефектов в виде чрезмерного обугливания кромок, разнотолщинности заготовок, коробления, несоответствия требуемых размеров их величинам из-за неучтенной величины поперечной деформации. В связи с этим существует необходимость контроля габаритных размеров деталей, величин углов, показателей плоскостности, параллельности и перпендикулярности, то есть оценки их геометрической точности для предупреждения в дальнейшем при изготовлении облицовочных изделий рисков возникновения брака.

Отклонения деталей от заданных размеров и формы регламентированы ГОСТ 8242-88 [46], ГОСТ 6449.5-82 [51].

Оценку геометрической точности деталей проводили после выдержки в течение 10 суток в условиях соответствующих эксплуатационным. Замеры габаритных размеров заготовок, углов, плоскостности лицевой и оборотной поверхностей проводили с учетом рекомендаций по методам измерений, приведенных в ГОСТ 26877-2008 [130]. Толщину деталей измеряли электронным штангенциркулем в трех точках (у кромок и в центральной части). Отклонения определяли в абсолютных и относительных величинах и оценивали с точки зрения возможности и целесообразности их устранения.

Результаты оценки геометрической точности обработанных деталей представлены в п. 4.3.2.

3.5.4.8 Методика оценки атмосферостойкости деталей из древесины

Оценка атмосферостойкости деталей облицовочных изделий из древесины необходима для определения перспектив их использования в качестве наружной обшивки. Испытания на атмосферостойкость образцов, обработанных комбинированным способом О-Б-П-Т (см. таблицу 3.3), проводили по методике, основанной на рекомендациях ГОСТ 33121-2014 [131].

Для испытаний на атмосферостойкость изготовлено девять образцов (рисунок 3.7) тангенциального распила из древесины сосны и ели влажностью 6 ± 1 %. Характеристики образцов представлены в таблице 3.5.



Рисунок 3.7 – Образцы для испытаний заготовок на атмосферостойкость

Таблица 3.5 – Характеристики образцов для испытаний на атмосферостойкость

№ образца	Порода	Способ обработки	Габаритные размеры, мм	Твердость, HRR	Глубина рельефа (шероховатость поверхности) $R_{m\ max}$
1	Ель	О-Б	80,4×39,9×12,0	57	1000
2	Сосна	О-Б	68,8×39,9×10,3	48	900
3	Сосна	О-Б	64,0×38,2×10,4	43	1200
4	Ель	О-Б-П-Т	78,9×42,4×10,2	125	200
5	Ель	О-Б-П-Т	80,2×42,2×9,1	105	250
6	Сосна	О-Б-П-Т	77,5×40,4×8,0	104	250
7	Сосна	О-Б-П-Т	78,9×39,9×8,0	137	290
8	Сосна	О-Б-П-Т	78,6×41,2×8,1	120	270
9	Сосна	О-Б-П-Т	78,9×39,7×8,1	112	230

Прессование и термическую обработку образцов проводили на режимах: $\varepsilon = 60$ %, $T = 180$ °С, $t = 1$ ч. До начала испытаний образцы выдерживались не

менее двух суток в условиях при температуре 25 °С и относительной влажности воздуха не более 50 %.

Стенд устанавливали в зоне умеренного климатического пояса (58,4° с.ш.) на вертикальной поверхности на открытом воздухе лицевой стороной на юг на высоте 2 м. Продолжительность испытания составила 6 месяцев. Колебания температуры за период испытаний находились в диапазоне от –25 до +35 °С.

По окончании испытаний визуально оценивали внешний вид образцов, измеряли габаритные размеры, твердость, шероховатость поверхности. Изменения указанных показателей, кроме внешнего вида и влажности, определяли путем сравнения их значений с исходными по формуле:

$$\Delta\Pi = \frac{\Pi_{\text{исх}} - \Pi_{\text{исп}}}{\Pi_{\text{исх}}} \cdot 100\%, \quad (3.5)$$

где $\Pi_{\text{исх}}$ – исходное значение оцениваемого параметра;

$\Pi_{\text{исп}}$ – значение оцениваемого параметра после испытаний.

По совокупности значений $\Delta\Pi$ делали вывод о возможности использования способа О-Б-П-Т для изготовления облицовочных изделий наружной обшивки.

Результаты оценки атмосферостойкости деталей из древесины приведены в п. 4.3.3.

3.5.5 Планирование экспериментальных исследований

В экспериментальном исследовании режимов комбинированной обработки этапы декорирования (обжиг и браширование) и упрочнения (прессование и термическая обработка) следует рассматривать отдельно друг от друга.

В связи с тем, что способ обжига и браширования используется для серийного изготовления изделий в промышленности, задача по определению для него режимов обработки не является первостепенной. На основании результатов анализа практических рекомендаций предыдущих исследователей [65, 103–107, 109] и предварительных экспериментов назначены режимы обработки, ука-

занные в п. 4.1.2.3. В настоящей работе основное внимание уделено исследованию процессов прессования и термической обработки и поиску рациональных режимов обработки заготовок.

Исследуемый процесс прессования и термической обработки заготовок и его характеристики являются многофакторными. В общем виде функция отклика может быть представлена выражением (3.8) [132]:

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (3.6)$$

где x_1, x_2, \dots, x_k – независимые переменные факторы.

Все факторы, воздействующие на процесс, представленные в приложении Б, разделены на 3 группы: управляемые, контролируемые и неконтролируемые. Краткая схема описания исследуемых процессов представлена на рисунке 3.8, развернутая будет представлена в 4 разделе.



Рисунок 3.8 – Схема описания исследуемых процессов

Для исследования многофакторного процесса применяют статистические методы планирования эксперимента. Принято считать, что большинство процессов можно описать полиномами второго порядка [132]. В нашем случае, когда порядок модели не известен, целесообразным является применение последовательного планирования эксперимента.

На первом этапе для оценки определенных характеристик изучаемого объекта, проявляющих себя статистически и выявления влияния на отклик

входных величин, предполагают, что функция отклика описывается полиномом первой степени [132]:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1, j \neq 1}^k b_{ij} x_i x_j, \quad (3.7)$$

где b_0, b_i, b_{ij} – коэффициенты регрессии;

k – количество факторов.

С целью определения коэффициентов регрессии достаточно реализации двухфакторного плана типа 2^k , где k – число факторов. При большом числе факторов проведение полного факторного эксперимента (далее ПФЭ) связано с большим числом опытов. Если при получении модели можно ограничиться линейным приближением, то есть получить модель в виде полинома [132]:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k, \quad (3.8)$$

то можно использовать дробный факторный эксперимент (далее ДФЭ) типа 2^{k-p} , где p – число линейных эффектов, приравненных к эффектам взаимодействия.

Сначала выполняют вычисление параметров модели, а затем проводят проверку ее адекватности. В случае неадекватности модели выполненные опыты дополняют новой серией опытов для получения квадратичной модели:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{(i-1)x_{(i-1)}} x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots \quad (3.9)$$

Для определения коэффициентов модели (3.4) необходима реализация плана второго порядка, где каждый фактор варьируется минимум на трех уровнях (-1; 0; 1).

Экспериментальные исследования с применением методики планируемого эксперимента проводили следующим образом:

1) проведение предварительных поисковых экспериментов (этапы 1.1 – 2.4 на рисунке 3.1) с целью проверки гипотезы о возможности комплексного повышения физико-механических свойств заготовок в результате комбинированной обработки и определения факторов процесса;

2) проведение планируемого дробного факторного эксперимента (далее ДФЭ) типа 2^{4-1} с целью получения регрессионных зависимостей откликов γ , HRR , β , $R_{m\ max}$, G от факторов α , W , ε , T для образцов из древесины сосны (этап 3 на рисунке 3.1);

3) проведение полного факторного эксперимента (далее ПФЭ) по плану 3^2 для уточнения математических моделей и влияния факторов α и ε на вышеуказанные отклики на образцах из древесины сосны (этап 3 на рисунке 3.1);

4) проведение ПФЭ по плану 2^4 с учетом корректировок при выборе исходных факторов и областей их определения для образцов из древесины ели (этап 3 на рисунке 3.1);

5) определение рациональных режимов прессования и термической обработки для образцов из древесины сосны и ели (этап 3.2 на рисунке 3.1);

б) оценка свойств заготовок после прессования и термической обработки на рациональных режимах (этап 3.2 на рисунке 3.1).

3.5.6 Методика статистической обработки экспериментальных данных

Статистическую обработку и анализ полученных экспериментальных данных проводили по методике, представленной в приложении В, а также с использованием программного продукта Statistica. Принятый уровень значимости $\alpha = 5 \%$.

3.5.7 Методика определения рациональных значений параметров режимов прессования и термической обработки

Выбор рациональных режимов прессования и термической обработки заготовок из древесины является затруднительным в связи с выбором в качестве исследуемых откликов как позитивных, так и негативных показателей (см. п. 3.5.3). Поэтому поиск рациональных значений параметров технологических режимов является многокритериальной задачей, требующей компромиссного решения с учетом множества условий.

Наиболее распространенным инструментом решения многокритериальных задач является свертка, то есть сведение многокритериальной задачи к однокритериальной [133]. Среди различных методов свертки [134] для решения оптимизационной задачи выбран принцип справедливого компромисса, который позволяет найти такое решение, при котором относительный уровень снижения качества по одному или нескольким критериям не превосходит относительного уровня повышения качества по остальным критериям и при этом рассматриваемые критерии имеют одинаковую степень важности [135]. В этом случае частные критерии оптимизации необходимо привести к безразмерной величине [136]:

$$y_{in} = \frac{y_i - y_{i \min}}{y_{i \max} - y_{i \min}}, \quad (3.10)$$

где y_{in} – нормированное значение i -го критерия;

y_i – натуральное значение i -го критерия;

$y_{i \min}$ – минимальное значение i -го критерия в диапазоне исследования;

$y_{i \max}$ – максимальное значение i -го критерия в диапазоне исследования.

Для нахождения максимальных $y_{i \max}$ и минимальных $y_{i \min}$ значений частных критериев можно использовать метод обобщенного приведенного градиента (ОПГ), реализуемый, например, в программном продукте Microsoft Excel через надстройку «Поиск решений».

Для разработки единой целевой функции необходимо использовать базовое соотношение (3.13):

$$Y = \frac{\prod_{i=1}^{m-n} y_i}{\prod_{i=n-m+1}^n y_i} \rightarrow \max, \quad (3.11)$$

которое при подстановке частных критериев имеет вид (3.14):

$$Y = \frac{\gamma \cdot HRR \cdot G}{\beta \cdot R_{m\max}} \rightarrow \max. \quad (3.12)$$

Поиск решения единой целевой функции также может быть также проведен по методу ОПГ.

Решение задач оптимизации по данной методике успешно применяется для исследования процессов в сфере деревообработки [137, 138].

Результаты решения задачи оптимизации и определение рациональных значений параметров режимов прессования и термической обработки представлено в п. 4.2.2.

4 ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРОЦЕССА КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ

Для разработки технологии изготовления облицовочных изделий на основе комбинированной обработки необходимо обоснование набора технологических операций и их последовательности, а также режимов обработки, обеспечивающих высокие физико-механические свойства заготовок из древесины и эксплуатационные показатели облицовочных изделий.

Цель раздела – обосновать структуру комбинированного процесса обработки заготовок и установить влияние параметров технологических режимов операций на физико-механические свойства заготовок из древесины и эксплуатационные показатели облицовочных изделий.

Задачи раздела:

- обоснование рационального набора и последовательности операций процесса комбинированной обработки;
- экспериментальное определение граничных условий обработки заготовок прессованием и термической обработкой;
- получение регрессионных моделей процесса прессования и термической обработки, позволяющих прогнозировать свойства заготовок;
- определение рациональных режимов прессования и термической обработки;
- исследование микроструктуры заготовок после обработки;
- определение точности изготовления деталей облицовочных изделий;
- оценка атмосферостойкости деталей облицовочных изделий.

Представленные в разделе результаты экспериментальных исследований прошли апробацию и опубликованы автором в работах [139–150].

4.1 Результаты поисковых экспериментов и их анализ

4.1.1 Определение возможностей комбинирования операций обжига, браширования, прессования и термической обработки

Для определения возможностей комбинирования операций обжига, браширования, прессования и термической обработки, а также установления оптимального набора операций для изготовления облицовочных изделий проведена оценка и сравнение физико-механических и декоративных свойств заготовок после обработки способами № 2–6 со свойствами заготовки, обработанной по способу № 1 (см п. 3.4, таблицу 3.3). По результатам оценки определяли потенциальные возможности применения способов для изготовления различной продукции. Получены следующие результаты и выводы.

1) При обработке заготовок из древесины способом, включающим обжиг, браширование и прессование (О-Б-П) (рисунок 4.1 б) наблюдается увеличение плотности и твердости древесины в среднем на $15 \div 25$ % по сравнению со свойствами заготовок, обработанных только обжигом и брашированием (О-Б) (рисунок 4.1 а). Эстетические свойства лицевой поверхности за счет прессования не снижаются. Шероховатость лицевой поверхности уменьшается в $3 \div 4$ раза, вследствие чего повышаются гигиенические свойства. Влагостойкость лицевой поверхности остается низкой. Такой способ комбинирования операций может быть использован для изготовления различных облицовочных изделий и деталей мебели, при условии отсутствия их контакта с влагой и значительных перепадов влажности.

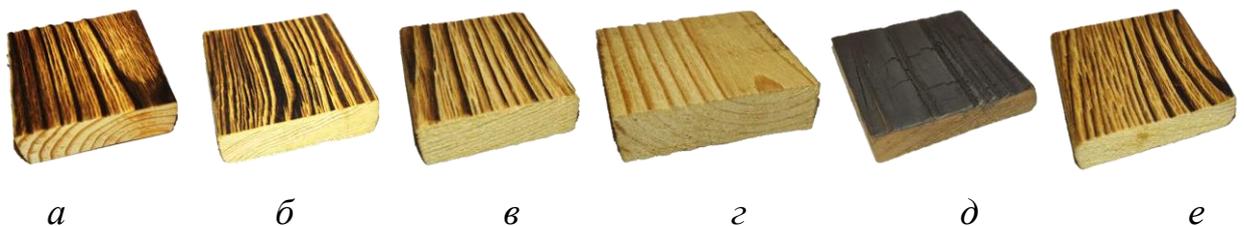


Рисунок 4.1 – Образцы, изготовленные с помощью способов комбинированной обработки: *a* – О-Б; *б* – О-Б-П; *в* – О-Б-Т; *г* – Б-П-Т; *д* – П-Т-О; *е* – О-Б-П-Т

2) Способ, включающий операции обжига, браширования и термической обработки (О-Б-Т) (рисунок 4.1 в), обеспечивает схожий с предыдущим способом эффект. Высокие декоративные свойства заготовок сохраняются. За счет термообработки значительно повышается их влагостойкость. Плотность по сравнению с плотностью необработанных заготовок практически не изменяется. По причине хрупкости рельефной поверхности способ имеет ограниченное применение для изготовления облицовочных изделий.

3) Способ, включающий браширование, прессование и термическую обработку (Б-П-Т) (рисунок 4.1 г), позволяет повысить плотность, твердость и влагостойкость заготовок из древесины. Декоративные свойства обработанных заготовок по сравнению с необработанной древесиной изменяются незначительно. Способ может быть заменен совокупностью операций прессования и термической обработки, обеспечивающей схожий эффект [150].

4) Способ, включающий обжиг, прессование и термообработку, может быть реализован в последовательности: прессование – термообработка – обжиг (П-Т-О) (рисунок 4.1 д). Он позволяет существенно повысить плотность и влагостойкость заготовок из древесины и может быть применен для изготовления изделий, эксплуатирующихся в неблагоприятных природных условиях. Но за счет хрупкой и пачкающейся обожженной поверхности его применение для изготовления облицовочных изделий внутренней отделки нежелательно.

5) Способ О-Б-П-Т позволяет обеспечивать высокие показатели плотности, твердости, влагостойкости и гигиеничности (рисунок 4.1 е). За счет применения операций прессования и термической обработки устраняются недостатки трехстадийных способов обработки. Из всех рассмотренных выше способов данный способ является наиболее рациональным для изготовления облицовочных изделий. В связи с этим, дальнейшие экспериментальные исследования будут направлены на его изучение.

4.1.2 Исследование способа четырехстадийной комбинированной обработки

4.1.2.1 Определение оптимальной последовательности способа

Способ комбинированной обработки, включающий операции обжига, браширования, прессования и термической обработки может быть реализован в двух вариантах последовательности:

- № 1 (обжиг – браширование – прессование – термообработка или О-Б-П-Т);
- № 2 (браширование – обжиг – прессование – термообработка или Б-О-П-Т).

Оба варианта обеспечивают достаточно схожий эффект – формирование упрочненной декоративной поверхности, соответствующей природной структуре древесины (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 – Декоративная поверхность после обработки:

а – последовательность О-Б-П-Т; *б* – последовательность Б-О-П-Т

В случае, когда обжиг древесины является первой технологической операцией способа, полученная декоративная поверхность заготовок имеет большую контрастность между слоями ранней и поздней древесины и выглядит более выразительной. Поверхность заготовок после обработки, начинающейся с операции браширования выглядит достаточно монохромно.

По критерию технологичности вариант последовательности О-Б-П-Т наиболее приемлем, так как является менее трудоемким и энергозатратным. При варианте последовательности Б-О-П-Т после операции обжига необходима повторная обработка мягкими щетками с целью удаления сгоревших волокон. Это

приводит к введению в технологический процесс дополнительных операций. Удельная себестоимость продукции при этом по ориентировочным расчетам увеличивается на $7 \div 10$ %. В дальнейших исследованиях будет рассматриваться только последовательность способа О-Б-П-Т.

4.1.2.2 Экспериментальное определение граничных условий обработки

1) Ограничения по виду распила заготовки и углу наклона волокон.

На декоративный эффект, достигаемый при обжиге и брашировании древесины, и на результат процесса прессования оказывает влияние вид распила заготовок и направление волокон. В п. 2.5 установлено, что наиболее эстетично выглядит структурированная поверхность тангенциального распила. Кроме того, заготовки хвойных пород именно тангенциального распила в лучшей степени поддаются прессованию. Деление заготовок на группы радиального, полурadiального и тангенциального распила достаточно условно. В связи с этим в настоящей работе введен показатель α угла наклона волокон в заготовке, определяемый как угол между плоскостью заготовки и касательной проведенной к годичным кольцам на середине ширины B и толщины h заготовки (рисунок 4.3 *а*). Установлено, что рельефные заготовки радиального распила с углом наклона волокон $70 \leq \alpha \leq 90$ град. при обработке давлением подвержены разрушению. Даже при малой степени прессования ($\varepsilon < 20$ %) можно наблюдать «расползание» заготовок, трещины на границе ранней и поздней зон древесины, скалывание рельефа (рисунок 4.3).

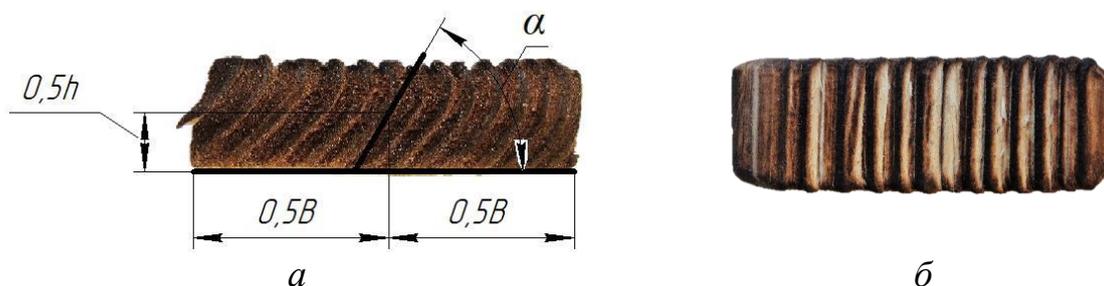


Рисунок 4.3 – Примеры разрушения образца:
а – образование трещин; *б* – скалывание рельефа

Предпочтительными для прессования являются заготовки полурадимального и тангенциального распила с наклоном волокон $\alpha \leq 45$ град. Таким образом, для исследования способа О-Б-П-Т рекомендуется рассматривать заготовки с $0 \leq \alpha \leq 45$ град.

2) Ограничения по влажности древесины.

Влажность древесины является одним из ключевых факторов, определяющих качество обработки поверхности и физико-механические свойства заготовки. Повышенная влажность замедляет процессы обжига и термической обработки, на этапе браширования является причиной появления заусенцев и ворсистости. Наибольшее влияние влажность оказывает на процесс прессования. Увеличение влажности заготовки снижает коэффициент внутреннего трения, что, с одной стороны, способствует увеличению податливости древесины при сжатии, а с другой стороны приводит к потере устойчивого положения пластических деформаций и увеличению доли упругого восстановления, снижающего фактическую степень упрессовки [87]. Кроме того, для обработки давлением влажных заготовок требуются дополнительные операции – предварительное увлажнение и последующая после прессования сушка или кондиционирование заготовок, что приводит к увеличению трудоемкости и энергоемкости процесса и, как следствие, к увеличению себестоимости изделий.

Взаимное влияние содержания влаги, которая увеличивает долю упругого восстановления волокон древесины, и смолы в заготовках из древесины хвойных пород, препятствующей переходу остаточных деформаций в упругие, приводит к короблению заготовок (рисунок 4.4 *а*).



Рисунок 4.4 – Форма образцов после прессования:
а – влажного; *б* – сухого

При исследовании способа О-Б-П-Т границы диапазона варьирования влажности необходимо выбирать с учетом значений равновесной влажности древесины $6 \div 8$ % для изделий, эксплуатируемых внутри помещений с температурой от 20 до 25 °С и центральным отоплением, и максимальной податливостью древесины прессованию, наблюдаемой при влажности от 25 до 30 %. Для проведения экспериментальных исследования влажность рекомендуется варьировать в диапазоне значений от 6 до 30 %.

3) Ограничения по степени прессования.

В качестве параметра, задающего величину сжатия заготовки в момент запрессовки, предложен показатель степень прессования ε , определяемый по аналогично выражению (2.10) в процентах. От его величины в конечном итоге зависят плотность древесины, прочность и твердость. Минимальная степень прессования должна обеспечивать требуемые параметры физико-механических свойств древесины и достижение третьей фазы деформации [87], начало которой лежит в диапазоне $30 \div 40$ %. С учетом упругого восстановления минимальное значение ε должно составлять не ниже 40 %. Максимальная степень прессования не должна приводить к значительным микроразрушениям заготовок и снижению их прочности. При проведении поисковых экспериментов установлена верхняя граница степени прессования $\varepsilon = 60$ %. Таким образом, выбран диапазон варьирования степени прессования от 40 до 60 %.

4) Ограничения по температурному режиму термической обработки.

Как указано в п. 2.2.4.2 термическую обработку древесины в промышленности обычно проводят при температуре от 150 до 220 °С [83, 151]. По результатам поисковых экспериментов установлено, что низкотемпературные режимы (ниже 90 °С) не обеспечивают достаточного снижения гигроскопичности древесины [148]. Верхний температурный предел термической обработки заготовок определяется безопасностью проведения экспериментов и изменением цвета древесины. При температуре свыше 180 °С наблюдается значительное потемнение древесины, что снижает контрастность между ранней и

поздней зонами (рисунок 4.5), и, как следствие, теряется декоративная ценность поверхности. Для исследования способа О-Б-П-Т в связи с установленными нами изменениями цвета древесины, термическую обработку заготовок следует рассматривать в диапазоне температур от 150 до 180 °С.



Рисунок 4.5 – Изменение цвета древесины при термической обработке:

а – 25 °С; *б* – 150 °С; *в* – 180 °С; *г* – 200 °С

4.1.2.3 Определение режимов обработки заготовок обжигом и брашированием

На основании теоретических и практических рекомендаций предыдущих исследователей [65, 103–107, 109], а также с учетом заданных параметров заготовок (см. п. 3.2) подобраны режимы обработки обжигом и брашированием. Параметры режимов приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Параметры режимов обработки заготовок обжигом и брашированием

Этап обработки	Режим обработки		Результат обработки	
	Параметры режима	Значение	Контролируемый параметр	Значение
Обжиг	Ориентация заготовок	Горизонтальная	Глубина обожженного слоя, мм	Не более 1,0
	Количество обжигаемых сторон, шт.	5		
	Скорость перемещения пламени по поверхности, м/мин	1		
	Температура обжига, °С	1200		
Браширование	Вид распила заготовок	тангенциальный	Шероховатость поверхности $R_{m\ max}$, мкм	Не более 1200
	Скорость вращения инструмента, об/мин	3500		
	Скорость подачи, м/мин	5		
	Высота выхода инструмента, мм	1,2		

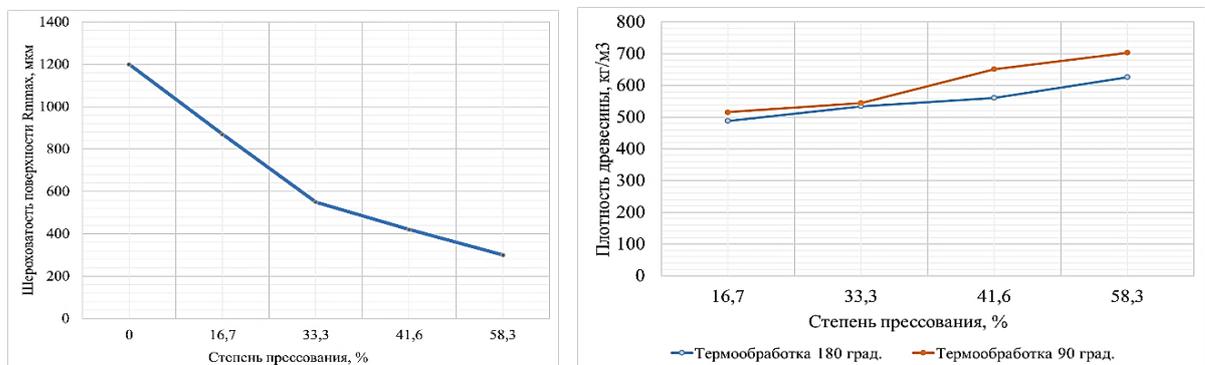
При обработке заготовок брашированием ручным электрифицированным инструментом скорость вращения инструмента установили равной 1500 об/мин и скорость подачи – 2 м/мин. Результат обработки брашированием контролировали по заданному параметру шероховатости поверхности и внешнему виду (сравнивали с эталонным образцом, изготовленным по режиму, указанному в таблице 4.1).

Экспериментально подтверждено, что обработка заготовок при указанных режимах обжига и браширования обеспечивает высокие декоративные свойства заготовок хвойных пород.

4.1.2.4 Изменения физико-механических свойств заготовок в результате обработки О-Б-П-Т

Для определения основных изменений физико-механических свойств заготовок в процессе обработки О-Б-П-Т проведен поисковый эксперимент. Варьировали степень прессования на четырех уровнях (16,7; 33,3; 41,6 и 58,3 %) и температуру термической обработки на двух уровнях (90 и 180 °С). Продолжительность термической обработки составляла 1 час.

В результате исследования получены следующие результаты. Глубина рельефа лицевой поверхности (шероховатость $R_{t\ max}$) с увеличением степени прессования уменьшается (рисунок 4.6 а). Даже при значительной степени прессования образцов не наблюдается полного выравнивания полученного при брашировании рельефа.



а

б

Рисунок 4.6 – Влияние степени прессования: а – на шероховатость лицевой поверхности; б – на плотность заготовок

Плотность заготовок с увеличением степени прессования увеличивается, но с увеличением температуры термической обработки снижается (рисунок 4.6 б). Наибольшая плотность древесины ($703,5 \text{ кг/м}^3$) зафиксирована при температуре обработки $90 \text{ }^\circ\text{C}$ и степени прессования $58,3 \%$.

Равновесная влажность заготовок после обработки снижается примерно на 2% и составляет $6 \pm 1 \%$.

С увеличением степени прессования и температуры термической обработки значительно увеличивается время впитывания капли жидкости декоративной поверхностью (рисунок 4.7). Это свидетельствует о снижении показателя водопоглощения.

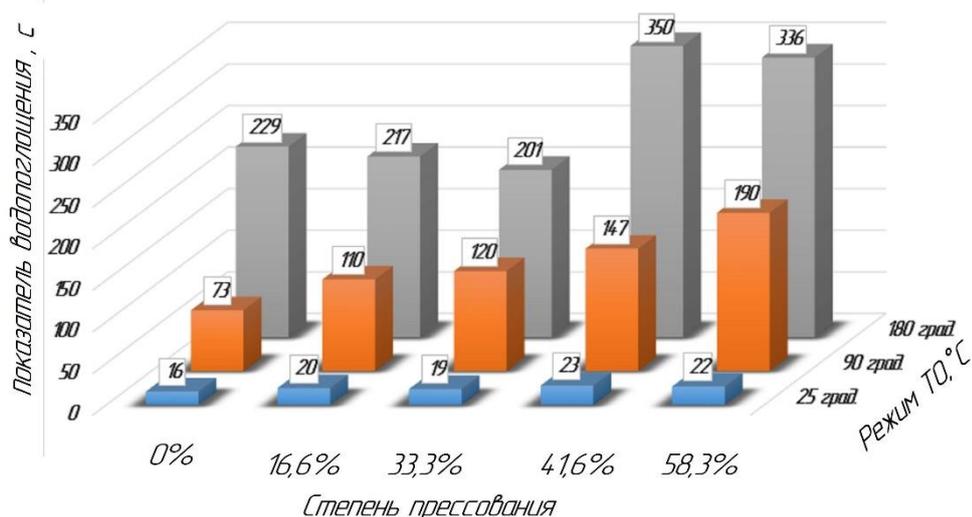


Рисунок 4.7 – Влияние степени прессования и температуры ТО на время впитывания капли жидкости лицевой поверхностью

Таким образом, результаты поисковых экспериментов свидетельствуют об улучшении физико-механических свойств заготовок в результате обработки О-Б-П-Т. Для разработки технологических режимов обработки требуются дополнительные экспериментальные исследования, направленные на изучение процессов прессования и термической обработки заготовок с рельефной поверхностью.

4.2 Исследование процессов прессования и термической обработки

Этап упрочнения заготовок включает процессы прессования и термической обработки. С целью изучения совокупности процессов прессования и термической обработки, а также установления влияния параметров их режимов на физико-механические свойства заготовок и эксплуатационные показатели облицовочных изделий проведены три серии планируемых экспериментов: ДФЭ типа 2^{4-1} и ПФЭ типа 3^2 на заготовках из древесины сосны; ПФЭ типа 2^4 на заготовках из древесины ели (см. п. 3.5.5). Методические сетки и результаты экспериментов приведены в приложении Г. Схема описания процессов, входящих в этап упрочняюще обработки, представлена на рисунке 4.8.



Рисунок 4.8 – Схема описания процессов на этапе упрочнения заготовок из древесины сосны

4.2.1 Экспериментальное исследование влияния параметров режимов прессования и термической обработки на физико-механические свойства заготовок из древесины сосны и ели

4.2.1.1 Исследование влияния параметров режимов прессования и термической обработки на степень уплотнения

а) Степень уплотнения заготовок из древесины сосны.

Методическая сетка и результаты ДФЭ типа 2^{4-1} приведены в таблицах Г.1, Г.4 приложения Г. Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена по методике, приведенной в приложении В.

По формулам (3) и (4) рассчитаны дисперсии опытов и ошибки опытов, например, для первого опыта:

$$s_1^2 = \frac{1}{2-1} ((143 - 140)^2 + (137 - 140)^2) = 18,$$

$$s_j = \sqrt{18} = 4,24.$$

Результаты расчетов s_j^2 и s_j для остальных опытов приведены в таблице Г.4 приложения Г. Критерий Кохрена для данного ряда дисперсий, рассчитанный по формуле (5), равен:

$$G_p = \frac{25^2}{18 + 18 + 18 + 1 + 13 + 5 + 25 + 2} = 0,35.$$

Дисперсии однородны, так как расчетное значение G_p меньше табличного $0,35 < 0,6798$, соответственно, исследуемая величина *Степень уплотнения* γ подчиняется закону нормального распределения [130].

По формулам (7) – (9) определены коэффициенты регрессионной модели и получено уравнение в кодированных значениях факторов:

$$y_{1(1)} = 126,25 - 5x_1 - 3,25x_2 + x_3 + 1,75x_4 + 4,5x_1x_2. \quad (4.1)$$

Для перевода уравнения (4.1) из кодированных значений факторов x_1, x_2, x_3, x_4 в натуральные использовали выражение (4.2):

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \widetilde{x}_i^0}{\varepsilon_i}, \quad (4.2)$$

где \tilde{x}_i – натуральное значение i -го фактора;
 \widetilde{x}_i^0 – натуральное значение основного уровня i -го фактора;
 ε_i – интервал варьирования i -го фактора.

Для факторов x_1, x_2, x_3, x_4 определены значения $\widetilde{x}_i^0, \varepsilon_i$ (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Значения основного уровня факторов и интервала варьирования

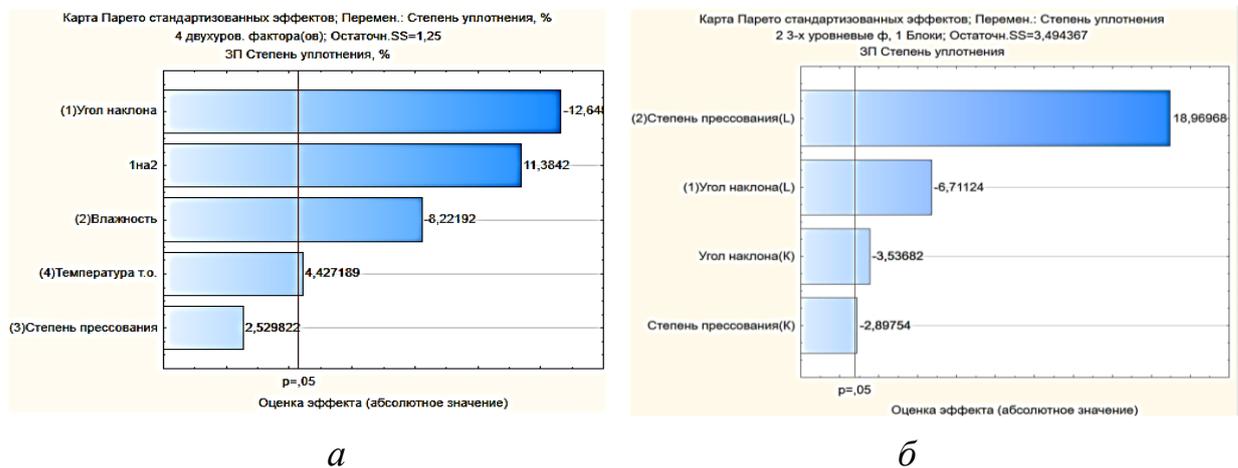
Фактор	\bar{x}_i^0	ε_i
Угол наклона α , град.	37,5	7,5
Влажность W , %	12	5
Степень прессования ε , %	52,5	2,5
Температура термической обработки T , °C	165	15

В натуральных значениях факторов α , W , ε , T уравнение регрессии (4.1) для отклика *Степень уплотнения* γ приняло вид:

$$\gamma_1 = 172,8 - 2,11\alpha - 5,15W + 0,4\varepsilon + 0,12T + 0,12\alpha W. \quad (4.3)$$

Коэффициент детерминации полученной модели составил $R^2 = 0,99$. Это подтверждает, что модель адекватно описывает взаимосвязь между факторами и зависимой переменной. Анализ экспериментальных данных, проведенный в программном продукте Statistica, подтвердил полученные выше результаты.

Использование программы позволило также провести ранжирование факторов по их значимости с помощью диаграммы Парето-эффектов (рисунок 4.9 а).

Рисунок 4.9 – Карта Парето-эффектов для факторов модели отклика: а – γ_1 ; б – γ_2

Наиболее значимым фактором для отклика *Степень уплотнения* является фактор *Угол наклона волокон в заготовке* α . С его увеличением величина отклика уменьшается, поэтому обработка заготовок с меньшим углом наклона волокон является более предпочтительной.

Фактор *Степень прессования* ε в полученной зависимости (4.3) статистически не значим, что может быть обусловлено достаточно узко выбранным диапазоном варьирования фактора ($\varepsilon = 50 \div 55 \%$). С целью уточнения влияния фактора *Степень прессования* ε дополнительно проведен ПФЭ типа 3^2 на диапазоне $\varepsilon = 40 \div 60 \%$. Результаты эксперимента приведены в таблице Г.5 приложения Г. Получено уравнение регрессии в кодированном (4.4) и натуральном виде (4.5):

$$y_{1(2)} = 136,65 - 5,12x_1 - 2,34x_1^2 + 14,48x_2 - 1,92x_2^2, \quad (4.4)$$

$$\gamma_2 = 183,29 - 2,38\alpha + 0,05\alpha^2 - 2,38\varepsilon + 0,04\varepsilon^2. \quad (4.5)$$

Коэффициент детерминации уточненной модели составил $R^2 = 0,99$, что также свидетельствует о ее высокой точности. В данном случае фактор *Степень прессования* является наиболее значимым (рисунок 4.9 б). Это согласуется с тем, что если фактор *Степень прессования* ε рассматривать как общую деформацию древесины при прессовании, а отклик *Степень уплотнения* γ – как пластическую, то между ними есть непосредственная связь (2.6) [87]. Таким образом, подтверждено предположение, что фактор *Степень прессования* является ключевым параметром режима прессования заготовок из древесины.

Зависимость отклика *Степень уплотнения* от рассматриваемых факторов представлена на графиках подогнанных поверхностей (рисунок 4.10). Графики построены на стабилизированных уровнях факторов: $\alpha = 30$ град., $W = 8 \%$, $\varepsilon = 55 \%$ и $T = 180$ °С.

Согласно аналитическим выводам (см. п. 2.2.3) [87], прессование следует доводить до третьей фазы, которая начинается в диапазоне значений относительной деформации $30 \div 40 \%$, что соответствует значениям γ от $130 \div 140 \%$. В результате анализа полученных моделей, а также по представленным графикам зависимостей, определены диапазоны значений факторов, где функция принимает значение $\gamma \geq 135 \%$: $\alpha \leq 32$ град., $W \leq 9 \%$, $\varepsilon \geq 54 \%$ и $T \geq 170$ °С.

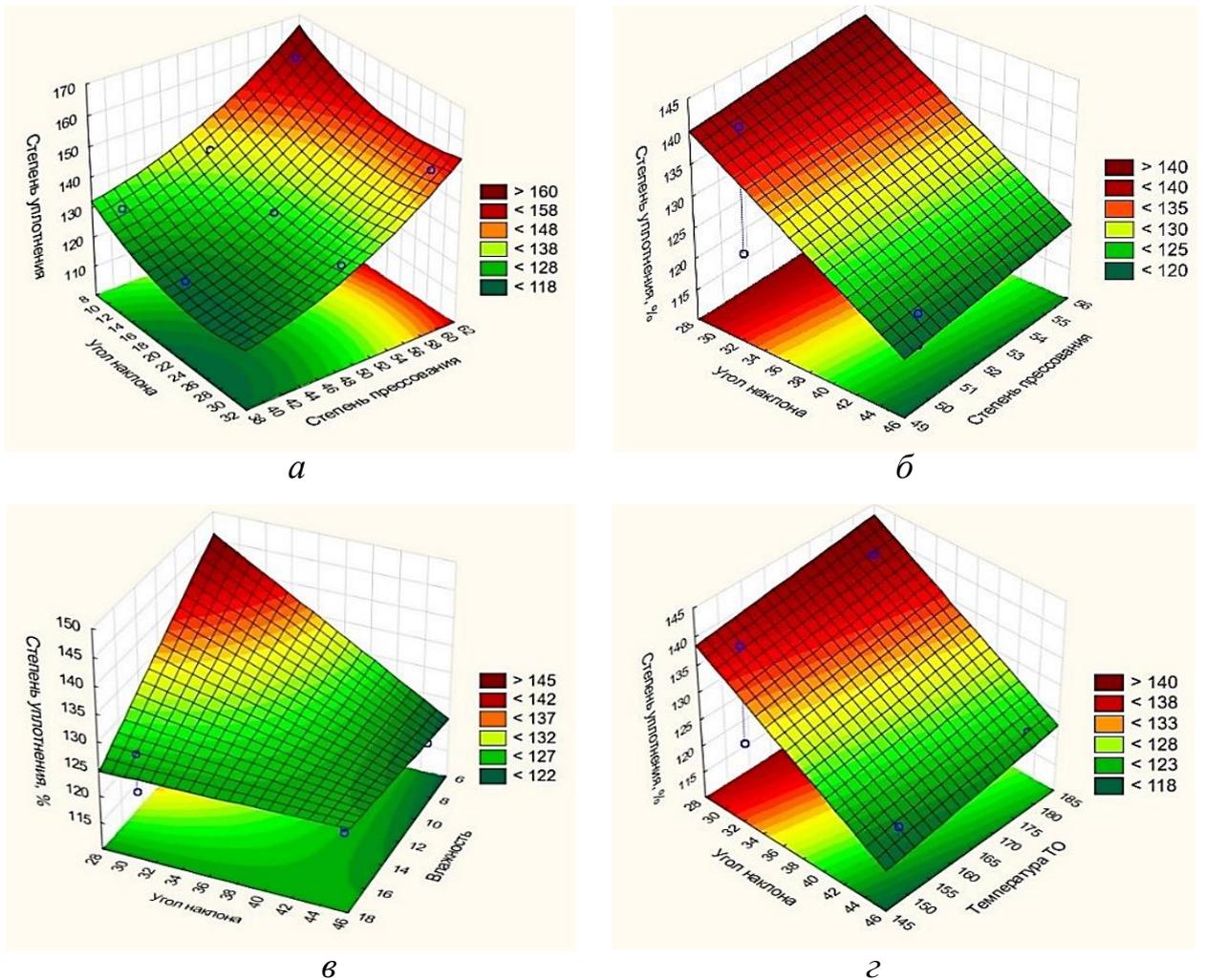


Рисунок 4.10 – Зависимость *Степени уплотнения* заготовок из древесины сосны: *а* – в диапазоне $\alpha \leq 30$ град., *б-г* – в диапазоне $30 \leq \alpha \leq 45$ град.

б) Степень уплотнения заготовок из древесины ели.

Для определения значений параметров режимов прессования и термической обработки заготовок из древесины ели реализован ПФЭ типа 2^4 (см. таблицу Г.3 приложения Г). Результаты эксперимента приведены в таблице Г.6 приложения Г.

Получено уравнение регрессии для определения *Степени уплотнения* в кодированном (4.6) и натуральном виде (4.7), с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,9$.

$$y_{1(3)} = 129,64 - 4,74x_1 + 5,67x_2 - 3,77x_4 - 5,66x_1x_4, \quad (4.6)$$

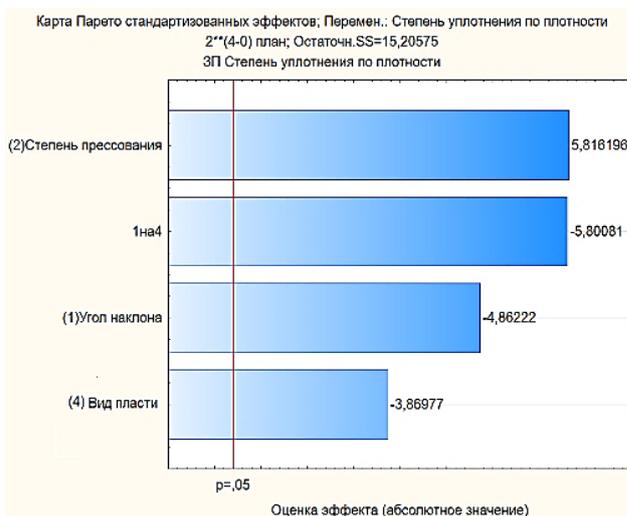
$$\gamma_3 = 77,81 + 0,12\alpha + 1,13\varepsilon + 49,01\theta - 1,51\alpha\theta. \quad (4.7)$$

Наиболее значимыми факторами являются *Степень прессования* ε и *Угол наклона волокон в заготовке* α (рисунок 4.11 а). Вид пласти заготовок θ также является статистически значимым фактором.

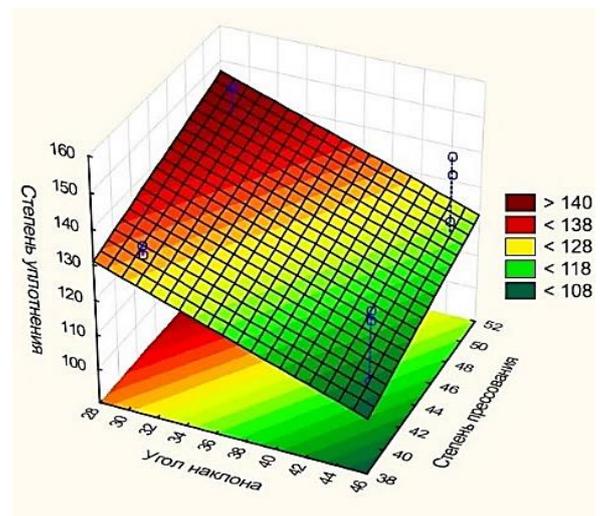
Диапазоны параметров режимов прессования и термической обработки для заготовок из древесины ели, при которых значение отклика *Степень уплотнения* $\gamma \geq 135$ % следующие:

– при обработке наружной пласти заготовок ($\theta = 1$) в исследуемом диапазоне значений T : $\alpha \leq 34$ град., $\varepsilon \geq 49$ % (рисунок 4.11 б);

– при обработке внутренней пласти ($\theta = 0$) в исследуемых диапазонах α и T : $\varepsilon \geq 48$ %.



а



б

Рисунок 4.11 – Влияние факторов на *Степень уплотнения* ели: а – карта Парето-эффектов (γ_3); б – зависимость γ от α и ε при $T = 180$ °С и $\theta = 1$

Анализируя результат влияния параметров режимов прессования и термической обработки и ели на *Степень уплотнения* γ заготовок из древесины сосны, установлено, что для обеспечения высоких значений отклика, значения параметров α и ε достаточно близки: $\alpha \leq 32$ град., $\varepsilon \geq 54$ %. Для управления параметром γ их важно контролировать.

Обобщенная информация, полученная в результате проведенного анализа, а также рекомендации по выбору модели для определения значений γ в зависимости от свойств обрабатываемых заготовок приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты анализа влияния параметров режимов прессования и термической обработки на физико-механические и эксплуатационные свойства облицовочных изделий

Отклик	Порода	Диапазон α , град.	Модель	R^2	Значимые факторы	Факторы, учитываемые при разработке технологических режимов
Степень уплотнения γ , %	Сосна	до 30	$\gamma_2 = 183,29 - 2,38\alpha + 0,05\alpha^2 - 2,38\varepsilon + 0,04\varepsilon^2$	0,99	ε, α	$\alpha, W, \varepsilon, T, \theta$
		от 30 до 45	$\gamma_1 = 172,80 - 2,11\alpha - 5,15W + 0,40\varepsilon + 0,13T + 0,12\alpha W$	0,99	α, W, T	
	Ель	от 30 до 45	$\gamma_3 = 77,81 + 0,12\alpha + 1,13\varepsilon + 49,01\theta - 1,51\alpha\theta$	0,9	$\varepsilon, \alpha, \theta$	
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	ε, α, T	$\varepsilon, \alpha, T, \theta$
	Ель		$HRR_3 = 53,62 + 0,32\alpha + 0,92\varepsilon + 116,05\theta - 3,47\alpha\theta$	0,93	$\alpha, \theta, \varepsilon$	
Боковое расширение β , %	Сосна	до 30	$\beta_2 = -3,31 + 0,47\alpha - 0,01\alpha^2 + 0,03\varepsilon + 0,07\alpha\varepsilon$	0,96	α, ε	$\alpha, \varepsilon, T, \theta$
		от 30 до 45	$\beta_1 = 44,96 - 1,41\alpha - 0,21W - 0,96\varepsilon - 0,04T + 0,04\alpha\varepsilon$	0,97	α	
	Ель	от 30 до 45	$\beta_3 = -14,74 + 0,29\alpha + 0,38\varepsilon - 0,01\alpha\varepsilon + 0,0003\alpha T - 0,003\alpha\theta$	0,68	$\varepsilon, \alpha, T, \theta$	
Шероховатость поверхности R_{max} , МКМ	Сосна	до 30	$R_{max2} = 455,55 - 23,03\alpha + 0,72\alpha^2 - 0,08\alpha\varepsilon$	0,86	α, ε	$\alpha, \varepsilon, \theta$
		от 30 до 45	$R_{max1} = 2362,50 - 40,59\alpha - 45\varepsilon + 0,04\alpha W + \alpha\varepsilon - 0,004\alpha T$	0,88	α	
	Ель	свыше 30	$R_{max3} = 219,08 - 0,89\alpha - 311,55\theta + 9,33\alpha\theta$	0,83	α, θ	
Показатель водопоглощения, G, с.	Сосна	до 30	$G_2 = -2117,57 + 296,77\alpha - 7,30\alpha^2 + 0,02\varepsilon^2$	0,96	α	$\alpha, T, W, \varepsilon$
		от 30 до 45	$G_1 = -57,35 - 24,13\alpha + 24,55W + 8,62T - 0,09\alpha\varepsilon$	0,88	$\alpha, T, W, \varepsilon$	
	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	T	

4.2.1.2 Исследование влияния параметров режимов прессования и термической обработки на твердость лицевой поверхности древесины

а) Твердость лицевой поверхности заготовок из древесины сосны.

Для определения влияния параметров режимов прессования и термической обработки на твердость лицевой поверхности также реализованы: ДФЭ типа 2^{4-1} на диапазоне $\alpha = 30 \div 45$ град. и уточняющий ПФЭ 3^2 на диапазоне $\alpha = 10 \div 30$ град. для заготовок из древесины сосны; ПФЭ типа 2^4 для заготовок из древесины ели. Методические сетки и результаты экспериментов приведены в приложении Г. Методика анализа экспериментальных данных по определению твердости лицевой поверхности HRR аналогична методике по определению γ , представленной в п. 4.2.1.1.

Уравнение регрессии, полученное по результатам ДФЭ типа 2^{4-1} , ($R^2 = 0,98$) в кодированных (4.8) и натуральных значениях факторов (4.9) имеет вид:

$$y_{2(1)} = 103,54 - 1,29x_1 - 4,61x_2 + 17,86x_3 + 7,61x_4 + 10,64x_1x_2, \quad (4.8)$$

$$HRR_1 = 247,26 - 15,77\alpha - 0,92W + 7,15\varepsilon - 3,04T + 0,09\alpha T. \quad (4.9)$$

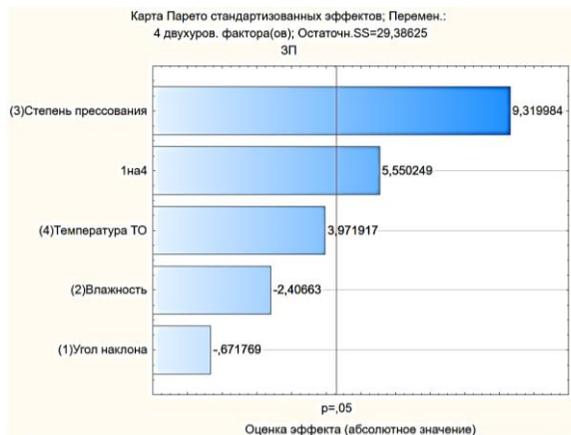
Полученная по результатам ПФЭ типа 3^2 зависимость отклика HRR , ($R^2 = 0,99$), описывается уравнением в кодированных (4.10) и натуральных значениях факторов (4.11):

$$y_{2(2)} = 73,39 - 2,35x_1 + 3,06x_1^2 + 2,23x_2 + 3,3\alpha\varepsilon - 7,35\alpha\varepsilon^2 - 1,75\alpha^2\varepsilon - 7\alpha^2\varepsilon^2, \quad (4.10)$$

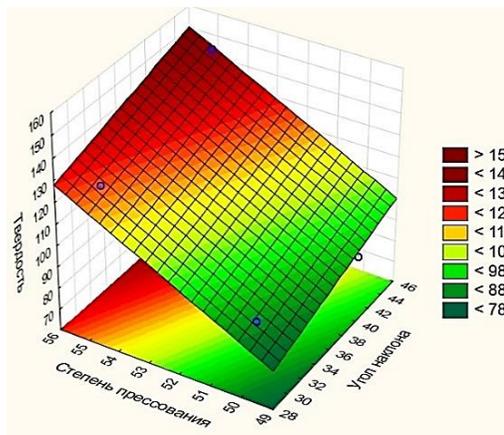
$$HRR_2 = 11,8 - 14,47\alpha + 0,83\alpha^2 + 0,73\varepsilon + 0,82\alpha\varepsilon - 0,01\alpha\varepsilon^2 - 0,04\alpha^2\varepsilon + 0,004\alpha^2\varepsilon^2. \quad (4.11)$$

Ранжирование факторов и их взаимодействий представлено на диаграмме Парето-эффектов (рисунок 4.12 а). Зависимость HRR от статистически значимых факторов представлена на рисунке 4.12 б-в.

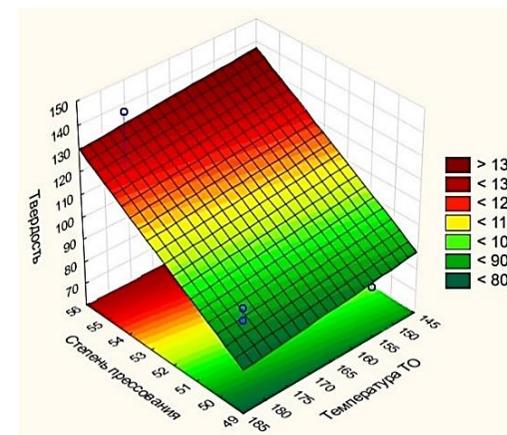
Статистически значимыми являются фактор *Степень прессования* ε и взаимодействие αT . Для повышения точности модели при дальнейшей оптимизации незначимые факторы α , W и T не исключены.



а



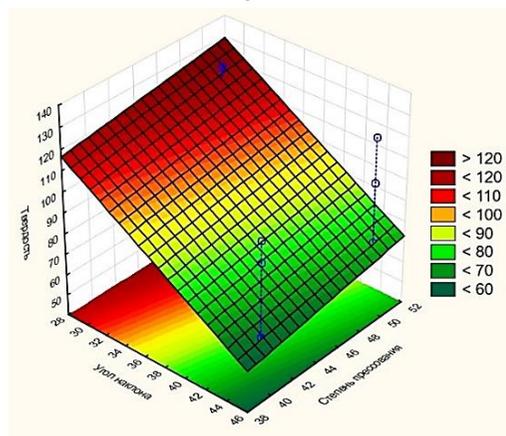
б



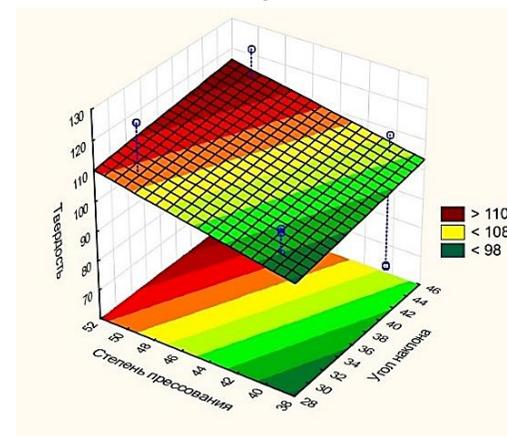
в



г



д



е

Рисунок 4.12 – Влияние факторов на *Твердость лицевой поверхности*: а – Карта Парето-эффектов (HRR_1); б – зависимость HRR_1 от α и ϵ при $W = 8 \%$ и $T = 180 \text{ }^\circ\text{C}$; в – зависимость HRR_1 от ϵ и T при $\alpha = 30$ град. и $W = 8 \%$; г – Карта Парето-эффектов (HRR_3); д – зависимость HRR_3 от α и ϵ при $T = 180 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta = 1$; е – зависимость HRR_3 от α и ϵ при $T = 180 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta = 0$

Согласно [47] тангенциальная твердость сосны ниже твердости твердолиственной древесины, в частности дуба, примерно в 2 раза. Соответственно, для замены древесины дуба в производстве облицовочных изделий заготовками из древесины сосны, прессование и термическая обработка должны обеспечивать увеличение твердости не менее, чем в 2 раза. При исходной твердости необработанных сосновых заготовок от 56 до 65 HRR, твердость после обработки должна составлять не менее 115 HRR. В результате анализа уравнений регрессии и графиков зависимостей установлено, что данное условие выполняется при значениях факторов: $\alpha \geq 37$ град, $\varepsilon \geq 54$ %, $T \geq 177$ °C в исследуемом диапазоне значений W .

б) Твердость лицевой поверхности заготовок из древесины ели.

Закономерность отклика *Твердость лицевой поверхности* заготовок из древесины ели описывается уравнением в кодированных (4.12) и натуральных (4.13) значениях факторов:

$$y_{2(3)} = 99,99 - 10,63x_1 + 4,59x_2 - 7,07x_4 - 13,02\alpha\theta, \quad (4.12)$$

$$HRR_3 = 53,62 + 0,32\alpha + 0,92\varepsilon + 116,05\theta - 3,47\alpha\theta. \quad (4.13)$$

Статистически значимыми являются факторы α , θ , ε (рисунок 4.12 з).

Функция принимает значения $HRR > 115$ в следующих диапазонах:

– при обработке наружной пласти заготовок ($\theta = 1$) в диапазоне рассматриваемых значений T : $\alpha \leq 29$ град., $\varepsilon \geq 40$ % (рисунок 4.12 д);

– при обработке внутренней пласти заготовок ($\theta = 0$) в диапазоне рассматриваемых значений T : $\alpha \geq 40$ град., $\varepsilon \geq 53$ % (рисунок 4.12 е).

Обобщенная информация о результатах проведенного анализа для отклика *Твердость лицевой поверхности*, а также рекомендации по выбору модели приведены в таблице 4.3 на стр. 102.

Закономерности изменения твердости лицевой поверхности для заготовок из древесины сосны и ели схожи (рисунок 4.12 б, е). Для достижения более высоких значений твердости предпочтительным является выбор в качестве лицевой поверхности наружной пласти.

4.2.1.3 Исследование влияния параметров режимов прессования и термической обработки на боковое расширение

а) Боковое расширение заготовок из древесины сосны.

Результаты ДФЭ типа 2^{4-1} и ПФЭ типа 3^2 по определению величины *Бокового расширения* приведены в таблицах Г.4 и Г.5 приложения Г.

Уравнение регрессии, полученное по результатам ДФЭ ($R^2 = 0,97$) для диапазона $\alpha = 30 \div 45$ град., в кодированных (4.14) и натуральных значениях факторов (4.15) имеет вид:

$$y_{3(1)} = 5,59 + 3,9x_1 - 1,06x_2 + 1,05x_3 - 0,56x_4 + 0,69x_1x_3, \quad (4.14)$$

$$\beta_1 = 44,96 - 1,41\alpha - 0,21W - 0,96\varepsilon - 0,04T + 0,04\alpha\varepsilon. \quad (4.15)$$

Зависимость, полученная по результатам ПФЭ ($R^2 = 0,96$) для диапазона $\alpha = 10 \div 30$ град., в кодированных (4.16) и натуральных значениях факторов (4.17) описывается выражениями:

$$y_{3(2)} = 8,37 + 2,77x_1 + 0,67x_1^2 + 1,72x_2 + 0,69x_1x_2, \quad (4.16)$$

$$\beta_2 = -3,31 + 0,47\alpha - 0,01\alpha^2 + 0,03\varepsilon + 0,07\alpha\varepsilon. \quad (4.17)$$

Статистически значимыми в первом случае является фактор α , во втором – α и ε . Зависимость *Бокового расширения* от данных факторов представлена на рисунке 4.13.

Увеличение бокового расширения заготовок при одинаковой степени прессования ε приводит к короблению кромок заготовок и уменьшению степени уплотнения γ . Таким образом, снижается качество изготовления деталей. При величине β до 3 % точность изготовления деталей соответствует классу точности $\pm t3/2$, что исключает необходимость последующей механической обработки кромок; при этом γ снижается не более, чем на 5 %. Функция β_1 (4.15) принимает значения до 3 % при $\alpha \leq 30$ град. Параметры W , ε , T могут принимать любые значения в исследуемом диапазоне.

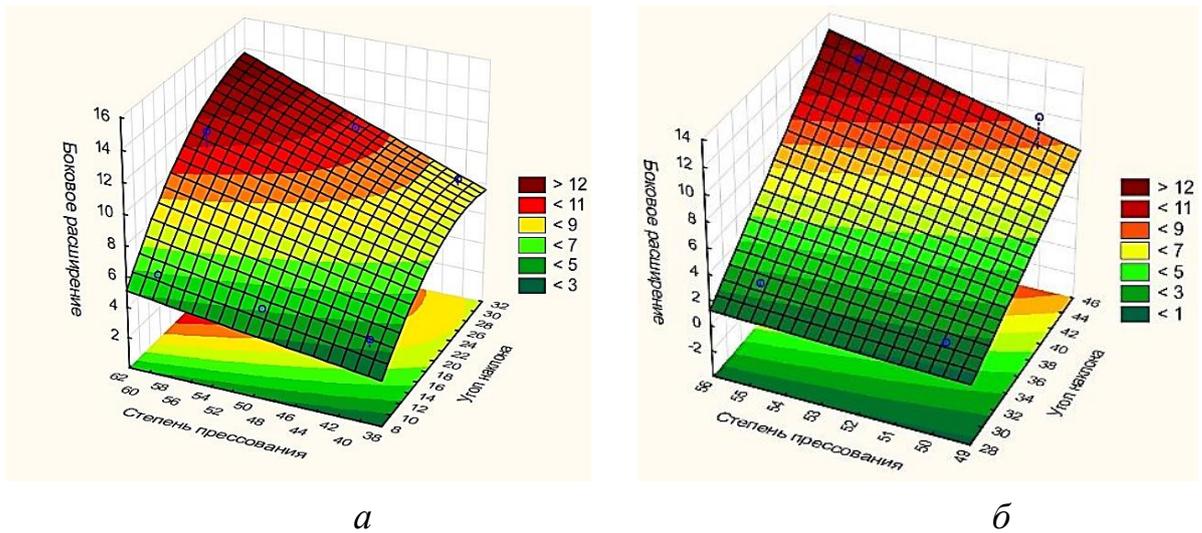


Рисунок 4.13 – Зависимость *Бокового расширения* от α и ε при $W = 8 \%$ и $T = 180 \text{ }^\circ\text{C}$: *а* – при $\alpha \leq 30$ град.; *б* – при $30 \leq \alpha \leq 45$ град.

В диапазоне значений $\alpha < 26$ град. уравнение (4.15) недостаточно описывает величину бокового расширения заготовок, в связи с чем для определения значения β у заготовок с достаточно малым углом наклона волокон следует использовать выражение (4.17). Согласно ему β принимает значения менее 3 % при $\alpha \leq 7$ град. и $\varepsilon \leq 45 \%$.

Данные ограничения представляют собой достаточно жесткие требования к сырью, значительно сужающие его потенциальные возможности. Ограничения не согласуются с условиями, обеспечивающими высокие показатели γ и HRR . В связи с этим для уменьшения величины бокового расширения при обработке заготовок с $\alpha \geq 8$ град. необходимо использование пресс-формы, ограничивающей величину поперечной деформации заготовок. Дальнейшие исследования процесса прессования проведены с использованием ограничителей бокового расширения.

б) Боковое расширение заготовок из древесины ели.

Экспериментальное исследование процесса прессования заготовок из древесины ели проводили с использованием пресс-формы, ограничивающей величину поперечной деформации (см. п. 3.3). В этом случае значения бокового расширения β рассчитывали по формуле (3.3). Результаты экспериментов

приведены в таблице Г.6 приложения Г. Уравнение регрессии для β ($R^2 = 0,68$) в кодированных (4.18) и натуральных значениях факторов (4.19) имеет вид:

$$y_{3(3)} = 1,21 - 0,21x_1 + 0,39x_2 - 0,30x_1x_2 + 0,26x_1x_3 - 0,2x_1x_4, \quad (4.18)$$

$$\beta_3 = -14,74 + 0,29\alpha + 0,38\varepsilon - 0,01\alpha\varepsilon + 0,0003\alpha T - 0,003\alpha\theta. \quad (4.19)$$

Статистически значимыми факторами, оказывающими существенное влияние на отклик *Боковое расширение* заготовок из древесины ели, являются ε , α T и θ (рисунок 4.14 а). Зависимость *Бокового расширения* β от α и ε представлена на рисунках 4.14 б.

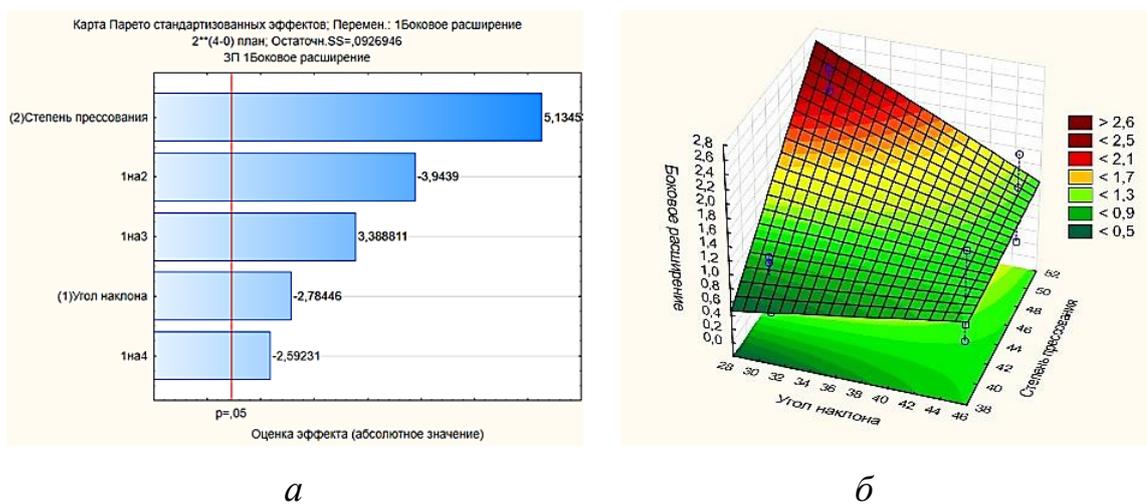


Рисунок 4.14 – Влияние факторов на *Боковое расширение*: а – карта Парето-эффектов для факторов модели отклика β_3 ; б – зависимость β от α и ε при $\theta = 1$

При использовании пресс-формы величина бокового расширения β при любых значениях факторов α , ε , T и θ в рассматриваемых диапазонах не превышает 3 %. Для обеспечения меньшей величины бокового расширения (например, $\beta \leq 1,5$ %) можно рекомендовать следующие режимы обработки:

- при обработке наружной пласти заготовок ($\theta = 1$) в диапазоне рассматриваемых значений T : $\alpha \geq 20$ град., $\varepsilon \leq 46$ %;
- при обработке внутренней пласти заготовок ($\theta = 0$) в диапазоне рассматриваемых значений T : $\alpha \leq 38$ град., $\varepsilon \leq 46$ %.

Кратко результаты проведенного анализа приведены в таблице 4.3 на стр. 102.

В случае использования пресс-формы меняется характер влияния фактора *Угол α наклона волокон в заготовке*, и обработка заготовок с большим углом наклона волокон является предпочтительной. Ограничители препятствуют поперечной деформации и растрескиванию заготовок с большим углом наклона волокон.

4.2.1.4 Исследование влияния параметров прессования и термической обработки на шероховатость поверхности

а) Шероховатость поверхности заготовок из древесины сосны.

Результаты ДФЭ типа 2^{4-1} и ПФЭ типа 3^2 по определению *Шероховатости поверхности*, приведены в таблицах Г.4, В.5 приложения Г.

Полученные уравнения регрессии в кодированных (4.20, 4.22) и натуральных значениях факторов (4.21, 4,21) имеют вид:

$$y_{4(1)} = 437,5 + 87,5x_1 - 18,75x_2 - 25x_1x_2 + 18,75x_1x_3 + 18,75x_1x_4, \quad (4.20)$$

$$R_{m \max 1} = 2362,5 - 40,59\alpha - 45\varepsilon + 0,04\alpha W + \alpha\varepsilon - 0,004\alpha T, \quad (4.21)$$

$$y_{4(2)} = 257,03 + 21,12x_1 - 36,11x_1^2 - 24,16x_1x_2, \quad (4.22)$$

$$R_{m \max 2} = 455,55 - 23,03\alpha + 0,72\alpha^2 - 0,08\alpha\varepsilon. \quad (4.23)$$

Статистически значимым фактором в обоих случаях является α (рисунок 4.15). В связи с тем, что при увеличении шероховатости поверхности уход за облицовочными изделиями усложняется и их гигиенические свойства снижаются, рекомендуется обеспечение минимальной шероховатости поверхности. Согласно ГОСТ 16371-2014 [53], шероховатость поверхностей, с которыми в процессе эксплуатации изделий соприкасается человек, должна быть не более 63 мкм. Но так как даже при $\varepsilon > 60\%$ не удается достичь такой величины шероховатости, то в соответствии с ГОСТ 30972-2002 [152] следует принять максимально допустимую шероховатость лицевой декоративной поверхности $R_{m \max} = 250$ мкм.

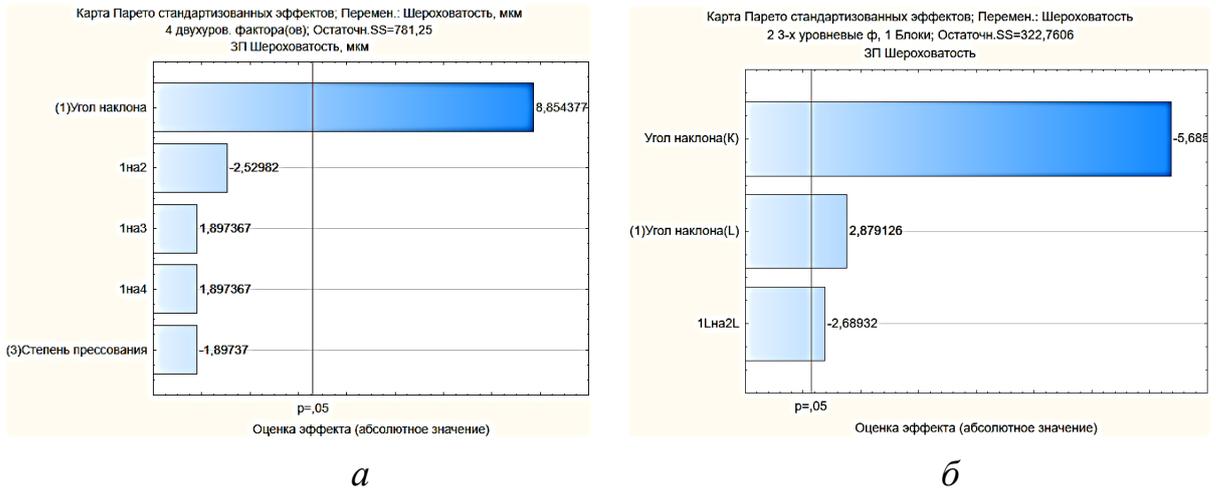


Рисунок 4.15 – Карта Парето-эффектов для факторов модели отклика:

$a - R_m \max1$; $b - R_m \max2$

Функция $R_m \max \leq 250$ мкм при $\alpha \leq 24$ град. и любых значениях W, ε, T в исследуемом диапазоне значений (рисунок 4.16).

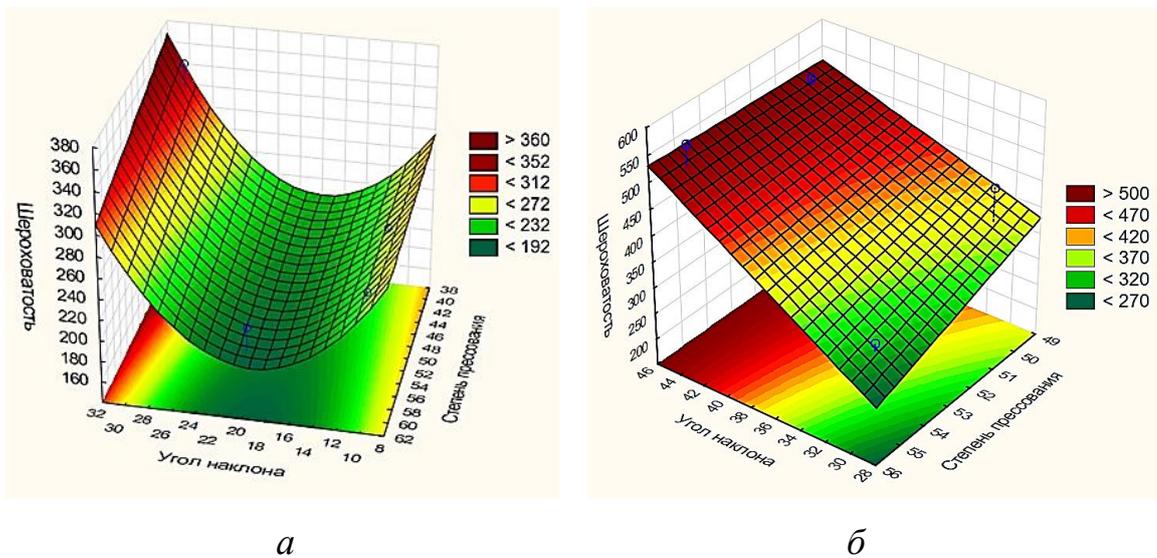


Рисунок 4.16 – Зависимость Шероховатости поверхности $R_m \max$ от α и ε при $W = 8 \%$ и $T = 180 \text{ }^\circ\text{C}$: $a - \alpha \leq 30$ град.; $b - 30 \leq \alpha \leq 45$ град.

б) Шероховатость поверхности заготовок из древесины ели.

По результатам эксперимента, приведенным в таблице Г.6 приложения Г, получено уравнение регрессии ($R^2 = 0,83$):

$$y_{4(3)} = 204,99 + 28,34x_1 + 19,16x_4 + 34,99x_1x_4, \quad (4.24)$$

$$R_{mmax3} = 219,08 - 0,89\alpha - 311,55\theta + 9,33\alpha\theta. \quad (4.25)$$

Статистически значимые факторы – α и θ (рисунок 4.17).



Рисунок 4.17 – Карта Парето-эффектов для факторов модели отклика R_{mmax3}

Значения функции $R_{mmax} \leq 250$ мкм при любом значении α в исследуемом диапазоне значений и предварительной обработке обжигом и брашированием внутренней пласти ($\theta = 0$), а также при $\alpha \leq 40$ град. при обработке по наружной пласти ($\theta = 1$).

Таким образом, для управления значениями функции *Шероховатость поверхности* важно контролировать параметры *Угол наклона волокон в заготовке* α и *Вид распила* θ .

4.2.1.5 Исследование влияния параметров режимов прессования и термической обработки на показатель водопоглощения

а) Показатель водопоглощения заготовок из древесины сосны.

Результаты ДФЭ типа 2^{4-1} и ПФЭ типа 3^2 по определению *Показателя водопоглощения* приведены в таблицах Г.4 – Г.5 приложения Г.

Уравнения регрессии в кодированных (4.26), (4.28) и натуральных значениях факторов (4.27), (4.29) имеют вид:

$$y_{5(1)} = 586,5 - 214,5x_1 + 122,75x_2 + 129,25x_4 - 94x_1x_3, \quad (4.26)$$

$$G_1 = -57,35 - 24,13\alpha + 24,55W + 8,62T - 0,09\alpha\varepsilon, \quad (4.27)$$

$$y_{5(2)} = 456,11 + 46,33x_1 + 365,17x_1^2 + 34,42x_2^2, \quad (4.28)$$

$$G_2 = -2117,57 + 296,77\alpha - 7,3\alpha^2 + 0,02\varepsilon^2. \quad (4.29)$$

Коэффициенты детерминации моделей приведены в таблице 4.3.

Статистически значимыми факторами для G_1 являются α , T , W ; для $G_2 - \alpha$ (рисунок 4.18).

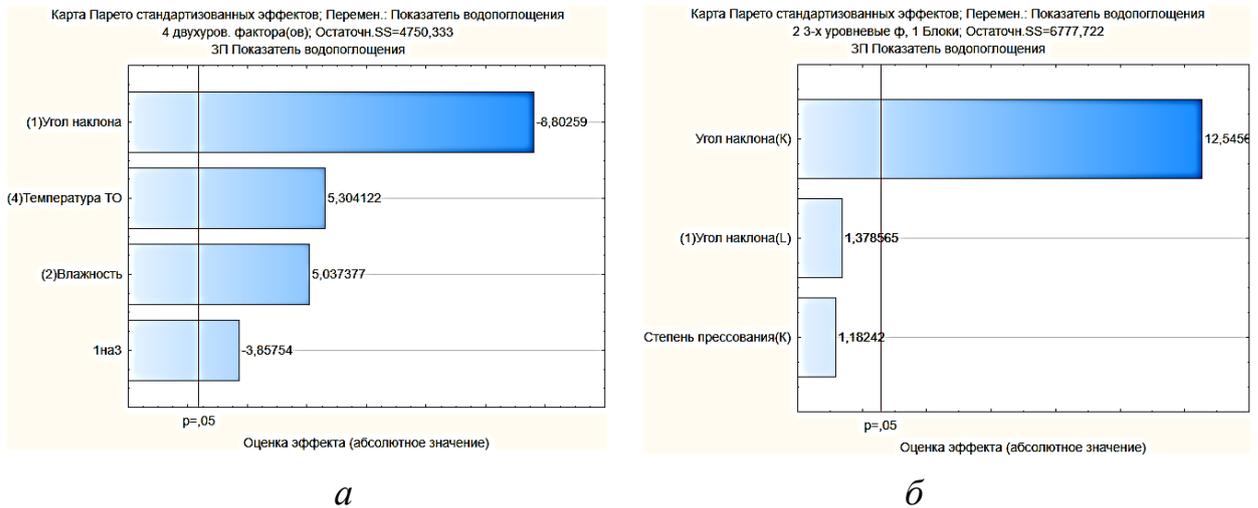


Рисунок 4.18 – Карта Парето-эффектов для факторов модели отклика:

$a - G_1$; $b - G_2$

С увеличением значения *Показателя водопоглощения* повышаются гигиенические и защитные свойства облицовочных изделий. Соответственно, значение G должно быть максимальным.

Показатель влагопоглощения заготовок из древесины дуба, из которого достаточно часто изготавливают облицовочные изделия, оцененный с помощью методики (п. 3.5.4.5), составляет 600 ± 50 с. Таким образом, за нижнюю допустимую границу приняли $G = 600$ с. Для модели G_1 (4.27) условие $G > 600$ с выполняется при $\alpha \leq 32$ град., $W \geq 8$ % и любых значениях ε и T в рассматриваемом диапазоне (рисунок 4.18 а). Для модели G_2 (4.29) $G > 600$ с при $14 \leq \alpha \leq 26$ град. (рисунок 4.19 б-г).

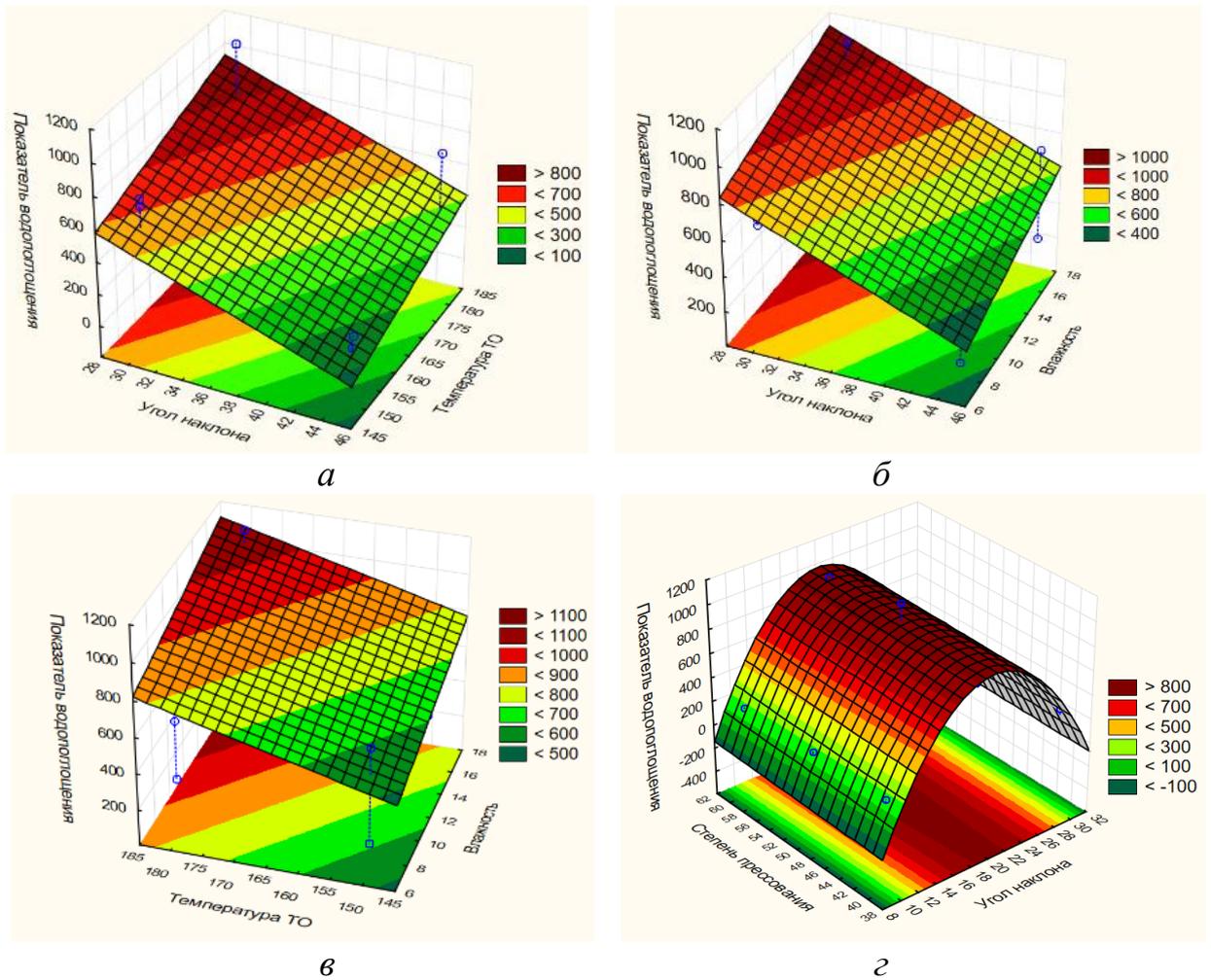


Рисунок 4.19 – Зависимость Показателя водопоглощения G : a – от α и T при $W = 8\%$ и $\varepsilon = 55\%$ ($30 \leq \alpha \leq 45$); $б$ – от α и W при $\varepsilon = 55\%$ и $T = 180^\circ\text{C}$ ($30 \leq \alpha \leq 45$); $в$ – от W и T при $\alpha = 30$ град. и $\varepsilon = 55\%$ ($30 \leq \alpha \leq 45$); $г$ – от α и ε ($\alpha \leq 30$)

б) Показатель водопоглощения заготовок из древесины ели.

Результаты эксперимента по определению Показателя водопоглощения для заготовок из древесины ели приведены в таблице Г.6 приложения Г. Полученное уравнение регрессии ($R^2 = 0,67$) в кодированных (4.30) и натуральных значениях факторов (4.31) имеет вид:

$$y_{5(3)} = 1064,63 + 204,63x_1 - 90x_2 + 339x_3 - 111,75x_1x_3 + 101,75x_1x_4 - 112,63x_2x_3, \quad (4.30)$$

$$G_3 = -20173,6 + 191,3\alpha + 229,8\varepsilon + 127,4T - \alpha T - 0,2\alpha\theta - 1,5\varepsilon T. \quad (4.31)$$

Статистически значимым фактором является Температура термической обработки T . Влияние Угла наклона волокон в заготовке α также существенно

(рисунок 4.20 а). Значения $G > 600$ с при $T \geq 170$ °С и $\alpha \geq 37$ град. вне зависимости от вида обработанной пласти. (рисунок 4.20 б).

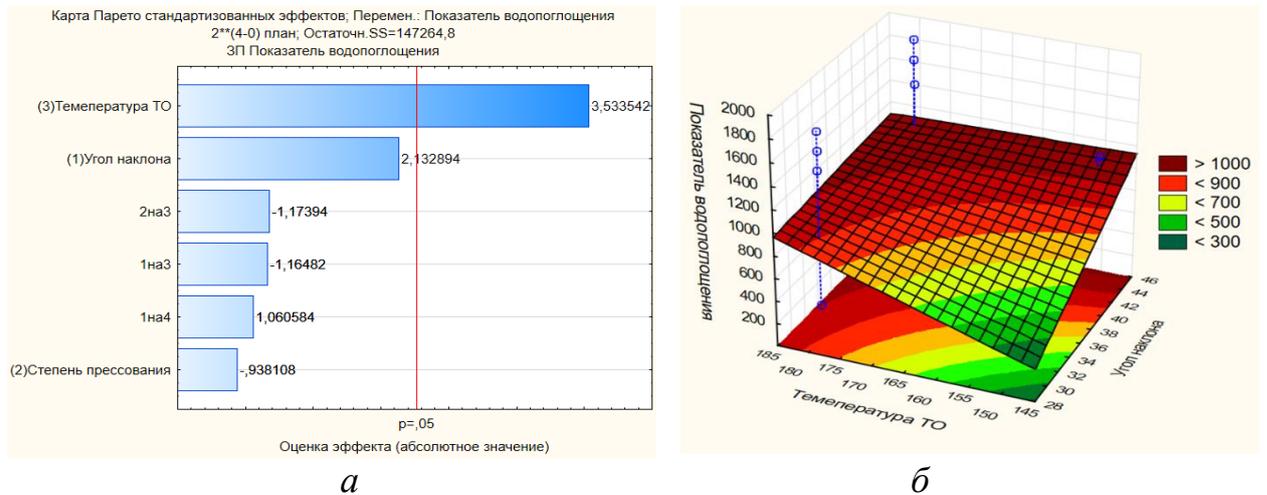


Рисунок 4.20 – Влияние факторов на *Показатель водопоглощения*: а – карта Парето-эффектов для факторов модели отклика G_3 ; б – зависимость G от α и ε

Для заготовок из сосны и ели установлена общая закономерность: показатель водопоглощения увеличивается при увеличении *Температуры термической обработки* T . По результатам проведенных экспериментов сделать однозначный вывод о влиянии *Угла наклона волокон* в заготовке затруднительно. *Вид пласти* θ не оказывает влияния на *Показатель водопоглощения*. В связи с этим, за ключевой параметр режима обработки, который будет определять величину G , следует принять *Температуру термической обработки* T , а значение фактора α выбирать на основании его влияния на другие показатели, где он является статистически значимым.

4.2.2 Определение рациональных режимов прессования и термической обработки заготовок

В результате проведенных экспериментальных исследований (см. п. 4.2) установлено, что наиболее важными параметрами режима прессования, влияющими на *Степень уплотнения* γ , *Твердость лицевой поверхности* HRR , *Боковое расширение* β , *Шероховатость поверхности* $R_{m \max}$, являются *Угол*

наклона волокон в заготовке α , Степень прессования ε и Вид пласти θ , принятой за лицевую поверхность. Параметр термической обработки T является важным для γ , HRR , β и показателя водопоглощения G (см. таблицу 4.3).

Для разработки технологических режимов прессования и термической обработки необходим обоснованный выбор их параметров, обеспечивающих высокое качество облицовочных изделий.

Высокое качество изделий достигается в случае обеспечения наиболее высоких показателей γ , HRR и G и минимальных значений β и $R_{m\ max}$ (см. п. 3.5.3). Для определения значений параметров α , W , ε , T и θ , при которых выполняются указанные условия, необходимо решение оптимизационной задачи:

$$\begin{cases} \gamma \rightarrow \max \\ HRR \rightarrow \max \\ \beta \rightarrow \min \\ R_{m\ max} \rightarrow \min \\ G \rightarrow \max \end{cases} \quad (4.32)$$

Ограничения на входные параметры: $\gamma \geq 135$ %, $HRR \geq 115$, $\beta \leq 5$ %, $R_{m\ max} \leq 250$ мкм и $G \geq 600$ с.

На первом этапе поиска рациональных значений параметров режимов прессования и термической обработки произведен поиск экстремальных значений каждой из функций γ , HRR , β , $R_{m\ max}$ и G . Поиск выполнен по методу обобщенного приведенного градиента (ОПГ) в программном пакете Microsoft Excel с использованием надстройки «Поиск решения». Результаты поиска для обработки заготовок из древесины сосны приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты оптимизации по частным критериям (сосна, $30 \leq \alpha \leq 45$ град.)

Целевая функция	Значения управляющих факторов				Значение целевой функции
	α , град.	W , %	ε , %	T , °C	
$\gamma \rightarrow \max$	30	7	55	180	139,20 %
$HRR \rightarrow \max$	30	7	55	150	130,53 HRR
$\beta \rightarrow \min$	30	17	55	180	0,4305 %
$R_{m\ max} \rightarrow \min$	30	7	55	180	306,18 мкм
$G \rightarrow \max$	30	17	50	180	1059,43 с

Данные таблицы 4.4 свидетельствуют, что оптимальные значения α по всем критериям соответствуют нижней границе исследуемого диапазона, значения ε и T в основном стремятся к верхней границе соответствующих диапазонов. В связи с этим, диапазон значений α следует расширить в сторону меньших значений, а диапазон значений ε – в сторону больших. Диапазон T в сторону больших значений увеличивать не следует (см. п. 4.1.2.2).

При $\alpha \leq 30$ град. и $40 \leq \varepsilon \leq 60$ % для заготовок из древесины сосны результаты оптимизации по частным критериям приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Результаты оптимизации по частным критериям (сосна, $\alpha \leq 30$)

Целевая функция	Значения управляющих факторов		Значение целевой функции
	α , град.	ε , %	
$\gamma \rightarrow \max$	10	60	159,08 %
$HRR \rightarrow \max$	30	60	159,32 HRR
$\beta \rightarrow \min$	10	40	4,12 %
$R_{m \max} \rightarrow \min$	19	60	193,24 мкм
$G \rightarrow \max$	20	60	969,83 с

По данным таблицы 4.5 невозможно однозначно определить единые для всех критериев оптимальные значения α и ε . Оптимальные значения α рассеяны по всему исследуемому диапазону, а оптимальные значения ε вновь стремятся к верхней границе.

При оптимизации по частным критериям для заготовок из древесины ели также наблюдается рассеяние значений α , ε , и T (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Результаты оптимизации по частным критериям (ель)

Целевая функция	Значения управляющих факторов				Значение целевой функции
	α , град.	ε , %	T , °C	θ	
$\gamma \rightarrow \max$	30	50	–	1	141,93 %
$HRR \rightarrow \max$	30	50	–	1	121,00 HRR
$\beta \rightarrow \min$	30	40	150	1	0,83 %
$R_{m \max} \rightarrow \min$	30	–	–	0	160,81 мкм
$G \rightarrow \max$	45	40	180	0	1658,9 с

В связи с этим совокупности моделей (4.3), (4.9), (4.15), (4.21), (4.27) и (4.7), (4.13), (4.19), (4.25), (4.31) преобразованы в соответствующие единые оптимизационные модели (4.33, 4.34). Так, единая оптимизационная модель для заготовок из сосны выглядит следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\gamma_1 \cdot HRR_1 \cdot G_1}{\beta_1 \cdot R_{m \max 1}} \rightarrow \max \\ \beta_1 \leq 5 \\ R_{m \max 1} \leq 250 \\ 28 \leq \alpha \leq 33 \\ 7 \leq W \leq 17 \\ 50 \leq \varepsilon \leq 60 \\ 150 \leq T \leq 180 \end{array} \right. . \quad (4.33)$$

Единая оптимизационная модель для заготовок из древесины ели имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\gamma_3 \cdot HRR_3 \cdot G_3}{\beta_3 \cdot R_{m \max 3}} \rightarrow \max \\ \beta_3 \leq 1,5 \\ R_{m \max 3} \leq 250 \\ 30 \leq \alpha \leq 45 \\ \varepsilon_{\min} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\max} \\ T_{\min} \leq T \leq T_{\max} \\ \theta - \text{бинарное} \end{array} \right. . \quad (4.34)$$

Поиск решения проведен также в программном пакете Microsoft Excel с помощью надстройки «Поиск решений». Результаты решения задач оптимизации (4.33) и (4.34) приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Результаты решения оптимизационной задачи

Порода древесины	Оптимальные значения управляющих факторов					Ожидаемые значения управляемых параметров				
	α , град.	W , %	ε , %	T , °C	θ	γ , %	HRR	β , %	$R_{m \max}$, 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

Оптимальные значения параметров α , W , ε , T , θ , приведенные в таблице 4.8, могут быть расширены и представлены в виде диапазонов:

– для сосны: $28 \leq \alpha \leq 29$ град., $7 \leq W \leq 8$ %;

– для ели: $156 \leq T \leq 165$ °С, так как в указанных диапазонах выполняются условия $\gamma \geq 135$ %, $HRR \geq 115$, $\beta \leq 5$ %, $R_{m \max} \leq 250$ мкм и $G \geq 600$ с.

При разработке режимов прессования и термической обработки для значений параметра *Угол α наклона волокон в заготовке* могут быть приняты следующие допущения. В соответствии реальными значениями α рекомендуется подразделять заготовки на группы, например, группа $\alpha = 10$ град. соответствует диапазону значений $\alpha = 10 \pm 5$ град и т.д. Такое деление заготовок на группы в зависимости от угла наклона волокон упростит их сортировку перед механической обработкой. Соответственно, оптимальными технологическими режимами будут следующие (таблица 4.8):

Таблица 4.8 – Оптимальные параметры технологических режимов прессования и термической обработки

Порода древесины	Оптимальные значения управляющих факторов				
	α , град.	W , %	ε , %	T , °С	θ
Сосна	30	8	60	180	0
Ель	30	8	44	165	1

Определенные в результате решения задачи оптимизации значения параметров процесса прессования и термической обработки могут быть использованы для разработки технологических режимов и требований к исходному сырью.

4.3 Оценка потребительских свойств облицовочных изделий

Для определения возможности изготовления качественных облицовочных изделий с помощью рациональных режимов прессования и термической обработки, установленных в п. 4.2.2, необходима оценка потребительских свойств облицовочных изделий. Она включает оценку микроструктуры заготовок (так как структура в дальнейшем определяет твердость облицовочных из-

делий), оценку точности изготовления облицовочных деталей и оценку их атмосферостойкости для определения перспектив изготовления изделий наружной обшивки.

4.3.1 Оценка микроструктуры заготовок

Оценка микроструктуры заготовок проведена после каждого этапа обработки.

После обжига толщина углистого слоя составила $H_y = 0,1 \div 0,2$ мм (2 ÷ 4 слоя клеток); толщина пиролизированного слоя $H_n \leq 0,3$ мм (10 ÷ 15 слоев клеток). За счет разности плотностей ранней и поздней зон древесины в обожженном слое на участках ранней зоны преобладал слой угля, на участках поздней – пиролизированный слой (рисунок 4.21).

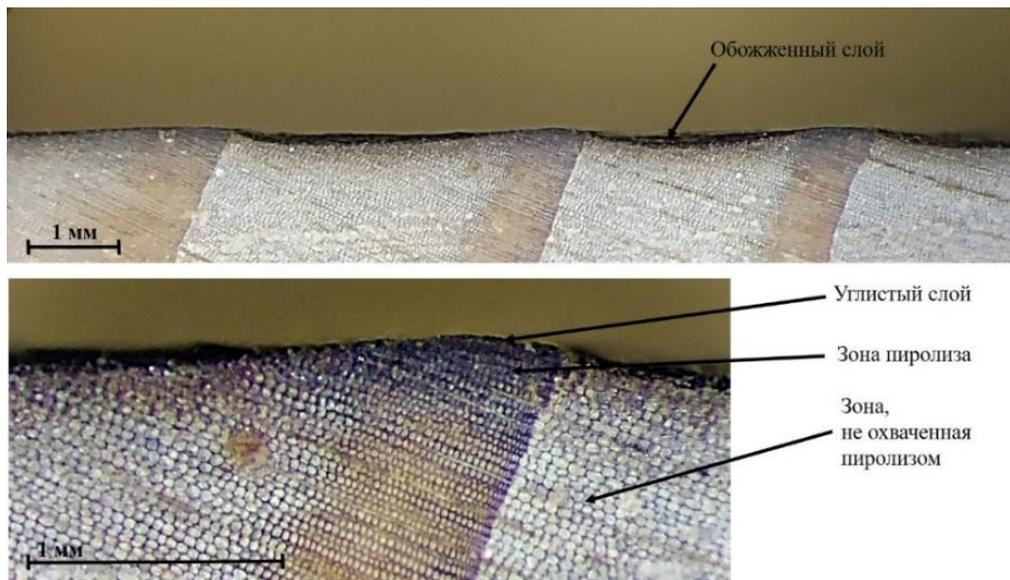


Рисунок 4.21 – Структура обожженного слоя

После браширования заготовок шероховатость поверхности варьировалась в диапазоне $R_{m \max} = 700 \div 1200$ мкм. Обожженный слой разрушился неравномерно. В зоне поздней древесины снят только верхний хрупкий углистый слой, в зоне ранней древесины модифицированный обжигом слой удален полностью (рисунок 4.22).

В результате прессования и термической обработки заготовки приобрели неравномерно уплотненную структуру как по толщине, так и по ширине (рисунок 4.23). Это согласуется с аналитическими выводами (см. пп. 2.2.3.5 и 2.2.3.6). Ярко выраженная неравномерность в уплотнении зон Г и В наблюдается в слое, глубиной не более 2,5 мм.

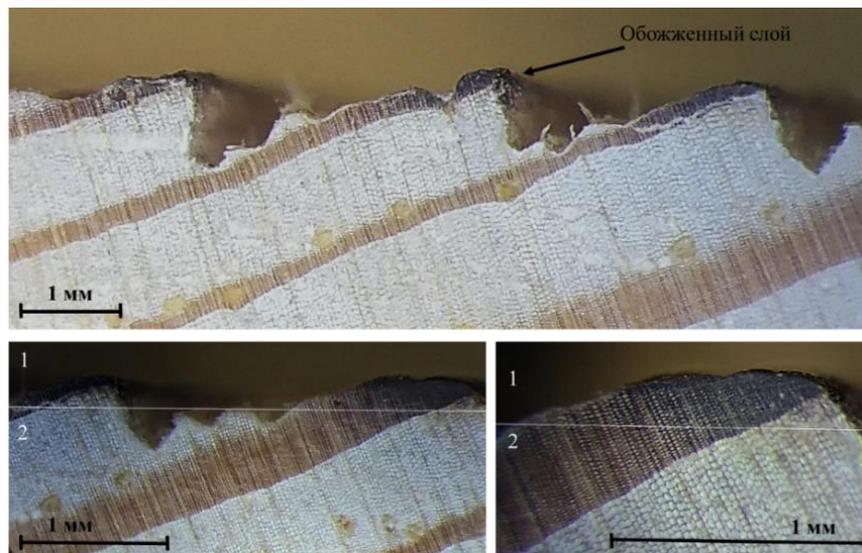


Рисунок 4.22 – Структура брашированной поверхности

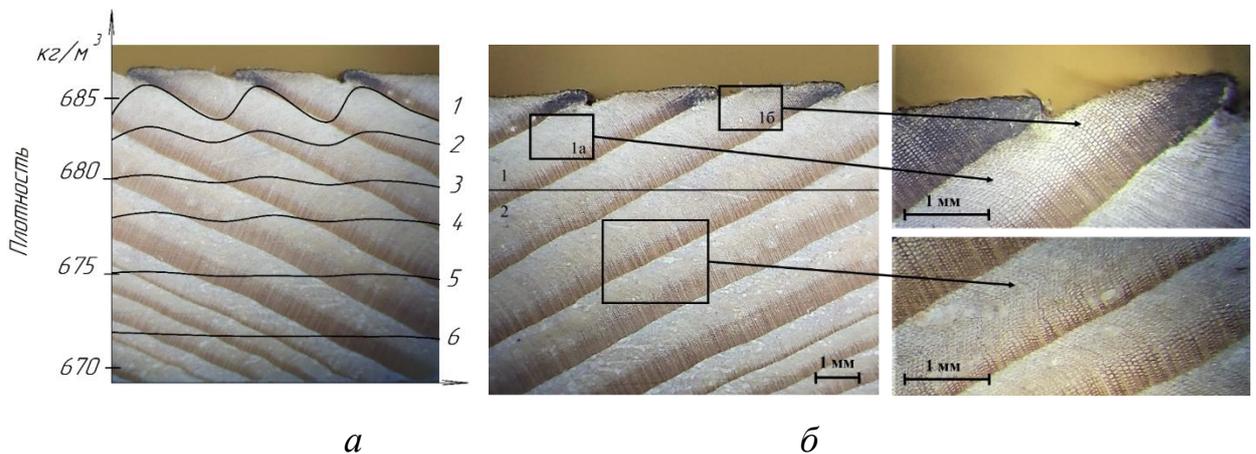


Рисунок 4.23 – Структура заготовок после прессования и термической обработки: *а* – характер неравномерности уплотнения по сечению заготовки; *б* – распределение зон уплотнения по сечению заготовки: 1 – неравномерно уплотненная зона, 1*а* – наиболее уплотненная зона, 1*б* – наименее уплотненная зона, 2 – равномерно уплотненная зона

При общей деформации заготовки 35 % степень деформации клеток поверхностного слоя в зоне Г составила $\varepsilon'_{к(Г)} = 44 \div 47 \%$; в зоне В $\varepsilon'_{к(В)} = 34 \div 37 \%$. Таким образом, экспериментально полученная зависимость имеет вид:

$$\varepsilon_{В} = 0,78\varepsilon_{Г}$$

Сходимость экспериментальных и теоретических выводов составляет примерно 87 %. Это можно объяснить принимаемыми допущениями, погрешностью измерений, вариативностью свойств древесины, в том числе связанных с особенностями обработки.

4.3.2 Оценка геометрической точности облицовочных деталей

В пределах одной заготовки в зависимости от ее ширины угол наклона волокон может значительно изменяться. Например, в заготовках шириной 40 ÷ 50 мм со средним $\alpha = 30$ град. фактический угол наклона волокон $\alpha_{ф}$ находится в диапазоне значений от 10 до 50 град. В связи с этим в результате прессования наблюдается разнотолщинность, которая составляет от 2 до 8 % толщины, что не соответствует требованиям ГОСТ 6449.5-82. Разнотолщинность заготовок может быть устранена либо совершенствованием режимов прессования и термической обработки, либо в процессе дальнейшей механической обработки.

При обработке заготовок на рациональных режимах прессования и термической обработки (см. п. 4.2.2) отклонения от заданных размеров деталей по длине и ширине соответствуют классу точности $\pm t/2$; значения отклонений углов соответствуют $\pm AT/6/2$, что отвечает требованиям ГОСТ 6449.5-82.

В процессе эксплуатации деталей в условиях колебаний влажности возможно изменение размеров деталей по толщине и ширине не более, чем на 15 % и 1,5 % соответственно.

Таким образом, установлено, что точность деталей и изделий, изготавливаемых с помощью способа комбинированной обработки О-Б-П-Т соответствует нормативно-техническим требованиям для деталей отделки.

4.3.3 Оценка атмосферостойкости облицовочных деталей

В результате испытаний на атмосферостойкость деталей из древесины, изготовленных с помощью способа О-Б-П-Т, установлено следующее.

1) Влажность образцов № 1–3 (обработка обжигом и брашированием) увеличилась в среднем до 12 %, образцов № 4–9 (обработка О-Б-П-Т) до 9 %.

2) На всех образцах вне зависимости от способа обработки и породы древесины наблюдали изменение цвета лицевой поверхности (выцветание) преимущественно в зоне ранней древесины: от темно-коричневого до светло-горчичного (рисунок 4.24). Обработанная поверхность потеряла исходную бархатистую текстуру и блеск, причем на образцах без прессования и термической обработки эффект матовости выражен в большей степени.



а



б

Рисунок 4.24 – Внешний вид образцов:
а – до испытания; *б* – после испытания

3) Зафиксировано изменение габаритных размеров образцов. Результаты приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Результаты исследования изменения габаритных размеров образцов

Образцы	Характер и величина изменений		
	по длине	по ширине	по толщине
№ 1–3 (О-Б)	Не изменились	Увеличились не более, чем на 1,5 %	Не изменились
№ 4–9 (О-Б-П-Т)	Не изменились	Увеличились не более, чем на 0,7 %	Увеличились на 5 ÷ 8 %

4) Шероховатость лицевой поверхности $R_{m\ max}$ на всех испытуемых образцах не изменилась.

5) Твердость лицевой поверхности образцов снизилась незначительно (не более, чем на $2 \div 3$ %). Но при высокой погрешности измерения твердости испытаний можно считать, что твердость образцов не изменилась.

Полученные результаты свидетельствуют, что атмосферная стойкость деталей, изготовленных с помощью способа О-Б-П-Т, незначительно превосходит атмосферостойкость деталей, обработанных только обжигом и брашированием. В связи с этим, изделия, изготовленные с помощью данного способа, рекомендуется использовать для отделки внутри помещений.

4.4 Результаты и выводы по четвертому разделу

4.4.1 Экспериментально установлено, что для изготовления облицовочных изделий наиболее рациональным является комбинированный способ четырехстадийной обработки с последовательностью операций: обжиг – браширование – прессование – термическая обработка (О-Б-П-Т). Такая обработка позволяет подчеркнуть природную структуру древесины, повысить физико-механические свойства заготовок и, в отличие от обработки с последовательностью операций Б-О-П-Т, является менее энерго- и трудозатратной.

4.4.2 Экспериментально определены граничные условия параметров режимов прессования и термической обработки. Для прессования рекомендуется использовать заготовки с углом наклона волокон $\alpha \leq 45$ град. Это исключает появление трещин и сколов в процессе обработки. Степень прессования для качественного уплотнения заготовок без значительных разрушений должна находиться в диапазоне значений $\varepsilon = 40 \div 60$ %. Температурный режим термообработки не должен превышать $T = 180$ °С. Дальнейшее повышение температуры приводит к значительным изменениям цвета древесины, что снижает декоративные свойства облицовочных изделий.

4.4.3 Получены регрессионные зависимости с коэффициентом детерминации R^2 не ниже 0,67 для прогнозирования физико-механических свойств заготовок из древесины после комбинированной обработки О-Б-П-Т. Ключевыми параметрами режимов прессования и термической обработки являются Угол α

наклона волокон в заготовке, Вид пласти θ , принимаемой за лицевую поверхность, Степень прессования ε и Температура термической обработки T .

4.4.4 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. и влажность $W = 8$ %, обрабатываемая пластъ – 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 пластъ – наружная, степень прессования $\varepsilon = 44$ %, температура термической обработки $T = 165$ °С.

4.4.5 После комбинированной обработки О-Б-П-Т заготовки обладают неравномерно уплотненной структурой, особенно в поверхностном слое. При уплотнении заготовки на 35 %, степень деформации клеток зоны впадин в поверхностном слое равна $\varepsilon'_{к(в)} = 34 \div 37$ %, что составляет 78 % от степени деформации клеток поверхностного слоя заготовки зоны гребней.

4.4.6 Точность изготовления деталей облицовочных изделий, изготовленных на рациональных режимах прессования и термической обработки, соответствует нормативно-техническим требованиям. Отклонения от заданных размеров деталей по длине и ширине соответствуют классу точности $\pm t2/2$; значения отклонений углов соответствуют классу точности $\pm AT16/2$. Повышение точности изготовления деталей обеспечивается при прессовании в пресс-формы, ограничивающей поперечную деформацию заготовок.

4.4.7 Испытания деталей облицовочных изделий без нанесения защитно-декоративного покрытия на атмосферостойкость свидетельствуют о существенных изменениях цвета лицевой поверхности при незначительном снижении твердости и изменении габаритных размеров в результате температурно-влажностных колебаний. На этом основании способ О-Б-П-Т рекомендуется применять для изготовления изделий внутренней облицовки.

5 ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБЛИЦОВОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

При разработке технологии изготовления облицовочных изделий на основе способа комбинированной обработки О-Б-П-Т необходимо разработать конструкцию изделий, структуру всего технологического процесса их изготовления, включая режимы обработки, и обосновать эффективность предлагаемых решений.

Цель данного раздела – обоснование технической и экономической эффективности технологии изготовления облицовочных изделий из древесины.

Задачи раздела:

- разработать варианты конструкции облицовочных изделий;
- определить состав, последовательность и режимы операций технологического процесса;
- разработать конструкции технологической оснастки для обработки короткомерных заготовок;
- оценить цеховую себестоимость облицовочных изделий;
- оценить уровень качества облицовочных изделий.

Результаты исследований, представленные в настоящем разделе, прошли апробацию и опубликованы в работах [149, 153–158], в том числе в отчетной документации в рамках конкурса «УМНИК».

5.1 Разработка конструкции и технологического процесса изготовления облицовочных изделий

5.1.1 Разработка варианта конструкции облицовочной панели

При разработке вариантов конструкций облицовочных изделий необходимо учитывать размерно-качественные характеристики исходного древесного сырья. Кусковые отходы лесопиления и деревообработки в виде реек, обрезков и оторцовок обладают следующими особенностями [159]:

- малыми габаритными размерами (длиной от 0,1 до 1,5 м; шириной от 40 до 100 мм; толщиной от 10 до 30 мм);
- наличием пороков древесины в виде сучков, трещин и т.п.

Одним из основных требований к качеству заготовок, подлежащих комбинированной обработке О-Б-П-Т (см. п. 2.4), является отсутствие в них вышеуказанных пороков. Это обуславливает необходимость вырезки дефектных мест, что приводит к существенному уменьшению размеров заготовок как по длине, так и по ширине.

Традиционно в промышленности проблему производства изделий из короткомерных заготовок решают двумя путями: сращиванием заготовок по длине и ширине или применением многослойной конструкции [160–162]. В нашем случае выбор многослойной конструкции является наиболее рациональным, так как при обработке сращенных клееных заготовок способом О-Б-П-Т сложно гарантировать целостность клеевых соединений. Вместе с тем малые размеры заготовок следует рассматривать не как недостаток сырья, а как возможность изготавливать изделия с уникальным дизайном.

В качестве аналогов при разработке вариантов конструкций облицовочных изделий рассматривались конструкции деревянной плитки и декоративных панелей [160–163], где мелкие детали лицевого слоя закреплены на гибком или жестком основании. Подобный принцип двухслойной конструкции был положен в основу разрабатываемого изделия.

Важной задачей при конструировании облицовочных изделий является выбор способа их соединения друг с другом. В конструкциях рассмотренных аналогов наиболее широко представлен способ соединения встык [160, 164]. Его недостатком является видимость мест соединения. Среди разнообразных вариантов незаметного соединения [160] для разрабатываемых облицовочных изделий выбран способ соединения в фальц, как наиболее простой и надежный.

С учетом выше рассмотренных особенностей разработана конструкция модульных облицовочных панелей (рисунок 5.1).

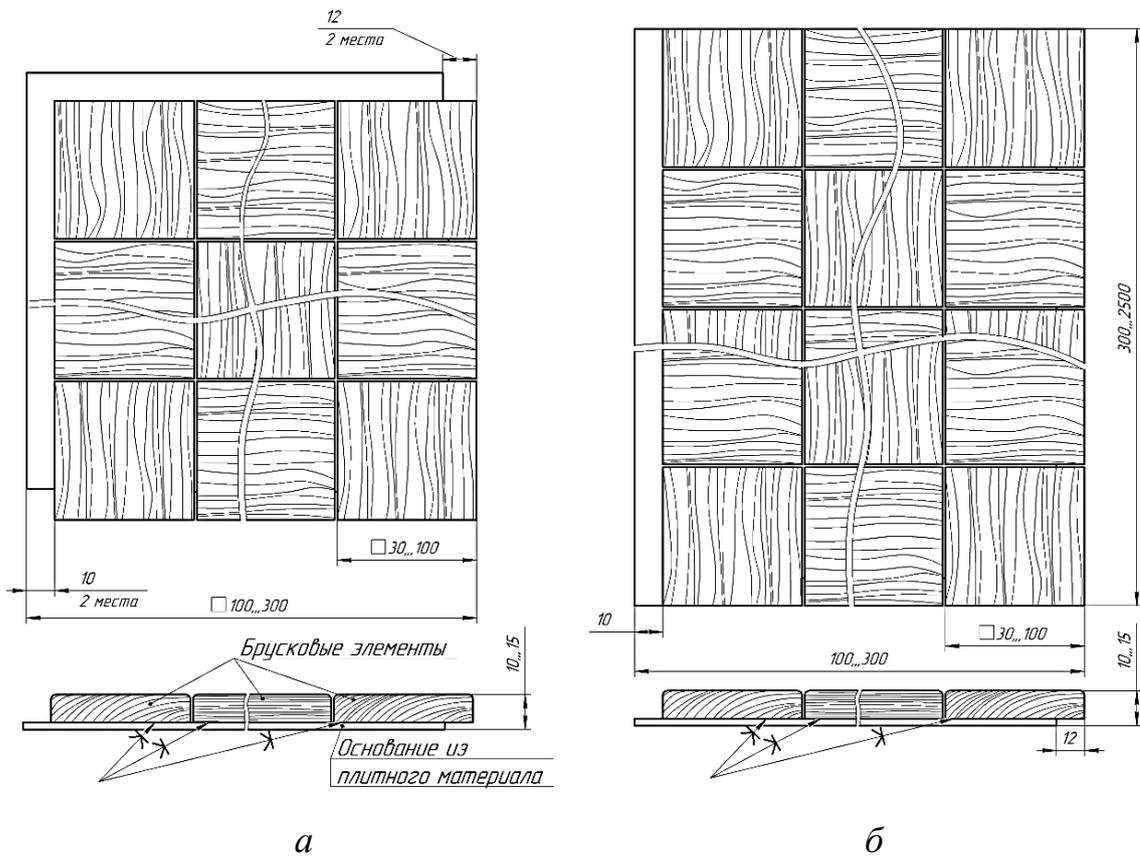


Рисунок 5.1 – Варианты конструкции облицовочных панелей:
а – в виде квадратных модулей; *б* – в виде прямоугольных модулей

Модульные панели могут быть квадратной или прямоугольной формы. Мелкие детали (плитки) лицевого слоя предлагается изготавливать из кусковых древесных отходов, обрабатывать способом О-Б-П-Т, после чего наклеивать на основание, располагая взаимно перпендикулярно относительно направления волокон. Форма, размеры и схема укладки плиток могут варьироваться (рисунок 5.2).

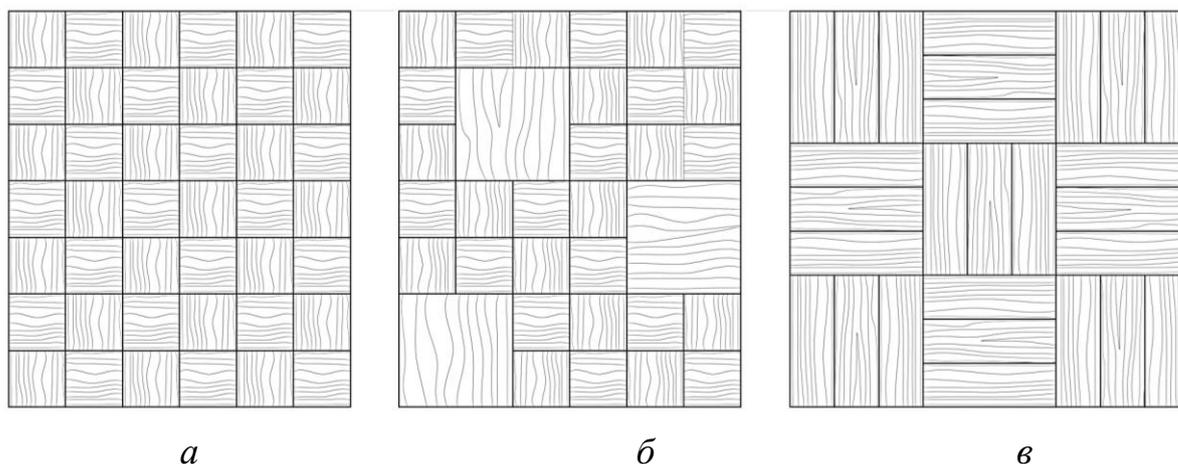


Рисунок 5.2 – Варианты схем укладки лицевого слоя:

a, в – с плитками одинаковых размеров; *б* – с плитками разных размеров

Для изготовления основания панелей рекомендуется использовать тонкий плитный материал (ДВП, МДФ, фанера и др.). Элементы соединения панелей (фальц и гребень) могут быть выполнены за счет смещения основания относительно лицевого слоя. Их наличие позволит применять при монтаже панелей не только клей, но и крепежные изделия. Это обеспечит надежную фиксацию панелей на отделяемой поверхности и предотвратит их смещение в процессе отверждения клея.

5.1.2 Технологический процесс изготовления облицовочной панели

5.1.2.1 Этапы технологического процесса изготовления облицовочной панели

Технологический процесс изготовления облицовочных изделий из кусковых отходов лесопиления и деревообработки включает подготовительный и три основных этапа:

- подготовительный этап: сортировка, отбор заготовок и их сушка;
- 1 этап: первичная механическая обработка в два потока – изготовление деталей лицевого слоя и изготовление основания;

- 2 этап: комбинированная обработка О-Б-П-Т заготовок для деталей лицевого слоя, включая их дополнительную механическую обработку;
- 3 этап: сборка, склеивание и отделка облицовочной панели.

Схема технологического процесса представлена на рисунке 5.3. Решение о необходимом наборе этапов, технологических операций и их последовательности принято на основании экспериментальных исследований (см. п. 4.1, 4.2) [149].



Рисунок 5.3 – Схема технологического процесса изготовления облицовочных панелей

Далее приведено описание технологического процесса и краткая характеристика каждой технологической операции.

5.1.2.2 Описание технологического процесса

1) Изготовление деталей лицевого слоя.

Процесс изготовления деталей лицевого слоя начинается с операции сортировки и отбора заготовок. Требования к качеству черновых заготовок приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Требования к качеству черновых заготовок

Параметр	Значение
Влажность заготовок	$8 \pm 3 \%$
Смолистость	Не более 3 %
Угол наклона волокон в заготовке	30 ± 5 град.

Заготовки с более высокой влажностью высушивают в сушильных камерах на мягких режимах сушки до требуемых значений и возвращают в технологический процесс. Для операций сушки, дальнейшей механической обработки (кроме обжига, браширования, прессования и термической обработки), склеивания и отделки рекомендуется использовать типовое технологическое оборудование и типовые режимы обработки [165,166].

После сушки в случае использования кратных заготовок по ширине или по толщине выполняют продольный раскрой. Далее следует операция фрезерования. Она необходима для исключения рисков от пиления на декоративной поверхности, соблюдения заданных размеров изделия, повышения качества склеивания. После фрезерования с целью вырезки дефектных мест и формирования длины деталей лицевого слоя выполняют поперечный раскрой.

Затем каждую заготовку обжигают огнем паяльной лампы или газовой горелки с пяти сторон, исключая изнаночную пласт. Пламя должно быть умеренным и ровным. Обжиг проводят верхней (голубой) частью пламени. Для равномерного обугливания заготовок со всех сторон их размещают на рабочей поверхности с зазором не менее 5 мм.

После чего сгоревшие и менее плотные слои древесины с заготовок удаляют брашированием с образованием рельефной поверхности, соответствующей природной структуре древесины. Браширование на пласти и кромках выполняют в направлении вдоль волокон древесины; на торцах – вдоль пласти. Для обработки заготовок на типовом промышленном оборудовании (щеточно-шлифовальном станке) необходимо использование специальной оснастки. Варианты конструкции оснастки для браширования заготовок предложены в п. 5.1.3.1.

Далее методом холодного прессования осуществляют уплотнение древесины и выравнивание полученного ранее рельефа. Прессование выполняют в

гидравлическом прессе. Для обработки заготовок необходимо использовать пресс-форму (см п. 5.1.3.2).

Термическую обработку заготовок проводят в сушильных шкафах или камерах, размещая заготовки на этажерках на расстоянии друг от друга.

Заключительной технологической операцией в потоке изготовления элементов лицевого слоя является калибрование. На калибровально-шлифовальном станке с использованием оснастки для браширования, устраняют разнотолщинность заготовок путем их обработки с изнаночной стороны.

Рекомендуемое оборудование и технологические режимы для обработки заготовок способом О-Б-П-Т представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оборудование и параметры режимов технологических операций комбинированной обработки

Операция	Оборудование, оснастка, инструмент	Технологические требования и режимы
Обжиг	Паяльная лампа, (газовая горелка), металлическая подставка	Скорость перемещения пламени по поверхности $V_{пл} = 1$ 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 (стальной и сизалевый), комплект специальной оснастки для браширования пластей и кромок	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, пресс-форма	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

2) Изготовление деталей основания

Для изготовления деталей основания тонкий плитный материал (толщиной не более 4 мм) раскраивают на форматы требуемых размеров с помощью оборудования для чистового раскроя.

3) Сборка деталей лицевого слоя и основания

Детали лицевого слоя подбирают по цвету, текстуре и в соответствии со схемой укладки выкладывают в единое полотно на основание оснастки для склеивания (см. п. 5.1.3.3) лицевой стороной вниз.

На деталь основания наносят клей, например, водостойкий ПВА homa-koll 019M [167], производят сборку пакета и склеивание облицовочной панели в пресс-ваймах под давлением не более 0,2 МПа в течение от 15 до 30 минут.

После отверждения клея изделия покрывают защитно-декоративными составами. Для сохранения экологичности изделия и подчеркивания «бархатистой» поверхности древесины рекомендуется использовать полуматовые акриловые лаки, например, лак Luxens [168].

5.1.2.3 Методика определения размеров черновых заготовок и пооперационных припусков

Методика определения размеров черновых заготовок и назначения пооперационных припусков рассмотрена на примере изготовления облицовочной панели габаритными размерами 300×300 мм, толщиной $H = 12$ мм с основанием из МДФ толщиной $H_o = 3$ мм и деталями лицевого слоя длиной и шириной 50 мм.

1) Определение толщины черновых заготовок для деталей лицевого слоя.

Толщина деталей после обработки H_l должна составлять: $H_l = H - H_o = 12 - 3 = 9$ мм.

Необходимы припуски на фрезерование, обжиг и браширование, прессование и калибрование. Соответственно, толщина черновой заготовки H_q будет рассчитываться по формуле (5.1):

$$H_q = \frac{H_l + \Delta H_k}{2 - 0,01\gamma} + \Delta H_{об} + \Delta H_{ф}, \quad (5.1)$$

где ΔH_k – припуск на калибрование, назначаемый по ГОСТ 7307-2016 [169],

$$\Delta H_k = 0,3 \text{ мм};$$

γ – степень уплотнения заготовок, $\gamma = 135 \%$ (см. п. 4.2.2);

$H_{об}$ – припуск на обжиг и браширование, по результатам экспериментальных исследований $H_{об} = 0,6$ мм;

ΔH_ϕ – припуск на фрезерование, в соответствии с ГОСТ 7307-2016 $\Delta H_\phi = 3,5$ мм. Таким образом:

$$H_{ч} = \frac{9 + 0,3}{2 - 0,01 \cdot 135} + 0,6 + 3,5 = 18,4 \text{ мм}.$$

Принимаем толщину черновой заготовки для изготовления деталей лицевого слоя $H_{ч} = 18,4$ мм.

2) Определение ширины черновой заготовки для деталей лицевого слоя.

Ширина деталей B_l должна составлять 50 мм. При расчете ширины черновой заготовки необходимо учитывать величину бокового расширения, припуски на фрезерование, обжиг и браширование.

Формула для определения ширины черновой заготовки имеет вид (5.2):

$$B_{ч} = \frac{B_l}{1 + 0,01\beta} + \Delta B_{об} + \Delta B_\phi, \quad (5.2)$$

где $\Delta B_{об}$ – припуск на обработку обжигом и брашированием с двух сторон, по результатам экспериментальных исследований $\Delta B_{об} = 1$ мм;

β – боковое расширение, $\beta = 1,5 \%$, (см. п. 4.2.2);

ΔB_ϕ – припуск на фрезерование, по ГОСТ 7307-2016 $\Delta B_\phi = 4$ мм.

Таким образом, ширина черновой заготовки $B_{ч} = 54,26$ мм. Принимаем ширину черновой заготовки равной $B_{ч} = 54,3$ мм.

3) Определение длины заготовки для деталей лицевого слоя

Длина деталей L_l должна составлять 50 мм. При расчете длины черновой заготовки необходимо учитывать припуск на обжиг и браширование $\Delta L_{об}$. По результатам экспериментальных исследований $\Delta L_{об} = 0,8$ мм. Таким образом, длина черновой заготовки определится по формуле:

$$L_{\text{ч}} = L_{\text{л}} + \Delta L_{\text{об}}, \quad (5.3)$$

$$L_{\text{ч}} = 50 + 0,8 = 50,8 \text{ мм.}$$

Принимаем длину черновой заготовки $L_{\text{л}} = 50,8$ мм.

Таким образом, для изготовления детали лицевого слоя $9 \times 50 \times 50$ мм необходима заготовка размерами $18,4 \times 54,3 \times 50,8$ мм.

5.1.3 Варианты конструкций технологической оснастки для обработки короткомерных заготовок

Для серийной обработки короткомерных заготовок брашированием, прессованием и калиброванием на типовом промышленном оборудовании, а также для выполнения операции сборки и склеивания облицовочных панелей с требуемой точностью необходима специальная технологическая оснастка.

Исходными данными для проектирования оснастки являются габаритные размеры обрабатываемых заготовок и технологические возможности конкретного оборудования. Для обработки заготовок лицевого слоя длиной и шириной от 30 до 70 мм, толщиной от 7 до 16 мм, а также для изготовления панелей габаритными размерами до 300×300 мм предложены следующие варианты конструкций оснастки.

5.1.3.1 Конструкция оснастки для обработки заготовок брашированием и калиброванием

Типовые щеточно-шлифовальные и калибровально-шлифовальные станки имеют ограничения по длине обрабатываемых заготовок (от 300 мм) [165]. В связи с этим короткомерные заготовки предлагается обрабатывать серийно, укладывая встык по длине. Основной задачей использования оснастки для браширования и калибрования является фиксация ряда (рядов) короткомерных заготовок. Это может быть реализовано с помощью конструкции, представленной на рисунке 5.4 а.

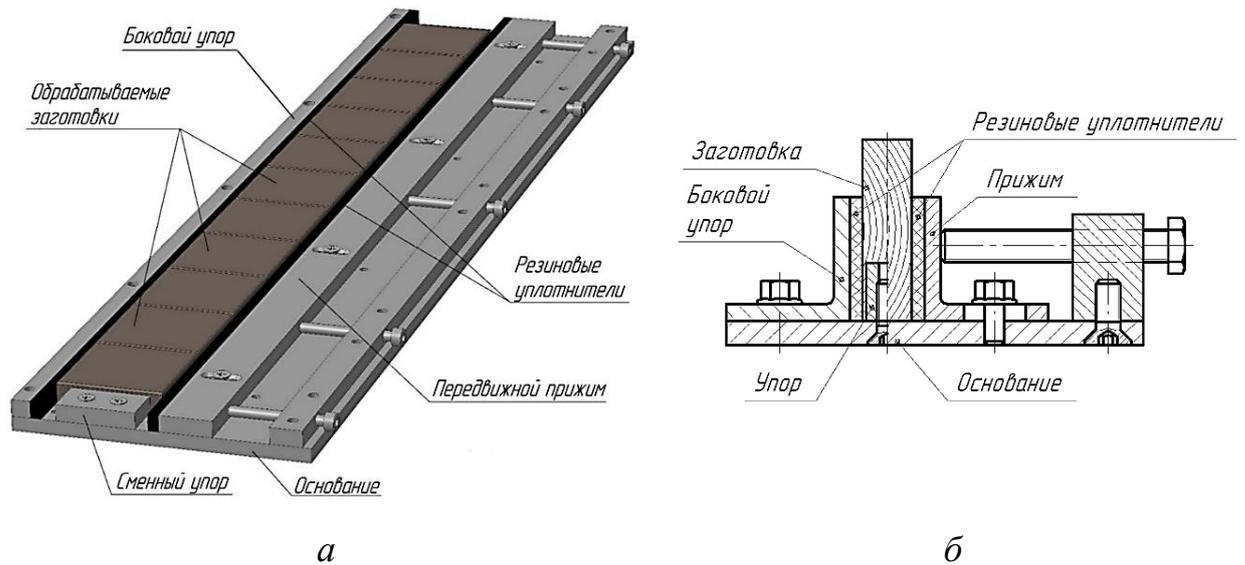


Рисунок 5.4 – Конструкция технологической оснастки для браширования (калибрования) короткомерных заготовок:
а – по пласти; *б* – по кромкам и торцам

Предлагаемый вариант оснастки представляет собой металлический желоб длиной от 600 до 1000 мм и шириной от 150 до 200 мм, где заготовки размещаются в ряд в направлении вдоль волокон. Закрепление осуществляется с помощью бокового упора, передвижного прижима и винтов. Боковой упор и прижим оснащены резиновыми уплотнителями, позволяющими предотвратить повреждения заготовок при их фиксации. Передвижной прижим может устанавливаться в несколько положений в зависимости от ширины обрабатываемых заготовок. Сменный упор позволяет предотвратить выброс заготовок при обработке. Комплект оснастки включает набор сменных упоров разной ширины, и выбор ширины упора должен осуществляться в зависимости от ширины обрабатываемых заготовок. Упор можно устанавливать в два положения для возможности двусторонней подачи оснастки в станок и рационального использования всей ширины режущего инструмента.

Для обработки заготовок брашированием по кромкам и торцам необходим дополнительный комплект оснастки. Он может иметь конструкцию подобную конструкции оснастки для браширования заготовок по пласти. Схема конструкции оснастки в ступенчатом разрезе представлена на рисунке 5.4 б.

Отличие от предыдущей конструкции состоит в том, что боковой упор и прижим имеют более высокие бортики (от 25 до 28 мм), а для прижима нет необходимости устанавливаться в несколько положений. Это обусловлено меньшей вариативностью толщины заготовок.

5.1.3.2 Конструкция пресс-формы

Основная задача использования пресс-формы заключается в необходимости ограничения величины бокового расширения заготовок, степени их прессования и обеспечения возможности их серийной обработки. Поэтому в конструкции пресс-формы должны быть предусмотрены упоры, располагающиеся с двух сторон по ширине, и ограничители по толщине. Предлагаемая конструкция пресс-формы представлена на рисунке 5.5. Габаритные размеры пресс-формы должны соответствовать размерам рабочей поверхности прессующего оборудования, (например, для пресса Д2430Б длина оснастки от 300 до 600 мм, ширина от 200 до 250 мм), а количество одновременно обрабатываемых заготовок – мощности пресса.

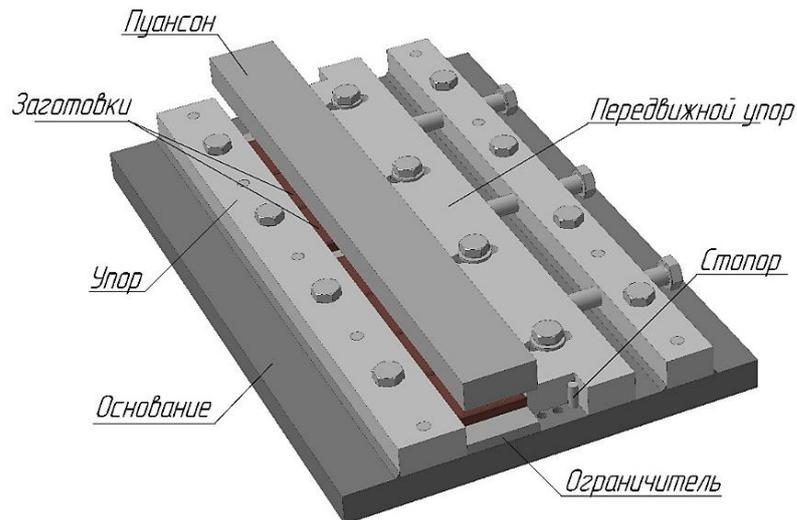


Рисунок 5.5 – Конструкция пресс-формы для прессования короткомерных заготовок

Пресс-форма представляет собой комплект, состоящий из стальной матрицы, пуансонов и ограничителей. Матрица имеет вид желоба, сформированного основанием оснастки и гранями упоров. Упоры ограничивают величину поперечной деформации заготовок. Один из упоров передвижной и имеет возможность устанавливаться в несколько положений. Это позволяет обрабатывать заготовки разной ширины и упрощает процесс их извлечения после обработки. Пуансон имеет вид стального бруска, по ширине равного ширине обрабатываемых заготовок. Величина упрессовки регулируется с помощью металлических ограничителей, устанавливаемых на основание.

5.1.3.3 Конструкция оснастки для сборки и склеивания облицовочных изделий

Основной задачей технологической оснастки для сборки и склеивания облицовочных изделий является укладка и фиксация деталей лицевого слоя и базирование основания. Предлагаемый вариант конструкции оснастки для изготовления облицовочных панелей габаритными размерами 300×300 мм представлен на рисунке 5.6.

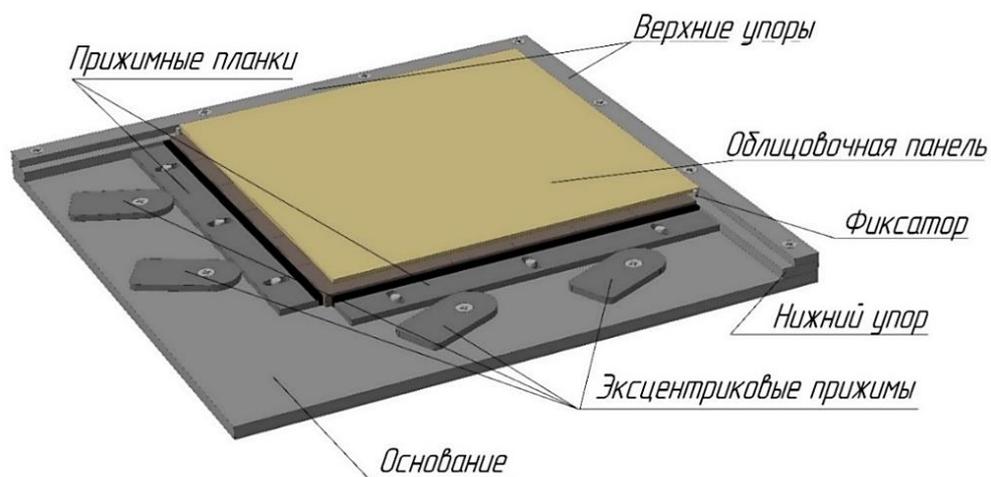


Рисунок 5.6 – Конструкция оснастки для сборки и склеивания облицовочных панелей

Оснастка представляет собой плиту с упорами и прижимами. Ее основание может быть выполнено из перфорированной фанеры для облегчения извлечения готовой панели после склеивания. С двух смежных сторон имеются упоры. Нижние упоры позволяют базировать детали лицевого слоя, а верхние упоры – основание облицовочного изделия. Прижимные планки с резиновыми уплотнителями с помощью эксцентриковых прижимов обеспечивают фиксацию деталей. Устанавливаемые в нижние упоры фиксаторы предотвращают смещение основания панели при склеивании.

Оснастка изготавливается под панели определенных размеров и формы. В случае необходимости изготовления панелей меньших размеров можно использовать дополнительные рейки.

5.2 Экономическое обоснование технологии изготовления облицовочных панелей

С целью обоснования экономической эффективности технологии, рассматриваемой в настоящей работе, поставлены задачи определить производительность изготовления облицовочных изделий из кусковых древесных отходов хвойных пород и цеховую себестоимость продукции, а также провести сравнение этих показателей с аналогичными показателями производства облицовочных изделий на основе твердолиственного сырья.

5.2.1 Производительность изготовления облицовочных панелей

Обработка короткомерных заготовок является достаточно продолжительным и трудоемким процессом. Для расчета сменной производительности технологического участка по изготовлению облицовочных изделий способом О-Б-П-Т необходимо определить наиболее времязатратную технологическую операцию и рассчитать производительность оборудования при ее выполнении.

Прессование, термическая обработка и склеивание являются операциями позиционной обработки, браширование – операцией проходной обработки. Обжиг из-за определяющего параметра режима – скорости перемещения пламени по поверхности V_m – следует рассматривать как операцию проходной обработки.

Сменную производительность оборудования позиционной обработки определяют по формуле [170]:

$$P_{см} = \frac{T_{см} \cdot K_{ис} \cdot n}{t_{ц}}, \quad (5.4)$$

где $T_{см}$ – время смены, мин, $T_{см} = 480$ мин;

$K_{ис}$ – коэффициент использования станка;

n – число одновременно обрабатываемых заготовок, шт.;

$t_{ц}$ – время цикла обработки, мин, определяемое по формуле [170]:

$$t_{ц} = t_{осн} + t_{всп}, \quad (5.5)$$

где $t_{осн}$ – время основной обработки, мин;

$t_{всп}$ – время вспомогательных операций, мин.

Сменную производительность оборудования проходной обработки рассчитывают следующим образом [170]:

$$P_{см} = \frac{T_{см} \cdot V_s \cdot K_{ис} \cdot n}{L \cdot m}, \quad (5.6)$$

где V_s – скорость подачи, м/мин;

L – длина обработки, м;

m – число проходов заготовки через станок.

Результаты расчетов производительности оборудования представлены в таблице 5.3. Расчеты проводили для изготовления облицовочных панелей габаритными размерами 300×300 мм с деталями лицевого слоя длиной и шириной 50 мм с помощью использования одного комплекта оснастки для каждой технологической операции.

Таблица 5.3 – Результаты расчетов производительности оборудования

Наименование операции, оборудование	Вид обработки	Расчет производительности	Примечание
Обжиг, паяльная лампа	Проходная	$P_{\text{см о}} = \frac{480 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 20}{1 \cdot 6} = 1120 \text{ шт.}$	Длина рабочей зоны 1200 мм, расстояние между заготовками 5 мм
Браширование, щеточно-шлифовальный станок	Проходная	$P_{\text{см б}} = \frac{480 \cdot 5 \cdot 0,1 \cdot 15}{0,75 \cdot 5} = 960 \text{ шт.}$	С учетом затрат времени на переустановку и закрепление заготовок в оснастке $K_{ис} = 0,1$, длина оснастки 800 мм, рабочая зона 750 мм.
Прессование, гидравлический пресс	Позиционная	$t_{\text{ц}} = 17 + 60 = 77 \text{ с} = 1,28 \text{ мин},$ $P_{\text{см п}} = \frac{480 \cdot 0,95 \cdot 8}{1,28} = 2850 \text{ шт.}$	Пресс Д2430Б. Время прессования – 7 с, время выдержки под нагрузкой 10 с, время переустановки заготовок – 60 с.
Термическая обработка, сушильная камера	Позиционная	$t_{\text{ц}} = 60 + 2 = 62 \text{ мин},$ $P_{\text{см то}} = \frac{480 \cdot 0,92 \cdot 990}{62} = 7051 \text{ шт.}$	Габаритные размеры сушильной камеры 650×650×600 мм.
Набор деталей лицевого слоя и склеивание, пресс-вайма	Позиционная	$t_{\text{ц}} = 3 + 2 + 30 = 35 \text{ мин}$ $P_{\text{см скл}} = \frac{480 \cdot 0,95 \cdot 36}{35} = 469 \text{ шт.}$	Время на выкладку – 3 мин, на сборку и запрессовку – 2 мин; время выдержки под нагрузкой – 30 мин.

По результатам расчетов наименьшей производительностью обладает пресс-вайма для склеивания облицовочных панелей. Учитывая то, что в ней одновременно можно склеивать пачку панелей от 5 шт., ее производительность увеличится минимум в 5 раз. Поэтому наименее производительной является операция браширования, и щеточно-шлифовальный станок задает ритм всему потоку изготовления облицовочных изделий.

С учетом того, что объем производства облицовочных изделий ведут в м^2 , а площадь одной панели S_n составляет $0,09 \text{ м}^2$, и на ее изготовление требуется $n = 36$ деталей лицевого слоя, сменная производительность технологического участка по производству облицовочных изделий, рассчитанная по формуле (5.7) в м^2 , равна:

$$P_{\text{см обл.изд.}} = \frac{P_{\text{см б}} \cdot S_{\text{п}}}{n}, \quad (5.7)$$

$$P_{\text{см обл.изд.}} = \frac{960 \cdot 0,09}{36} = 2,4 \text{ м}^2.$$

Таким образом, минимальная сменная производительность технологического участка составляет 2,4 м². Увеличить его производительность в 2 ÷ 3 раза можно за счет совершенствования конструкции оснастки для браширования (обработка заготовок в несколько рядов), увеличением количества числа щеточно-шлифовальных станков или увеличением размеров деталей лицевого слоя.

5.2.2 Сравнительная оценка цеховой себестоимости облицовочных панелей

Для оценки экономической эффективности технологии изготовления облицовочных изделий проведем сравнительный анализ цеховой себестоимости двух аналогичных видов облицовочных панелей: 1 – на основе кусковых древесных отходов (на примере изготовления панелей на ООО ПКП «Алмис», г. Слободской); 2 – на основе дубовых заготовок [171]. Исходные данные для анализа: габаритные размеры панелей 300×300 мм, детали лицевого слоя длиной и шириной 50 мм. Схемы технологических процессов в сравнении представлены на рисунке 5.7.

При изготовлении облицовочных панелей из дубовых заготовок меньшее количество технологических операций обусловлено использованием дорогого высококачественного сырья, не требующего специальной обработки. При изготовлении облицовочных панелей из кусковых древесных отходов усложнение технологического процесса (обработка О-Б-П-Т) объясняется необходимостью повышения физико-механических и декоративных свойств заготовок.

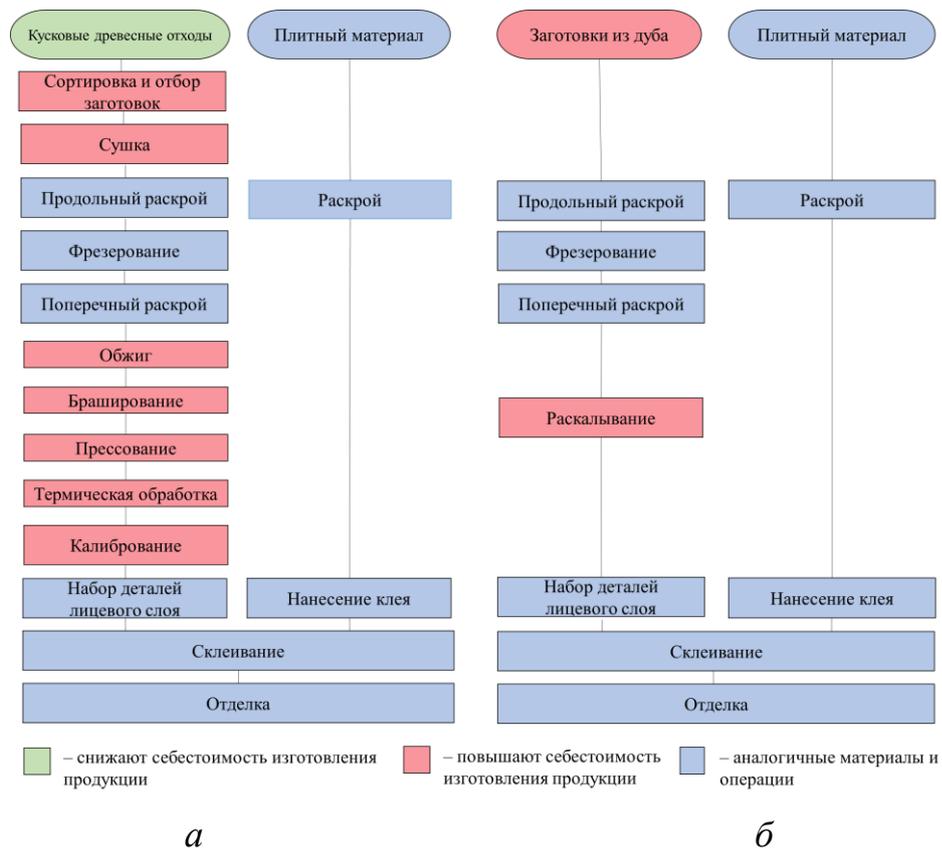


Рисунок 5.7 – Технологии изготовления облицовочных панелей: *a* – на основе кусковых древесных отходов; *б* – на основе заготовок из дуба

Сравнительная оценка затрат на сырье для изготовления деталей лицевого слоя представлена в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Сравнительная оценка затрат на сырье для изготовления деталей лицевого слоя

Критерий сравнения	Единицы измерения	Облицовочная панель из кусковых отходов	Облицовочная панель из древесины дуба
Вид сырья	–	Кусковые отходы (рейки)	Обрезная доска
Размеры (сырья)	мм	20×60×1000	25×110×1200
Влажность	%	Естественной влажности	8 ± 2
Стоимость сырья	руб./м ³	1500	90000
Толщина черновых заготовок	мм	17,5	25/2 ≈ 12,5
Толщина деталей лицевого слоя	мм	9	10
Коэффициент полезного выхода	%	41,97	57,4
Расход сырья,	м ³ /м ²	0,036931	0,018287
Стоимость сырья	руб./м ²	55,4	1645,80

Сырье для изготовления детали основания (плита МДФ), клеевые и защитно-декоративные материалы, применяемые для изготовления облицовочных панелей по рассматриваемым технологиям являются идентичными. Соответственно, затраты на них можно считать равными. По результатам расчетов они составляют 74,4 руб.

Соответственно, суммарные затраты на материалы на изготовление 1 м² облицовочных панелей на кусковых древесных отходов равны 129,8 руб.; на основе дубовых заготовок – 1720,2 руб. Использование кусковых отходов для изготовления деталей лицевого слоя в отличие от твердолиственного сырья позволяет снизить расходы на материалы более, чем в 13 раз. При этом экономится 0,018 м³ твердолиственного сырья, а 0,036 м³ кусковых древесных отходов хвойных пород включается во вторичное производство.

Цеховые расходы при изготовлении облицовочных панелей на основе дубовых заготовок при объеме производства облицовочных панелей 1500 м², включающие амортизацию зданий и оборудования, затраты на электроэнергию и водоснабжение, расходы на мероприятия по охране труда и др. составят 1200,4 руб./м². Затраты, связанные с заработной платой рабочих и отчислениями на заработную плату, будут равны 499,3 руб. Таким образом, цеховая себестоимость облицовочных панелей на основе дубовых заготовок составит 3419,9 руб./ м².

При изготовлении облицовочных панелей на основе кусковых древесных отходов цеховые расходы увеличатся за счет дополнительных затрат на оборудование и оснастку участков обжига, браширования, прессования и термической обработки, увеличения энергоемкости процесса. Также увеличатся затраты на заработную плату и отчисления на нее. При аналогичном годовом объеме производства облицовочных панелей цеховые расходы составят 1974,8 руб./м², а затраты на заработную плату – 985,9 руб. Таким образом цеховая себестоимость облицовочных изделий на основе кусковых отходов лесопиления и деревообработки будет равна 3090,5 руб.

Структура затрат, входящих в цеховую себестоимость в сравнении для рассматриваемых панелей, представлена в таблице 5.5 и на рисунке 5.8.

Таблица 5.5 – Структура затрат, входящих в цеховую себестоимость облицовочных панелей

Статьи затрат	Вид облицовочной панели	
	Облицовочная панель на основе кусковых отходов	Облицовочная панель на основе заготовок из древесины дуба
Затраты на сырье и материалы, руб.	129,8	1720,2
Цеховые расходы, руб.	1974,8	1200,4
Затраты на заработную плату и отчисления на нее, руб.	985,9	499,3
Цеховая себестоимость, руб.	3090,5	3419,9

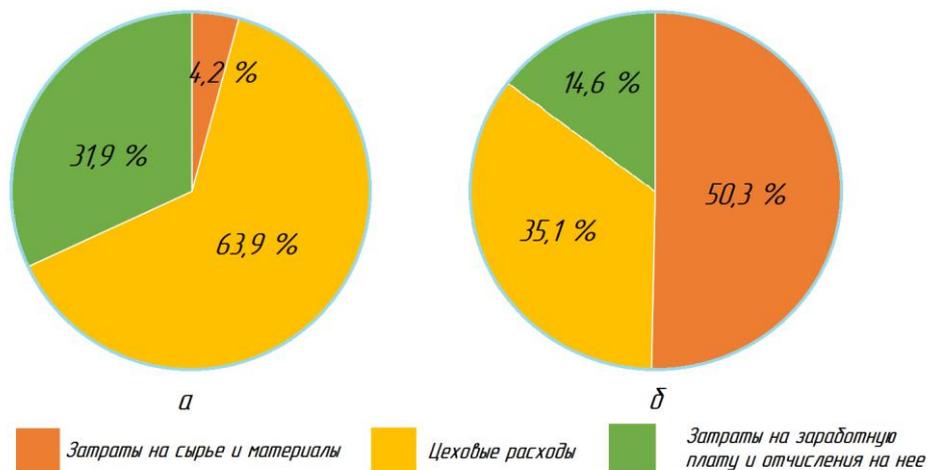


Рисунок 5.8 – Структура затрат цеховой себестоимости облицовочных панелей: а – из кусковых древесных отходов; б – из дубовых заготовок

За счет изготовления облицовочных панелей из кусковых древесных отходов способом О-Б-П-Т цеховая себестоимость по сравнению с цеховой себестоимостью облицовочных панелей на основе дубовых заготовок снижается на 9,6 %.

5.2.3 Оценка уровня качества облицовочных панелей

Этап проектирования является одним из важнейших этапов производства продукции, в процессе которого закладывается до 75 % уровня ее качества [172]. Оценка уровня качества продукции на этапе проектирования необходима

для определения потенциальной конкурентоспособности продукции на рынке, а также выявления ее существенных недостатков, требующих доработки.

Для оценки уровня качества облицовочных панелей, изготавливаемых по рассматриваемой в настоящей работе технологии, использованы методы квалиметрии [173]. На основании анализа конкретной номенклатуры показателей качества (см. п. 1.2.1), выбран смешанный метод оценки, так как его целесообразно применять в случаях, когда совокупность единичных показателей является достаточно обширной для дифференциальной оценки и часть из них объединена в группы [173]. В связи с высокой трудоемкостью определения значений некоторых показателей проведена упрощенная оценка уровня качества облицовочных панелей [174]. Перечень показателей для упрощенной оценки уровня качества облицовочных панелей представлен в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Перечень показателей для оценки уровня качества облицовочных панелей

Комплексный показатель	Единичный показатель
1 Механические показатели	1.1 Статическая твердость лицевой поверхности
2 Конструктивные показатели	2.1 Удельная масса
	2.2 Размеры изделия
	2.3 Шероховатость поверхности
3 Точность изготовления	3.1 Отклонения от номинальных размеров
	3.2 Отклонения от плоскостности
	3.3 Отклонения от перпендикулярности
4 Стабильность формы и размеров	4.1 Стабильность размеров по толщине
5 Пожароопасность	5.1 Горючесть
	5.2 Воспламеняемость
	5.3 Способность распространения пламени по поверхности
	5.4 Дымообразующая способность
	5.5 Токсичность продуктов горения
6 Показатели эстетичности	6.1 Цвет
	6.2 Блеск
	6.3 Текстура
	6.4 Фактура
	6.5 Равномерность окраски

Комплексный показатель	Единичный показатель
7 Показатели эргономичности	7.1 Сложность ухода за изделием
8 Устойчивость к внешним воздействиям	8.1 Атмосферостойкость
	8.2 Цветостойкость
9 Экономические показатели	9.1 Удельная себестоимость изготовления

В качестве базовых для показателей использовали соответствующие показатели облицовочной панели на основе заготовок из древесины дуба [47, 175]. Внешний вид сравниваемых панелей представлен на рисунке 5.9. Значения показателей (базовые и оцениваемые) получены с помощью измерения, наблюдения и экспертной оценки (см. п. 3.5.5, 3.7, 4.4 и п. 4.5) [173–174].



Рисунок 5.9 – Облицовочные панели: *a* – базовый образец, *б* – оцениваемый образец

Методика определения уровня качества продукции смешанным методом представлена ниже [173].

Коэффициент качества по единичным показателям K_i рассчитывают по формуле [173]:

$$K_i = \frac{P_{iоц} - P_{iпр}}{P_{iбаз} - P_{iпр}}, \quad (5.8)$$

где $P_{iоц}$ – числовое значение показателя оцениваемой продукции;

$P_{iбаз}$ – числовое значение показателя базового образца;

$P_{iпр}$ – числовое предельное значение.

Коэффициент качества по комплексному показателю K_{ki} определяют, как среднее арифметическое значений коэффициентов качества по единичным показателям, входящим в него:

$$K_{ki} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n} \quad (5.9)$$

Весовые коэффициенты для единичных и комплексных определяют экспертным методом с учетом анализа потребностей покупателей и нормативных требований к продукции [173].

Итоговый коэффициент качества продукции K определяют по формуле:

$$K = \sum_{i=1}^n M_i \cdot K_{(к)i} \quad (5.10)$$

В качестве примера определим коэффициент качества K_1 для показателя статической твердости. Исходные данные для расчета приведены в таблице Д.1 приложения Д:

$$K_1 = \frac{115 - 60}{120 - 60} = 0,94.$$

Весовой коэффициент, определенный с помощью экспертного метода, равен $M_1 = 0,167$. Таким образом, коэффициент качества с учетом весового коэффициента равен:

$$K_1 \cdot M_1 = 0,94 \cdot 0,167 = 0,156.$$

Аналогичным образом определены коэффициенты качества по остальным показателям.

Результаты оценки уровня качества представлены в таблице 5.7 и на рисунке 5.10.

Таблица 5.7 – Результаты расчета коэффициента уровня качества

№	Показатели качества	$K_i (K_{ki})$	M_i	$K_i (K_{ki}) \times M_i$
1	Статическая твердость лицевой поверхности	0,94	0,167	0,156
2	Конструктивные показатели	1,16	0,100	0,116
3	Точность изготовления	0,81	0,133	0,107
4	Стабильность размеров по толщине	0,91	0,067	0,060
5	Пожароопасность	1,0	0,133	0,133
6	Показатели эстетичности	0,97	0,133	0,129
7	Сложность ухода за изделием	1,14	0,033	0,037
8	Устойчивость к внешним воздействиям	0,79	0,067	0,052
9	Удельная себестоимость	1,63	0,167	0,272
Итоговый коэффициент качества K				1,067

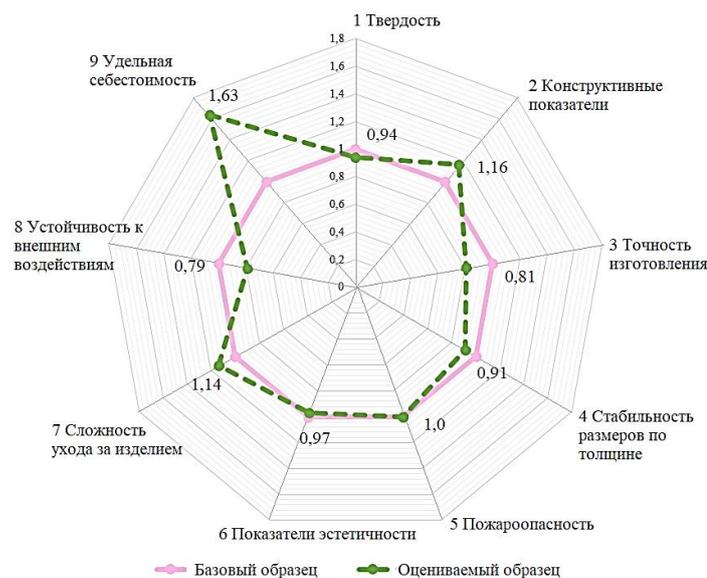


Рисунок 5.10 – Результаты оценки уровня качества облицовочных панелей из кусковых древесных отходов

В результате оценки уровня качества облицовочных панелей из кусковых древесных отходов определен коэффициент их качества, равный 1,07. Это свидетельствует о том, что качество облицовочных панелей, изготовленных по разрабатываемой технологии, не ниже качества облицовочных панелей на основе

дубовых заготовок. При схожих физико-механических и эстетических свойствах панелей, основные преимущества разрабатываемых заключаются в низкой стоимости используемого сырья и меньшей удельной массе. Таким образом, панели на основе кусковых отходов являются достойной альтернативой продукции из твердолиственного сырья и с успехом могут применяться как отделочный материал внутренних помещений.

5.3 Выводы по пятому разделу

5.3.1 Разработана конструкция облицовочной панели с лицевым слоем в виде плиток, изготовленных из кусковых древесных отходов хвойных пород, и основанием из тонкого плитного материала. Особенности конструкции панели являются вариативность размеров и формы деталей лицевого слоя в широком диапазоне и смещенное относительно лицевого слоя основание. Первое способствует рациональному использованию древесного сырья и расширению количества типоразмеров облицовочных панелей, второе – удобству монтажа и надежности изделий в эксплуатации.

5.3.2 Разработан технологический процесс изготовления облицовочных панелей, включающий этап комбинированной обработки для изготовления деталей лицевого слоя. На основании экспериментальных исследований подобраны режимы обработки заготовок обжигом, брашированием, прессованием и термической обработкой. Разработана методика определения размеров черновых заготовок для изготовления деталей лицевого слоя с учетом всех необходимых припусков на обработку в зависимости от требуемых размеров детали.

5.3.3 Для серийной обработки короткомерных заготовок брашированием, калиброванием и прессованием, а также для сборки и склеивания облицовочных панелей разработаны варианты конструкций технологической оснастки. Предложенная оснастка позволяет обрабатывать короткомерные заготовки на типовом промышленном оборудовании.

5.3.4 Проведен сравнительный анализ цеховой себестоимости облицовочных панелей из кусковых древесных отходов хвойных пород, изготавливаемых по предлагаемой технологии, и панелей из твердолиственного сырья. Установлено, что за счет использования более дешевого сырья и технологии его обработки, цеховая себестоимость 1 м² панелей снижается на 9,6 % и составляет 3090 рублей. При выпуске 1000 м² облицовочных панелей из кусковых древесных отходов экономия твердолиственной древесины составляет более 18 м³.

5.3.5 Результаты квалиметрической оценки уровня качества облицовочных панелей, проведенной на этапе проектирования продукции, свидетельствуют о высоком уровне их качества (коэффициент качества $K = 1,07$). Панели на основе кусковых отходов лесопиления и деревообработки могут стать достойной альтернативой продукции из твердолиственного сырья.

ОСНОВНЫЕ 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 м² облицовочных панелей из кусковых древесных отходов экономия твердолиственной древесины составляет более 18 м³. Квалиметрическая оценка подтверждает соответствие уровня качества продукции, изготовленной по предложенной технологии, уровню качества традиционной продукции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 30166-2014. Ресурсосбережение. Основные положения. – Москва : Стандартинформ, 2019 –16 с.
2. ГОСТ 52104-2003. Ресурсосбережение. Термины и определения. – Москва : Госстандарт России, 2003 – 16 с.
3. Исмагилов, Р.Х. Методы ресурсосбережения на предприятиях машиностроения / Р.Х. Исмагилов // Вопросы инновационной экономики. – 2012. – №3. – С. 32–39.
4. Лоскутов, С.А. Основные факторы, критерии и принципы ресурсосбережения в условиях современного хозяйствования/ С.А. Лоскутов // Вестник ВГУИТ, 2015. – №2 (64). – С. 272.
5. Кожухов, Н.И. Вопросы ресурсосбережения и использование кусковых отходов в лесопилении / Н.И. Кожухов, Е.В. Сазанова // Известия ВУЗов. Лесной журнал. – 2001. – №1. С. 125–131.
6. ГОСТ 55103-2012. Ресурсосбережение. Эффективное управление ресурсами. – Москва : Стандартинформ, 2014 –19 с.
7. Савон, Д.Ю. Применение инновационных методов ресурсосбережения при переработке и утилизации отходов в производственной сфере / Д.Ю. Савон, М.А. Абрамова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 8. – С. 280–288.
8. Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года (утв. Распоряжением правительства РФ от 26 сентября 2013 г.) // Консультант Плюс: – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_152506/5a4aaf73b0a078787c3721652e188137f5977e1e/ (дата обращения: 20.10.2021).
9. ГОСТ Р 56070-2014. Отходы древесные. Технические условия. – Москва : Стандартинформ, 2014 – 11 с.

10. Технология и оборудование комплексного использования древесного сырья. Практикум : учеб. пособие для студентов специальностей «Лесоинженерное дело», «Экономика и управление на предприятии», «Маркетинг» / А.С. Федоренчик, С.П. Мохов, Д.В. Клоков, Е.А. Леонов. – Минск : БГТУ, 2014. – 274 с.

11. Варанкина, Г.С. Основы комплексной переработки древесного сырья: учеб. пособие по дисциплине «Утилизация древесных отходов для магистров», обучающихся по направлению 35.04.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» / Г.С. Варанкина, А.Н. Чубинский. – СПб. : СПбГЛТУ, 2016. – 60 с.

12. Цыгарова, М.В. Комплексное использование древесины : учеб. пособие / М.В. Цыгарова. – Сыктывкар : СЛИ, 2015. – 125 с.

13. Коротаяев, Э.И. Производство строительных материалов из древесных отходов / Э.И. Коротаяев, В.И. Симонов. – М., 1972 – 144 с.

14. Мохирев, А.П. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса, как фактор устойчивого природопользования / А.П. Мохирев, Ю.А. Безруких, С.О. Медведев // Инженерный вестник Дона. – 2015. – Т. 36. – № 2-2.

15. Отходы древесины и их рациональное использование : [сайт] – URL: <https://listvennicaspb.ru/oborudovanie/racionalnoe-primenenie-othodov-drevesiny.html> (дата обращения 22.04.2021).

16. Технология переработки древесины и ее отходов : [сайт] – URL: <http://stroyres.net/lesnye-materialy/drevesina/obshie-svedenia/tehnologiya-pererabotki-othodov.html> (дата обращения 22.04.2021).

17. Михайлов, Г.М. Пути улучшения использования вторичного древесного сырья / Г.М. Михайлов, Н.А. Серов. – Москва : Лесная промышленность, 1988 – 224 с.

18. Wenzl, H. The chemical technology of wood / H. Wenzl – Academic Press, 1970 – 669 с.

19. Комплексная химическая переработка древесины : [сайт] – URL: <http://window.edu.ru/resource/220/76220/files/komplchemperdrev.pdf> (дата обращения 29.03.2021).

20. Тимонин, А.С. Инженерно-экологический справочник / А.С. Тимонин. – Калуга : Издательство Н. Бочкаревой, 2003. – Т.3. – 1024 с.

21. Кислицына, С.Н. Способы переработки отходов деревообрабатывающей промышленности: учеб. пособие по направлению подготовки 35.03.02 Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств / С.Н. Кислицына, И.Ю. Шитова. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 140 с.

22. Сафин, Р.Г. Современные строительные композиционные материалы на основе древесных отходов / Р.Г. Сафин, В.В. Степанов, Э.Р. Хайруллина [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 20. – С.123–128.

23. Ihnat, V. Size reduction downcycling of waste wood. Review /V. Ihnat, H. Lubke // Wood Res. – 2020. – Т. 65. – С. 205–220.

24. Cetiner, I., Wood waste as an alternative thermal insulation for buildings / I. Cetiner, A.D. Shea //Energy and buildings. – 2018. – Т. 168. – С. 374–384.

25. Hiramatsu, Y. Present state of wood waste recycling and a new process for converting wood waste into reusable wood materials / Y. Hiramatsu, Y. Tsunetsugu, M. Karube [и др.] // Materials Transactions. – 2002. – Т. 43. – № 3. – С. 332-339.

26. Гомонай, М.В. Технология переработки древесины / М.В. Гомонай. – М. : МГУЛ, 2002. – 232 с.

27. Чижова, М.А. Технология композиционных материалов: курс лекций для студентов направления 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» всех форм обучения / М.А. Чижова – Лесосибирск: ЛфСибГУ, 2017. – 311 с.

28. Характеристики древесных плит : [сайт] – URL: <https://stroy-masterden.ru/drevesnyie-plityi-vidyi-preimushhestva-nedostatki.html> (дата обращения 26.04.2021).

29. Faraca, G. Resource quality of wood waste: The importance of physical and chemical impurities in wood waste for recycling / G. Faraca, A. Boldrin, T. Astrup // *Waste Management*. – 2019. – Т. 87. – С. 135–147.

30. Волынский, В.Н. Технология клееных материалов: учеб. пособие для вузов. (2-е изд., исправленное и дополненное) / В.Н. Волынский. – Архангельск : Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2003. – 280 с.

31. Трапезникова, Е.В. Исследование товарного ассортимента продуктов деревообрабатывающей промышленности / Е.В. Трапезникова, Е.С. Пакулова // *Труды Братского государственного университета. Серия: Экономика и управление*. – 2017. – Т. 1. – С. 114–119.

32. Nazerian, M. Production of blockboard from small athel slats end-glued by different type of joint / M. Nazerian, V. Moazami, R. M. Gargari // *Maderas. Ciencia y tecnología*. – 2018. – Т. 20. – № 2. – С. 277–286.

33. Журавлева, Л.Н. Основные направления использования древесных отходов / Л.Н. Журавлева, А.Н. Девятловская // *Актуальные проблемы лесного комплекса*. – 2007. – № 18. – С. 96–99.

34. Kim, M.N. Analysis of the global warming potential for wood waste recycling systems / M.N. Kim, H.V. Song // *Journal of Cleaner Production*. – 2014. – Т. 69. – С. 199–207.

35. Никишов, В.Д. Комплексное использование древесины: учебник для вузов / В.Д. Никишов. – М. : Лесн. пром-сть, 1985. – 264 с.

36. ГОСТ Р 58033-2017. Здания и сооружения. Словарь. Часть 1. Общие термины. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 80 с.

37. Павлова, М.О. Методические рекомендации по подбору облицовочных изделий для наружных стен (Общие положения. Номенклатура показателей. Основные требования) : методическое пособие / М.О. Павлова, В.А. Захаров, И.В. Стульева [и др.] – Москва, 2017. – 96 с.

38. Домокеев, А.Г. Строительные материалы : учебник / А. Г. Домокеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1989. – 495 с.

39. ГОСТ 4.230-83. Система показателей качества продукции. Строительство. Материалы отделочные и изделия облицовочные полимерные. Номенклатура показателей. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2003. – 7 с.

40. ГОСТ 4.200-78. Система показателей качества продукции. Строительство. Основные положения. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2003. – 6 с.

41. ГОСТ 4.226-83. Система показателей качества продукции. Строительство. Окна, двери и ворота деревянные. Номенклатура показателей. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2004. – 10 с.

42. ГОСТ 4.210-79. Система показателей качества продукции. Строительство. Материалы керамические отделочные и облицовочные. Номенклатура показателей. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2003. – 4 с.

43. ГОСТ 4.223-83. Система показателей качества продукции. Строительство. Изделия паркетные. Номенклатура показателей. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2003. – 8 с.

44. ГОСТ 4.207-79. Система показателей качества продукции. Строительство. Плиты древесноволокнистые. Номенклатура показателей. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2003. – 7 с.

45. ГОСТ 10632-2014. Плиты древесно-стружечные. Технические условия. – Москва : Стандартиформ, 2019. – 14 с.

46. ГОСТ 8242-88. Детали профильные из древесины и древесных материалов для строительства. Технические условия. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 11 с.

47. Уголев, Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение: учебник для сред. проф. образования / Б.Н. Уголев. – М. : Издательский центр «Академия», 2004. – 272 с.

48. ГОСТ 3916.2-2018. Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона хвойных пород. – Москва : Стандартиформ, 2019. – 19 с.

49. ГОСТ 16483.39-81. Древесина. Метод определения показателя истирания. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1999. – 7 с.

50. Кошелева, Н.А. Паркетные полы с высокими прочностными свойствами из малоценной лиственной древесины / Н.А. Кошелева, Д.В. Шейкман // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4. – С. 180-180.

51. ГОСТ 6449.5-82. Изделия из древесины и древесных материалов. Поля допусков для линейных размеров и посадки. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2002. – 30 с.

52. ГОСТ 4598-2018. Плиты древесно-волокнистые мокрого способа производства. Технические условия. – Москва : Стандартиформ, 2019. – 15 с.

53. ГОСТ 16371-2014. Мебель. Общие технические условия. – Москва : Стандартиформ, 2015. – 31 с.

54. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» // КонсультантПлюс: – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (дата обращения: 25.10.2021).

55. Группа горючести Г1 / Пожара нет. Способы предупреждения пожара : [сайт] – URL: <https://pozharanet.com/ognezashhita/klassy-stojkosti-i-opasnosti/gruppa-goryuchesti-g1.html> (дата обращения 05.05.2021).

56. ГОСТ 18108-2016. Линолеум поливинилхлоридный на теплозвукоизолирующей подоснове. Технические условия. – Москва: Стандартиформ, 2019. – 11 с.

57. ГОСТ 11583-74. Материалы полимерные строительные отделочные. Методы определения цветоустойчивости под воздействием света, равномерности окраски и светлоты. – Москва : Издательство стандартов, 1988. – 8 с.

58. ГОСТ 33121-2014. Конструкции деревянные клееные. Методы определения стойкости клеевых соединений к температурно-влажностным воздействиям. – Москва : Стандартиформ, 2015. – 45 с.

59. Барташевич, А.А. Конструирование мебели : учебник для студентов специализации «Технология и дизайн мебели» вузов / А.А. Барташевич, С.П. Трофимов. – Минск : Современная школа, 2006. – 336 с.

60. Тенденции интерьера 2021: самые актуальные идеи дизайнеров декорирования домов и квартир / Remont.BP: [сайт] – URL: <https://www.remontbp.com/tendencii-interera-2021/> (дата обращения 05.05.2021).

61. Гребенников, А.А. Пути снижения себестоимости продукции / «Справочник экономиста», 2018. – № 6 : [Электронный ресурс]. URL: https://www.profiz.ru/se/6_2018/snijaem_stoimost/ (дата обращения 05.05.2021).

62. ГОСТ 30972-2002. Заготовки и детали деревянные клееные для оконных и дверных блоков. Технические условия. – Москва : МНТКС, 2002. – 33 с.

63. Шейкман, Д.В. Технология модифицирования древесины мягких лиственных пород и березы для напольных покрытий: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05. – УГЛТУ, Екатеринбург, 2017 – 207 с.

64. Старая амбарная доска для мебели и интерьера/ Русский мебельный дом : [сайт] – URL: <https://russianfurniturehouse.com/staraya-ambarnaya-doska-dlya-interera/> (дата обращения 05.05.2021).

65. Орлова, Ю.Д. Отделка изделий из древесины / Ю.Д. Орлова. – М. : Высшая школа, 1968. – 276 с.

66. Рыбин, Б.М. Технология и оборудование защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов: учебник для вузов. – 2-е изд. – М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. – 568 с.

67. Дьяченко, В.Ю. 3D фрезерование древесины – синтез технологии и дизайна / В.Ю. Дьяченко// Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2013. – № 136. – С. 148–157.

68. Янкина, А.С. Особенности браширования древесины / А.С. Янкина // Ростовский научный журнал. – 2019. – № 2. – С. 287–294.

69. Барташевич, А.А. Декорирование элементов мебели и столярно-строительных изделий методом тиснения текстуры древесины и имитацией резьбы / А.А. Барташевич, Л.В. Игнатович, С.В. Шетько [и др.] // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2018. – № 2 (210). – С.197–203.

70. Файзуллин, И.З. Методы формования изделий из древесно-полимерных композиций / И.З. Файзуллин, И.Н. Мусин, С.И. Вольфсон // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 12. – С. 81–84.

71. Черных, М.М., Классификация художественных изделий из древесины. Особенности их декорирования гравированным орнаментом / М.М. Черных, Э.Ф. Яппарова., Л.Ф. Яппарова. // Дизайн. Материалы. Технология. – 2011. – № 4. – С. 30–35.

72. Патент № 2055743 Российская Федерация, МПК6 В44С1/24. Способ получения плоского декоративного рисунка, обладающего оптическим эффектом объемного изображения, на поверхности уплотненной древесины : №5032375/12 : заявлено 16.03.92 : опубликовано 10.03.96 / Короленко В.Г., Постнов В.И., Фадеев Е.А. ; заявители – Короленко В.Г., Постнов В.И., Фадеев Е.А. – 2 с.

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

74. Кошелева, Н.А., Исследование процесса пропитки полимерами при модификации малоценных пород древесины / Н.А. Кошелева, Д.В. Шейкман // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – №14. – С. 126–130.

75. Шамаев, В.А. Модификация древесины / В.А. Шамаев. – М. : Экология, 1991. – 128 с.

76. Hill, C. Wood modification: chemical, thermal and other processes / C. Hill – LTD: John Wiley & Sons, 2007. – Т. 5. – 238 с.

77. Rowell, R.M. Chemical modification of wood: A short review / R.M. Rowell //Wood Material Science and Engineering. – 2006. – Т. 1. – № 1. – С. 29-33.

78. Куницкая, О.А. Моделирование различных способов пропитки древесины полимерами / О.А. Куницкая // Лесной вестник / Forestry bulletin. – 2011. – № 3. – С. 131–135.

79. Бирман, А.Р. Пропитка древесины гидростатическим способом / А.Р. Бирман, В.А. Соколова, А.С. Кривоногова // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – № 5-4. – С. 33–38.

80. Прокопович, Б.В. Влияние глубины пропитки на твердость древесины / Б.В. Прокопович, Н.Ф. Чопенко [сайт] – URL: http://science-bsea.narod.ru/2002/les_2002/propokovich.htm (дата обращения 09.05.2021).

81. Патент № 2688483 Российская Федерация, МПК В27К 3/02. Способ пропитки древесины : № 2018123421 : заявлено 27.08.2018 : опубликовано 21.05.2019 / Кантышев А.В., Борисов А.Ю., Колесников Г.Н. [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет» – 9 с.

82. Пятакин, В.И., Эффективность способов пропитки древесины / В.И. Пятакин, В.А. Соколова // Вестник КрасГАУ. – 2011. – №5. – С. 159–163.

83. Esteves V. Wood modification by heat treatment: A review / V. Esteves, H. Pereira // BioResources. – 2009. – Т. 4. – № 1. – С. 370–404.

84. Шайхутдинова, А.Р., Сафин Р.Р. Термодревесина: дизайн и технология/ А.Р. Шайхутдинова, Р.Р. Сафин // Труды Академии технической эстетики и дизайна. – 2016. – № 1. – С. 5–9.

85. Патент № 2425305 Российская Федерация, МПК F26В 5/04. Способ сушки и термической обработки древесины : № 2010108198/06 : заявлено 04.03.2010 : опубликовано 27.07.2011 / Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Оладышкина Н.А. [и др.] ; заявители ООО «НТЦ РПО» – 10 с.

86. Повышение эксплуатационных характеристик композиционных материалов, созданных на основе термически модифицированной древесины / Р.Р. Хасаншин [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 7. – С. 64–66.

87. Хухрянский, П.Н. Прессование древесины : 2-е изд., испр. и доп. / П. Н. Хухрянский. – Москва: Лесная промышленность, 1964 – 361 с.

88. Шамаев, В.А. Прессование древесины с одновременной сушкой в прессформе / В.А. Шамаев, А.И. Сидельников // Интеграция науки и высшего

лесотехнического образования, инновационная деятельность на предприятиях лесного комплекса. – 2002. – С. 94–98.

89. Рублева, О.А. Формирование прямоугольных шипов способом торцового прессования / О.А. Рублева // Лесотехнический журнал. – 2013. – № 4 (12). – С. 126–133.

90. Куницкая, О.А. Математическая модель обезвоживания древесины в процессе прессования и сушки / О.А. Куницкая // ЛесПромИнформ, 2016 – № 8 (122) / [сайт] : URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=4543> (дата обращения 09.05.2021).

91. Properties of solid wood and laminated wood lumber manufactured by cold pressing and heat treatment / J.H. Kwon [et. al.] // Materials & Design (1980-2015). – 2014. – Т. 62. – С. 375–381.

92. ГОСТ 8486-86. Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1999. – 15 с.

93. ГОСТ 2695-83. Пиломатериалы лиственных пород. Технические условия. – Москва : Стандартиформ, 2007. – 6 с.

94. ГОСТ 23551-79. Древесное сырье для изготовления прессованной древесины. – Москва : Издательство стандартов, 1979. – 15 с.

95. ГОСТ 9629-81. Заготовки из модифицированной древесины. – Москва : Издательство стандартов, 1979. – 16 с.

96. Влияние строения древесины на ее свойства [сайт] – URL: <http://www.drevesinas.ru/factors/construction/1.html> (дата обращения 1.07.2021).

97. Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения: учебник / Б.Н. Уголев – М. : МГУЛ, 2007. – 352 с.

98. Вихров, Ю.В. Повышение водовлагостойкости древесины / Ю.В. Вихров, Н.Н. Бажанова, Н.П. Синюков. – 1973. – С. 56–60.

99. Чубинский, А.Н. Физика древесины: учебное пособие по выполнению лабораторных работ / А.Н. Чубинский, А.А. Тамби, М.А. Чубинский, К.В. Чаузов. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 67 с.

100. Фенгел, Д. Древесина (химия, ультраструктура, реакции): Пер. с англ. / Д. Фенгел, Г. Вегенер: Предисл. А.А. Леоновича // Под ред. Д-ра техн. наук проф.. А.А. Леоновича – М. : Лесная пром-сть, 1988. – 512 с.

101. Лесная энциклопедия: в 2-х т. / Гл. ред. Г.И. Воробьев; Ред. кол.: Н.А. Анучин, В.Г. Атрохин, В.Н. Виноградов и др. – М. : Сов. энциклопедия, 1985. – 563 с.

102. Чудинов, Б.С. Вода в древесине / Б.С. Чудинов. – Новосибирск: Наука, 1984. – 270 с.

103. Гришин, А.М. Математическое моделирование процесса зажигания древесины / А.М. Гришин, А.С. Якимов // Теплофизика и аэромеханика, 2013. – Т.20. – № 4. – С. 473–486.

104. Драйздейл, Д. Введение в динамику пожаров / Д. Драйздейл. – М. : Стройиздат, 1990. – 424 с.

105. Орлова, С.С. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учеб. пособ. / С.С. Орлова, Т.А. Панкова, С.В. Затицацкий // Саратов : Саратовский источник, 2015. – 130 с.

106. Таубкин, И.С. Определение температуры и длительности горения древесины на пожаре по параметрам обугленного слоя: методические рекомендации. Теория и практика судебной экспертизы / И.С. Таубкин. – 2017. – № 12(4). – С 37–47.

107. Арцыбашева, О.В. Современные тенденции в области огнестойкости деревянных зданий и сооружений / О.В. Арцыбашева, Р.М. Асеева Р.М., Б.Б. Серков., А. Б. Сивенков // Известия ЮФУ. Технические науки, 2013. – № 8 (145). – С. 37–47.

108. Козельский Н. Термодревесина – надежный друг человека // ЛесПромИнформ, 2010. – №1 (67). – [Электронный ресурс] : URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=1199> (дата обращения 07.06.2021).

109. Сергеева, В.В. Взаимовлияние эстетических свойств фактуры изделий из древесины и технологических аспектов их обработки : автореферат диссертации на соискание степени кандидата технических наук / В.В. Сергеева. – Москва : МГУПИ, 2008. – 23 с.

110. Ашкенази, Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов / Е.К. Ашкенази. – М. : «Лесная промышленность», 1978. – 224 С.
111. Платонов, А.Д. Вариативность послойной плотности древесины при одноосном прессовании / А.Д. Платонов, А.В. Киселева, С.Н. Снегирева // АННИ XXI века: теория и практика, 2020 – № 8. – С 218–222.
112. Разумов, Е.Ю. Способ обработки термомодифицированной древесины Е.Ю. Разумов, Р.В. // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 4. – С. 74–78.
113. Кислицин, А.Н. Пиролиз древесины: химизм, кинетика, продукты, новые процессы / А.Н. Кислицын. – М. : Лесная промышленность, 1990. – 311 с.
114. Сафина, А.В. Обзор отечественных и зарубежных исследований в области термической обработки древесного наполнителя при производстве композиционных материалов / А.В. Сафина, Р.Р. Хасаншин., Р.Р. Сафин // Вестник Казанского технологического университета, 2015. – Т. 18. – № 3. – С. 194–198.
115. Азаров, В.И. Химия древесины и синтетических полимеров : учебник для вузов / В.И. Азаров, А.В. Буров, А.В. Оболенская. – СПб.: СПбЛТА, 1999. – 628 с.
116. Пинчевська, О.О. Оптимізація режимів термічної обробки деревини граба / О.О. Пинчевська, В.М. Головач, О.Ю. Горбачова // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво, 2016. – № 238. – С. 251–259.
117. Мазаник, Н.В. Влияние термической обработки на свойства древесины / Н.В. Мазаник, Д.П. Бабич // Сборник материалов VIII Международного евразийского симпозиума «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века», 2013.
118. Разумов, А.Е. Экспериментальные исследования механических свойств термомодифицированной древесины / А.Е. Разумов, М.В. Хузеев, Д.А. Ахметова., А.Р. Шайхутдинова // Вестник Казанского технологического университета, 2012. – № 2. – С.31–33.

119. Расаев, А.И. Сушка древесины: учебник для проф.-технич. училищ. / А.И. Расаев. – М. : Высшая школа, 1980. – 181 с.
120. Разумов, Е.Ю. Термомодифицирование измельченной древесины в процессе производства древесно-наполненных композитов / Е.Ю. Разумов // Вестник Казанского технологического университета, 2010. – № 9. – С. 198–202.
121. Кондратьева, Е.И. Термическая обработка древесины и возможность оценки ее свойств методами магнитного резонанса: дипл. работа (диссертация магистра радиофизики) / Е.И. Кондратьева. – Казань : Казанский (приволжский) федеральный университет, 2015. – 78 с.
122. Сафин Р.Р. Разработка энергосберегающей технологии термомодифицирования древесины / Р.Р.Сафин, Н.Ф. Кашапов, А.В. Канарский [и др.] // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики, 2009. №3-4.
123. Ермоченков, М.Г. Прогнозирование свойств термически модифицированной древесины / М.Г. Ермоченков // Вестник МГУЛ : Лесной вестник, 2010. – №4. – С. 111–114.
124. Сафин, Р.Р. Исследование физико-механических свойств термомодифицированной древесины березы / Р.Р. Сафин, А.В. Сафина, А.Х. Шаяхметова // Вестник Казанского технологического университета, 2015. – Т. 18. – № 4. – С. 213–217.
125. ГОСТ 16588-91. Пилопродукция и деревянные детали. Методы определения влажности. – Москва : Стандартинформ, 2009. – 6 с.
126. Тарбеева, Н.А. Исследование способа упрочняюще 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 Минобрнауки России. – Екатеринбург, 2019. – С. 124–127.
127. Основы управления качеством продукции и услуг: учебн. пособ. / С.Л. Никитченко, В.А. Полуян, С.А. Балюк; под общ. ред. С.Л. Никитченко. – зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2020. – 107 с.

128. ГОСТ 7016-2013. Изделия из древесины и древесных материалов. Параметры шероховатости поверхности. – Москва : Стандартиформ, 2014. – 11 с.

129. ГОСТ 16483.20-72. Древесина. Метод определения водопоглощения. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1999. – 4 с.

130. ГОСТ 26877-2008. Металлопродукция. Методы измерений отклонений формы. – Москва : Стандартиформ, 2013. – 24 с.

131. ГОСТ 33121-2014. Конструкции деревянные клееные. Методы определения стойкости клеевых соединений к температурно-влажностным воздействиям. – Москва : Стандартиформ, 2019. – 20 с.

132. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. – М. : Машиностроение, 1981. – 184 с.

133. Ногин В.Д. Линейная свертка критериев в многокритериальной оптимизации / В.Д. Ногин // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2014. – № 4. – С. 73–82.

134. Процедуры решения многоцелевых задач / Принятие оптимальных многоцелевых решений древесины – [сайт] : URL: http://forest.petrso.ru/courses/decision/chap7_a.htm (дата обращения 17.11.2021).

135. Кобелев, Н.Б. Основы имитационного моделирования сложных экономических систем: Учеб. пособие. – М : Дело, 2003. – 336 с.

136. Редькин, А. К. Математическое моделирование и оптимизация технологий лесозаготовок / А.К. Редькин, С.Б. Якимович. – Москва : МГУЛ, 2005. – 504 с.

137. Рублева О.А. Формирование шиповых соединений деталей из древесины на основе технологии торцового прессования : автореферат диссертации на соискание степени доктора технических наук / О.А. Рублева; . Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург, 2020. – 40 с.

138. Яцун, И.В. Формирование древесных композиционных материалов с рентгенозащитными свойствами: автореферат диссертации на соискание степени доктора технических наук / И.В. Яцун. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. – 39 с.

139. 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.

140. 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.

141. 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 [и др.] / Системы. Методы. Технологии, 2021. – № 1 (49). – С. 90–97.

142. 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.

143. 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. [Ответственный редактор С.М. Хамитова], 2019. – С. 181–184.

144. Тарбеева, Н.А. Экспериментальное исследование влияния режимов пьезотермической обработки на степень уплотнения заготовок из древесины сосны / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева // Деревообработка: технологии, оборудо-

вание, менеджмент XXI века : труды XIV Международного евразийского симпозиума / под научной редакцией В.Г. Новоселова. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2019. – С. 75–81.

145. 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, 2019. – С. 124–127.

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

147. 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. – Киров : ВятГУ, 2018 – Т.2. – С. 986–992.

148. 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. – Киров : ВятГУ, 2018 – Т.2. – С. 993-1000.

149. Тарбеева, Н.А. Обоснование возможностей способа упрочняющей декоративной обработки низкотоварной древесины / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева // Лесотехнический журнал. – 2020. – Т. 10. – № 3 (39). – С. 145–154.

150. 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).

151. Термообработка древесины – [сайт] : URL: <http://90zavod.ru/raznoe/termoobrabotka-drevesiny.html> (дата обращения 16.09.2021).

152. ГОСТ 30972-2002. Заготовки и детали деревянные клееные для оконных и дверных блоков. Технические условия. – Москва : МНТКС, 2002. – 33 с.

153. 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.

154. 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

155. Тарбеева, Н.А. Переработка древесных отходов как направление рационального природопользования / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева // Сохранение лесных экосистем: проблемы и пути их решения. – 2019. – С. 158–162.

156. 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. – 2018. – С. 323–330.

157. 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. – 2018. – С. 93–98.

158. Патент № 2754909 Российская Федерация, МПК E04F 13/08 (2006.01) Способ изготовления облицовочной панели из упрочнённой древесины: № 2020139525: заявлено 02.12.2020: опубликовано 08.09.2021 / Рублева О.А., Тарбеева Н.А. – 7 с.

159. Классификация, номенклатура и количество отходов / Первый лесопромышленный портал – [сайт]: URL: <http://www.wood.ru/ru/othod01.html> (дата обращения 24.08.2021).

160. Гончаров, Н.А. Технология изделий из древесины: Учебник для вузов / Н.А. Гончаров, В.Ю. Башинский, Б.М. Буглай. – 2-е изд., испр. и дополн. – М. : Лесн. пром-сть, 1990. – 528 с.

161. Патент №1661 Российская Федерация, МПК E04F13/08. Облицовочная древесная плитка : № 94017079/33 : заявлено 10.05.1994 : опубликовано 16.02.1996 / Кравченко Г.Ф, Мансуров Б.К., Ганоцкий В.Н. ; заявители Кравченко Г.Ф, Мансуров Б.К., Ганоцкий В.Н. – 6 с.

162. Патент № 2024709 Российская Федерация, МПК E04F15/16. Способ изготовления деревянных покрытий : № 5049598/33 : заявлено 25.06.1992 : опубликовано 15.12.1994 / Байч В.А. ; заявитель Байч В.А.– 5 с.

163. Патент № 2661814 Российская Федерация, МПК B44C 5/04 (2006.01) Способ изготовления декоративной панели «Фасадная система» : № 2017112335: заявлено 10.04.2017: опубликовано 19.07.2018 / Джелаухов Г.С.; заявитель Джелаухов Г.С. – 7 с.

164. Деревянная мозаика 3D, орех / ООО «Зелёный Клён» : [сайт]. – URL: <https://zelenyklen.ru/p393724332-derevyannaya-mozaika-oreh.html> (дата обращения 26.08.2021).

165. Деревообрабатывающие станки / Ассоциация Ками : [сайт]. – URL: https://www.stanki.ru/catalog/derevoobrabatyvayushhee_oborudovanie/ (дата обращения 26.08.2021).

166. Глебов, И.Т. Расчет режимов резания древесины : монография / И.Т. Глебов ; Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2005. – 156 с.

167. Клей для водостойкого склеивания дерева универсальный / Chemical Engineering [сайт]. – URL: https://homa.ru/catalog/prom_materials/promchem/klri_dla_skleivaniya_drevesini/Klei_dla_vodostoykogo_skleivaniya/homakoll-019m/ (дата обращения 24.08.2021).

168. Лак для бань и саун водный Luxens цвет прозрачный полуматовый / Leroy Merlin [сайт]. – URL: <https://leroymerlin.ru/product/lak-dlya-ban-i-saun-vodnyu-luxens-cvet-prozrachnyu-polumatovyyu-2-5-1-82539619/> (дата обращения 18.08.2021).

169. ГОСТ 7307-2016. Детали из древесины и древесных материалов. Припуски на механическую обработку. – Москва : Стандартиформ, 2017. – 19 с.

170. Юрова, О.В. Технология соединения материалов и деталей в производстве изделий из древесины: метод. указания по выполнению контрольных работ для студентов спец. 250403 «Технология деревообработки» всех форм обучения : самост. учеб. электрон. изд. / О.В. Юрова. – Сыктывкар: СЛИ, 2010. – 34 с.

171. Мозаика и 3D панели из дерева RFA Дуб Кливд / Пол вам в дом [сайт]. – URL : https://polvamvdom.ru/p-11_011_00004/ (дата обращения 23.08.2021).

172. Нефтепростанство и рынок: Термины и определения. Проблемно-ориентированный терминологический словарь / Составители Л.И. Ванчухина, Р.Р. Сафин, В.А. Салищев, Ю.А. Фролов, А. М. Шаммазов; под общ. ред. проф. А. М. Шаммазова и Ю. А. Фролова. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2000. – 488 с.

173. Федюкин, В.К. Основы квалиметрии. Управление качеством продукции: учеб. пособие / В.К. Федюкин. – М. : Филинь, 2004. – 296 с.

174. Азгальдов, Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров (основы квалиметрии). – М. : Экономика, 1982. – 256 с.

175. Деревянная мозаика TARSИ Дуб / ОБИ [сайт]. – URL: <https://www.obi.ru/plitka-mozaika/derevyannaya-mozaika-tarsi-dub-bezhevaya-29kh29-sm/p/4079794> (дата обращения 26.08.2021).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

**НОМЕНКЛАТУРА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА
ОБЛИЦОВОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Таблица А.1

Группа показателей	Подгруппа показателей	Комплексные и единичные показатели Р _i	
1 Технический уровень	1.1 Показатели назначения	1.1.1 Порода древесины	
		1.1.2 Плотность	
		1.1.3 Истираемость	
		1.1.4 Статическая твердость (сопротивление продавливанию)	
		1.1.5 Ударная твердость	
		1.1.6 Предел прочности при статическом изгибе	
		1.1.7 Коэффициент теплопередачи	
		1.1.8 Звукоизолирующая способность	
		1.1.9 Изменение линейных размеров	
		1.1.10 Разбухание по толщине за 24 ч.	
		1.1.11 Водопоглощение	
		1.1.12 Водостойкость клеевого соединения	
		1.1.13 Стойкость к короблению	
		1.1.14 Удельное сопротивление выдергиванию гвоздей из пласти	
		1.1.15 Удельное сопротивление выдергиванию шурупов из пласти	
		1.1.16 Пожароопасность	1.1.16.1 Горючесть
			1.1.16.2 Воспламеняемость
			1.1.16.3 Способность распространения пламени по поверхности
			1.1.16.4 Дымообразующая способность
1.1.16.5 Токсичность продуктов горения			
1.1.17 Биостойкость			
1.1.18 Атмосферостойкость, снижение прочности			
1.1.19 Линейная температурная усадка			

Группа показателей	Подгруппа показателей	Комплексные и единичные показатели P _i	
	1.2 Показатели конструктивности	1.2.1 Удельная масса	
		1.2.2 Геометрические размеры	
	1.3 Показатели надежности	1.3.1 Срок службы	
		1.3.2 Срок службы защитно-декоративного покрытия	
		1.3.3 Гарантийный срок хранения	
		1.3.4 Условия хранения	
		1.3.5 Коэффициент ремонтпригодности	
	1.4 Показатели уровня исполнения	1.4.1 Отклонения параметров деталей, сборочных единиц, изделий от	1.4.1.1 номинальных размеров
			1.4.1.2 плоскостности
			1.4.1.3 перпендикулярности
		1.4.2 Шероховатость поверхности	
		1.4.3 Влажность древесины деталей	
		1.4.4 Нормы ограничения пороков древесины и обработки	
		1.4.5 Прочность клеевых соединений	
		1.4.6 Заводская готовность	
	1.5 Показатели технологичности	1.5.1. Материалоемкость	1.5.1.1 древесины
			1.5.1.2 лакокрасочных и клеевых материалов
			1.5.1.3 вспомогательных материалов
		1.5.2 Трудоемкость изготовления	
		1.5.3 Энергоёмкость изготовления	
		1.5.4 Коэффициент унификации	
		1.5.5 Коэффициент сборности изделия	
		1.5.6 Степень механизации и автоматизации производства	
		1.5.7 Коэффициент сложности монтажа	
	1.6 Показатели транспортабельности	1.6.1 Материалоемкость упаковки	
		1.6.2 Удельная стоимость материала упаковки	
		1.6.3 Удельная трудоемкость упаковки	
		1.6.4 Коэффициент сохраняемости после транспортировки	
	1.6.5 Масса брутто единицы упаковки		
	1.6.6 Габаритные размеры единицы упаковки		
	1.6.7 Возможность контейнеризации, пакетирования		

Группа показателей	Подгруппа показателей	Комплексные и единичные показатели P _i		
	1.7 Показатели эргономичности	1.6.8 Коэффициент использования емкости и грузоподъемности транспортных средств		
		1.7.1 Суммарный показатель опасности выделяющихся химических веществ		
		1.7.2 Статическая электризация		
		1.7.3 Устойчивость к загрязнению		
		1.7.4 Коэффициент сложности ухода за изделием		
	1.8 Эстетические свойства	1.8.1 Внешний вид изделия	1.8.1.1 цвет	
			1.8.1.2 блеск	
			1.8.1.3еекстура	
			1.8.1.4 фактура	
			1.8.2 Архитектурная выразительность	
			1.8.3 Дефекты внешнего вида (сколы, щербин, зубрины)	
			1.8.4 Равномерность окраски	
			1.8.5 Цветоустойчивость	
	1.9 Свойства поверхности		1.9.1 Категория покрытия	
			1.9.2 Толщина ЛКП	
			1.9.3 Адгезия ЛКП	
			1.9.4 Химическая стойкость покрытия	
			1.9.5 Устойчивость к моющим средствам	
			1.9.5 Светопрочность покрытия	
1.9.6 Стойкость покрытия к царапанию				
2 Показатели стабильности качества	2.1 Среднеквадратическое отклонение размеров (размеров, влажности, шероховатости, толщины ЛКП)			
	2.2 Коэффициент стабильности технологических операций			
	2.3 Объем зарекламированной продукции в общем объеме поставки			
	2.4 Процент брака			
	2.5 Показатель соблюдения стандартов и технических условий			
3 Показатели экономической эффективности	3.1 Удельная себестоимость изделия			
	3.2 Рентабельность			
	3.3 Годовой народнохозяйственный экономический эффект			
4 Показатели конкурентоспособности	4.1 Патентная чистота			
	4.2 Патентная защита			
	4.3 Наличие экспорта			

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

ПЕРЕЧЕНЬ ФАКТОРОВ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ

Таблица Б.1

Этап обработки	Факторы
1 Обжиг	<i>1.1 Порода древесины</i>
	<i>1.2 Влажность заготовок</i>
	1.3 Ориентация заготовок в пространстве
	1.4 Приток воздуха
	1.5 Размеры и форма заготовок
	1.6 Количество обжигаемых сторон заготовок
	1.7 Шероховатость поверхности
	1.8 Наличие трещин
	<i>1.9 Скорость перемещения пламени по поверхности</i>
2 Браширование	<i>2.1 Порода древесины</i>
	<i>2.2 Вид распила заготовки</i>
	2.3 Влажность заготовок
	2.4 Вид инструмента обработки (жесткость щеток)
	2.5 Скорость вращения инструмента
	<i>2.6 Скорость подачи</i>
	<i>2.7 Выход инструмента</i>
3 Прессование	<i>3.1 Порода древесины</i>
	<i>3.2 Влажность заготовок</i>
	<i>3.3 Вид распила заготовки</i>
	<i>3.4 Степень прессования</i>
	3.5 Температура заготовок
	3.6 Скорость нагружения
	<i>3.7 Время выдержки под нагрузкой</i>
	<i>3.8 Наличие/ отсутствие пресс-формы</i>
	3.9 Смолистость
	3.10 Соотношение ранней и поздней зон
4 Термическая обработка	<i>4.1 Температура обработки</i>
	<i>4.2 Продолжительность обработки</i>
	4.3 Влажность агента обработки
	4.4 Давление в камере

Примечание: курсивом отмечены наиболее значимые факторы

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

МЕТОДИКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

а) Методика математической обработки экспериментальных данных, полученных в результате дробного факторного эксперимента типа 2^{4-1} [130].

Необходимо определить коэффициенты уравнения регрессии:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4. \quad (1)$$

Матрица плана ДФЭ приведена в таблице В.1. Полуреплика задана генерирующим соотношением $x_4 = -x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$. Ее разрешающая способность позволяет получить отдельные оценки четырех линейных эффектов b_1, b_2, b_3 и b_4 и три совместные оценки парных взаимодействий b_{12}, b_{13} и b_{14} . Тройными взаимодействиями можно пренебречь. Опыты проводили в случайной последовательности для исключения систематических ошибок.

Таблица В.1 – Матрица плана эксперимента типа 2^{4-1}

№ опыта	Факторы				Отклик
	x_1	x_2	x_3	x_4	y
1	-1	-1	-1	+1	\bar{y}_1
2	+1	-1	-1	-1	\bar{y}_2
3	-1	+1	-1	-1	\bar{y}_3
4	+1	+1	-1	+1	\bar{y}_4
5	-1	-1	+1	-1	\bar{y}_5
6	+1	-1	+1	+1	\bar{y}_6
7	-1	+1	+1	+1	\bar{y}_7
8	+1	+1	+1	-1	\bar{y}_8

Для каждой строки матрицы планирования вычисляли среднее арифметическое значение \bar{y}_j отклика по формуле:

$$\bar{y}_j = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n y_{ju}, \quad (2)$$

где n – число параллельных опытов;

u – номер параллельного опыта;

y_{ju} – значение параметра оптимизации в u -м параллельном опыте j -й строки матрицы.

Для оценки отклонения параметра отклика от его среднего значения для каждой строки матрицы вычисляли дисперсию s_j^2 по данным n параллельных опытов и находят ошибку s_j опыта:

$$s_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{u=1}^n (y_{ju} - \bar{y}_j)^2, \quad (3)$$

$$s_i = \sqrt{s_i^2}. \quad (4)$$

Далее, используя G -критерий Кохрена, проверяют гипотезу однородности дисперсий s_j^2 опытов по формуле (3.15):

$$G_p = s_{max}^2 / \sum_{j=1}^N s_j^2, \quad (5)$$

где s_{max}^2 – максимальная дисперсия;

N – число сравниваемых дисперсий.

Дисперсии однородны, если расчетное значение G -критерия не превышает табличного значения G -критерия [130].

Затем, если дисперсии однородны, вычисляют дисперсию s_y^2 воспроизводимости эксперимента по формуле:

$$s_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N s_j^2. \quad (6)$$

По результатам эксперимента коэффициенты модели (3.3) определяют по формулам, полученным в результате использования метода наименьших квадратов:

– свободный член:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \bar{y}_j, \quad (7)$$

– коэффициенты, характеризующие линейные эффекты:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} \bar{y}_j, \quad (8)$$

– коэффициенты, характеризующие эффекты взаимодействия:

$$b_{il} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} x_{lj} \bar{y}_j, \quad (9)$$

где N – число опытов;

i, l – номер факторов;

x_{ij} и x_{lj} – кодированное значение факторов i и l в j -м опыте.

После вычислений коэффициентов модели, проверяют их значимость.

При проверке значимости коэффициентов регрессии сравнивают его абсолютную величину с доверительным интервалом. Для определения доверительного интервала Δb_i вычисляют дисперсию каждого i -го коэффициента регрессии:

$$s_{b_i}^2 = \frac{1}{nN} s_y^2, \quad (10)$$

Доверительный интервал Δb_i определяют по формуле:

$$\Delta b_i = \pm t_{\tau} s_{b_i}, \quad (11)$$

где t_m – табличное значение критерия Стьюдента при принятом уровне значимости.

Коэффициент значим, если его абсолютная величина больше доверительного интервала. Статистически незначимые коэффициенты могут быть исключены из уравнения [130].

После расчета коэффициентов модели и проверки их значимости определяют дисперсию адекватности s_{ad}^2 по формуле 3.22. Данная величина

характеризует рассеяние эмпирических значений y относительно расчетных по найденному уравнению регрессии.

$$s_{\text{ад}}^2 = n \sum_{j=1}^N (\bar{y}_j - \hat{y}_j)^2 / (N - (k + 1)), \quad (12)$$

где \bar{y}_j – среднее арифметическое значение параметра оптимизации в j -м опыте;

\hat{y}_j – значение параметра оптимизации, вычисленное по модели для условий j -го опыта;

$N - (k + 1)$ – число степеней свободы, k – число факторов.

На последнем этапе обработки результатов эксперимента проверяется гипотеза адекватности найденной модели по F -критерию Фишера:

$$F_p = \frac{s_{\text{ад}}^2}{s_y^2}. \quad (13)$$

Если выполняется условие неравенства $F_p < F_T$ для принятого уровня значимости 0,05 и соответствующих чисел степеней свободы, то модель считают адекватной, иначе гипотеза адекватности модели отвергается.

б) Методика математической обработки экспериментальных данных, полученных в результате ПФЭ типа 3^2 .

Если предполагается, что влияние факторов на зависимую переменную не линейное и процесс может быть описан полиномом второй степени:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k + b_{12} x_1 x_2 + \dots + b_{(k-1)k} x_{(k-1)} x_k + b_{11} x_1^2 + \dots + b_{kk} x_k^2, \quad (14)$$

то реализуют эксперимент по плану второго порядка, где каждый фактор варьируют на трех уровнях.

Матрица плана ПФЭ типа 3^2 представлена в таблице В.2.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводят по аналогичной с обработкой результатов ДФЭ методике [130].

Таблица В.2 – Матрица плана эксперимента типа 3^2 .

№ опыта	Факторы		Отклик
	x_1	x_2	y
1	-1	-1	\bar{y}_1
2	-1	0	\bar{y}_2
3	-1	+1	\bar{y}_3
4	0	-1	\bar{y}_4
5	0	0	\bar{y}_5
6	0	+1	\bar{y}_6
7	+1	-1	\bar{y}_7
8	+1	0	\bar{y}_8
9	+1	+1	\bar{y}_9

в) Методика математической обработки экспериментальных данных, полученных в результате полного факторного эксперимента типа 2^4 [130].

Для исследования заготовок из древесины ели выбран ПФЭ типа 2^4 , в котором один из факторов является качественным. Матрица плана эксперимента представлена в таблице В.3.

Таблица В.3 – Матрица плана эксперимента типа 2^4 .

№ опыта	Факторы				Отклик
	x_1	x_2	x_3	x_4	y
1	-1	-1	-1	-1	\bar{y}_1
2	-1	-1	-1	+1	\bar{y}_2
3	-1	-1	+1	-1	\bar{y}_3
4	-1	-1	+1	+1	\bar{y}_4
5	-1	+1	-1	-1	\bar{y}_5
6	-1	+1	-1	+1	\bar{y}_6
7	-1	+1	+1	-1	\bar{y}_7
8	-1	+1	+1	+1	\bar{y}_8
9	+1	-1	-1	-1	\bar{y}_9

№ опыта	Факторы				Отклик
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	y
10	+1	-1	-1	+1	\bar{y}_{10}
11	+1	-1	+1	-1	\bar{y}_{11}
12	+1	-1	+1	+1	\bar{y}_{12}
13	+1	+1	-1	-1	\bar{y}_{13}
14	+1	+1	-1	+1	\bar{y}_{14}
15	+1	+1	+1	-1	\bar{y}_{15}
16	+1	+1	+1	+1	\bar{y}_{16}

Статистическую обработку экспериментальных данных ПФЭ типа 2^4 проводят по выше описанной методике. После получения моделей откликов важным является их последующий анализ.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(обязательное)

МЕТОДИЧЕСКИЕ СЕТКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Таблица Г.1 – Методическая сетка проведения ДФЭ типа 2⁴⁻¹ по определению зависимостей физико-механических свойств заготовок и показателей качества облицовочных изделий от параметров режимов прессования и термической обработки

Исследуемый процесс	Постоянные факторы		Переменные факторы		Выходной параметр	Количество опытов	Количество повторений опытов	Количество наблюдений	Общее количество наблюдений
	Наименование, единицы измерения	Значение	Наименование, единицы измерения	Значение					
Прессование, термическая обработка	Порода	Сосна	Угол наклона волокон, град	30; 45	Степень уплотнения	8	2	1	16
	Шероховатость поверхности (до обработки) R _{птmax} , мкм	1200	Влажность, %	7; 17	Твердость лицевой поверхности	8	2	3	48
			Степень прессования, %	50; 55					
	Усилие прессования, Н	40×10 ³	Температура ТО, °С	150; 180	Шероховатость обработанной поверхности	8	2	3	48
	Скорость прессования, мм/с	1			Боковое расширение	8	2	3	48
	Время выдержки, с	5			Показатель водопоглощения	8	2	3	48
	Наличие пресс-формы	нет							
	Продолжительность ТО, ч	1							

Таблица Г.2 – Методическая сетка проведения эксперимента типа ПФЭ 3^2 по определению зависимостей физико-механических свойств заготовок и показателей качества облицовочных изделий от параметров режимов прессования и термической обработки

Исследуемый процесс	Постоянные факторы		Переменные факторы		Выходной параметр	Количество опытов	Количество повторений опытов	Количество наблюдений	Общее количество наблюдений
	Наименование, единицы измерения	Значение	Наименование, единицы измерения	Значение					
Прессование, термическая обработка	Порода	Сосна	Угол наклона волокон, град.	10; 20; 30	Степень уплотнения	9	3	1	27
	Влажность заготовок, %	8	Степень прессования, %	40; 50; 60	Твердость лицевой поверхности	9	3	3	81
	Шероховатость поверхности (до обработки) R_{max} , МКМ	1200			Шероховатость обработанной поверхности	9	3	3	81
	Усилие прессования, Н	50×10^3	Боковое расширение	9	3	3	81		
	Скорость прессования, мм/с	1	Показатель водопоглощения	9	3	3	81		
	Время выдержки под нагрузкой, с	5							
	Наличие пресс-формы	нет							
	Продолжительность ТО, ч	1							
	Температура ТО, °С	180							

Таблица Г.3 – Методическая сетка проведения ПФЭ типа 2⁴ по определению зависимостей физико-механических свойств заготовок и показателей качества облицовочных изделий от параметров режимов прессования и термической обработки

Исследуемый процесс	Постоянные факторы		Переменные факторы		Выходной параметр	Количество опытов	Количество повторений опытов	Количество наблюдений	Общее количество наблюдений
	Наименование, единицы измерения	Значение	Наименование, единицы измерения	Значение					
Прессование, термическая обработка	Порода	Ель	Угол наклона волокон, град.	30; 45	Степень уплотнения	16	3	1	48
	Влажность заготовок, %	8	Степень прессования, %	40; 50	Твердость лицевой поверхности	16	3	3	144
	Шероховатость поверхности (до обработки) R _{пmax} , МКМ	1200	Температура ТО, °С	150; 180	Шероховатость обработанной поверхности	16	3	3	144
	Усилие прессования, Н	50×10 ³	Вид пласти	внутренняя; наружная	Боковое расширение	16	3	3	144
	Скорость прессования, мм/с	1			Показатель водопоглощения	9	3	3	144
	Время выдержки, с	5							
	Наличие пресс-формы	да							
	Продолжительность ТО, ч	1							

Таблица Г.4 – Результаты ДФЭ типа 2⁴⁻¹ (порода древесины – сосна) по определению зависимостей физико-механических свойств заготовок и показателей качества облицовочных изделий от параметров режимов прессования и термической обработки

№ опыта	Входные параметры				Зависимые переменные														
	α, град (X ₁)	W, % (X ₂)	ε, % (X ₃)	Т., °С (X ₄)	Степень уплотнения, γ (Y ₁)			Твердость лицевой поверхности, HRR (Y ₂)			Боковое расширение β, % (Y ₃)			Шероховатость поверхности R _{m max} , мкм (Y ₄)			Показатель водопоглощения G, с (Y ₅)		
					\bar{y}	s_i^2	s_i	\bar{y}	s_i^2	s_i	\bar{y}	s_i^2	s_i	\bar{y}	s_i^2	s_i	\bar{y}	s_i^2	s_i
1	30	7	50	180	140	18	4,24	88,8	480,50	21,920	1,9	0	0	325	1250	35,36	659	613	24,76
2	30	17	50	150	119	18	4,24	89,2	112,50	10,607	0,75	0,125	0,35	450	5000	70,71	734	144185	379,72
3	45	7	50	150	118	18	4,24	70,5	0,08	0,283	10,25	3,125	1,77	525	1250	35,36	166	4234	65,07
4	45	17	50	180	123	1	1,00	94,2	2,64	1,626	5,25	0,045	0,21	525	11250	106,07	745	4418	66,47
5	30	7	55	150	138	13	3,61	126,5	297,68	17,253	2,8	0,980	0,99	300	0	0	691	30752	175,36
6	30	17	55	180	127	5	2,24	114,8	684,50	26,163	1,3	0	0	325	1250	35,36	1120	107185	327,39
7	45	7	55	180	122	25	5,00	146,8	2,65	1,628	11,65	4,805	2,19	550	5000	70,71	339	11713	130,82
8	45	17	55	150	122	2	1,41	97,5	1,28	1,131	10,8	0,080	0,28	500	0	0	238	25765	160,51

Таблица Г.5 – Результаты ПФЭ типа 3^2 (порода древесины – сосна) по определению зависимостей физико-механических свойств заготовок и показателей качества облицовочных изделий от параметров режимов прессования и термической обработки

№ опыта	Входные параметры		Зависимые переменные				
	α , град (X_1)	ε , % (X_3)	Степень уплотнения, γ , % (Y_1)	Твердость лицевой поверхности, ΔHRR (Y_2)	Боковое расширение β , % (Y_3)	Шероховатость поверхности $R_{m\ max}$, мкм (Y_4)	Показатель водопоглощения G , с (Y_5)
1	10	40	130,25	61,00	4,60	250	170
2	10	50	139,51	83,7	5,06	267	169
3	10	60	160,23	85,2	5,78	263	160
4	20	40	121,07	60,8	6,87	203	790
5	20	50	132,60	65,2	8,87	207	1081
6	20	60	146,93	70,3	12,04	217	958
7	30	40	119,03	68,7	8,68	350	278
8	30	50	130,18	83,5	10,77	290	256
9	30	60	150,05	82,1	12,63	267	243

Таблица Г.6 – Результаты ПФЭ типа 2⁴ (порода древесины – ель) по определению зависимостей физико-механических свойств заготовок и показателей качества облицовочных изделий от параметров режимов прессования и термической обработки

№ опыта	Входные параметры				Зависимые переменные				
	α , град (x_1)	ε , % (x_2)	T , °С (x_3)	θ (x_4)	Степень уплотнения, γ , % (y_1)	Твердость лицевой поверхности, HRR (y_2)	Боковое расширение β , % (y_3)	Шероховатость поверхности $R_{m\ max}$, мкм (y_4)	Показатель водопоглощения G , с (y_5)
1	30	40	150	Внутр.	131,74	106,5	0,98	183,3	398
2	30	40	180	Внутр.	129,10	99,7	0,24	193,3	1479
3	30	50	150	Внутр.	135,73	107,3	1,79	183,3	418
4	30	50	180	Внутр.	133,42	105,2	1,95	210,0	1647
5	30	40	150	Наружн.	128,80	107,7	1,06	183,3	415
6	30	40	180	Наружн.	128,12	107,7	0,65	160,0	1810
7	30	50	150	Наружн.	139,04	125,5	2,52	133,3	406
8	30	50	180	Наружн.	149,09	125,4	2,2	166,7	307
9	45	40	150	Внутр.	126,44	100,5	0,89	200,0	1028
10	45	40	180	Внутр.	129,18	110,5	1,70	150,0	1680
11	45	50	150	Внутр.	143,51	124,2	0,48	166,7	1062
12	45	50	180	Внутр.	138,18	102,7	1,78	200,0	995
13	45	40	150	Наружн.	109,35	65,5	0,40	293,3	971
14	45	40	180	Наружн.	109,03	65,1	0,65	333,3	1456
15	45	50	150	Наружн.	118,74	72,3	0,81	250,0	1107
16	45	50	180	Наружн.	124,77	74,2	1,29	273,3	1855

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(справочное)

ДАННЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ КАЧЕСТВА ОБЛИЦОВОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Таблица Д.1 – Определение коэффициентов качества по единичным показателям

№	Показатель качества	Единицы измерения	Значение параметров				K_i	
			предельные		номинальное	базовое		оцениваемое
1	Статическая твердость лицевой поверхности	HRR	60	180	110	120	115	0,94
2	Стабильность размеров по толщине	%	0,8	1,2	1	1	1,1	0,91
3	Сложность ухода за изделием	доли единицы	0	1,0	0,5	0,8	0,7	1,14
4	Удельная себестоимость	руб./м ²	500	6000	3250	5036	3091	1,63

Таблица Д.2 – Определение коэффициента качества по группе «Конструктивные показатели»

№	Показатель качества	Единицы измерения	Значение параметров				K_i (K_{ki})	
			предельные		номинальное	базовое		оцениваемое
1	Удельная масса	кг/м ²	5	15	10	9,3	8,2	1,25
2	Размеры изделия	мм	200×200	500×500	350×350	300×300	300×300	1,00
3	Шероховатость поверхности	мкм	50	400	230	300	220	1,10
$K_{к2}$							1,16	

Таблица Д.3 – Определение коэффициента качества по группе показателей
«Точность изготовления»

№	Показатель качества	Единицы измерения	Значение параметров				K_i (K_{ki})	
			предельные		номинальное	базовое		оцениваемое
1	Отклонения от номинальных размеров	мм	0	1	0,5	0,5	0,5	1
2	Отклонения от плоскостности	мм	0	3	1,5	1	2	0,69
3	Отклонения от перпендикулярности	град.	0	3	1,5	1	1,5	0,75
K_{k3}								0,81

Таблица Д.4 – Определение коэффициента качества по группе показателей
«Пожароопасность»

№	Показатель качества	Единицы измерения	Значение параметров				K_i (K_{ki})	
			предельные		номинальное	базовое		оцениваемое
1	Горючесть	Класс	Г1	Г4	Г2	Г4	Г4	1
2	Воспламеняемость	Класс	В1	В3	В2	В3	В3	1
3	Способность распространения пламени по поверхности	Класс	РП1	РП4	РП2	РП4	РП4	1
4	Дымообразующая способность	Класс	Д1	Д3	Д3	Д2	Д2	1
5	Токсичность продуктов горения	Класс	Т1	Т4	Т3	Т3	Т3	1
K_{k5}								1

Таблица Д.5 – Определение коэффициента качества по группе «Показатели эстетичности»

№	Показатель качества	Единицы измерения	Значение параметров				K_i (K_{ki})	
			предельные		номинальное	базовое		оцениваемое
1	Цвет	Балл	1	10	6	9	8	0,89
2	Блеск	Балл	1	10	6	7	8	1,07
3	Текстура	Балл	1	10	6	7	9	1,16
4	Фактура	Балл	1	10	6	9	8	0,89
5	Равномерность окраски	Балл	1	10	6	9	7	0,86
							$K_{к6}$	0,97

Таблица Д.6 – Определение коэффициента качества по группе «Устойчивость к внешним воздействиям»

№	Показатель качества	Единицы измерения	Значение параметров				K_i (K_{ki})	
			предельные		номинальное	базовое		оцениваемое
1	Атмосферостойкость	Балл	1	10	6	7	6	0,89
2	Цветостойкость	Балл	1	10	6	6	4	0,68
							$K_{к8}$	0,79

ПРИЛОЖЕНИЕ Е
(справочное)
ПАТЕНТЫ НА ИЗОБРЕТЕНИЯ



ПРИЛОЖЕНИЕ Ж
(справочное)
ГРАМОТЫ И СЕРТИФИКАТЫ



Официальная
поддержка:



Правительство
Свердловской
области



Администрация
города
Екатеринбурга

**2020
EXPO-
URAL**

6-8 октября 2020
Россия, Екатеринбург

ОТРАСЛЕВАЯ ВЫСТАВКА - ФОРУМ

CERTIFICATE

ТАРБЕЕВА НАТАЛЬЯ АЛЕКСАНДРОВНА

приняла активное участие
в XV международном евразийском симпозиуме

**ДЕРЕВООБРАБОТКА:
ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ, МЕНЕДЖМЕНТ XXI ВЕКА**

с докладом на тему:

**«Сравнительный анализ
комбинированных способов
декоративно-упрочняющей обработки
деревянных заготовок»**

Ректор УГЛТУ

Е.П. Платонов



Генеральный директор

МВК-Урал
Е.В. Ревенко



УГЛТУ

**МВК
УРАЛ**
МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ - УРАЛ

Официальная
поддержка:



Правительство
Свердловской
области



Администрация
города
Екатеринбурга

**GRAND
EXPO-
URAL**

21-24 сентября 2021
Россия, Екатеринбург

НЕДЕЛЯ ОТРАСЛЕВЫХ ВЫСТАВОК

SERTIFICATE

ТАРБЕЕВА НАТАЛЬЯ АЛЕКСАНДРОВНА

приняла активное участие в организации и проведении

XVI международного евразийского симпозиума

«Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века»

21-24 сентября 2021 г. в г. Екатеринбурге с докладом

«Механизм формирования модифицированного поверхностного слоя
заготовок из древесины»

Е. П. Платонов

Ректор
Уральского государственного
лесотехнического университета



**LESPROM-URAL
Professional**
Russia, Ekaterinburg

Е. В. Ревенко

Генеральный директор
Межрегиональной
выставочной компании-Урал



**МВК
УРАЛ**
МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ - УРАЛ

ПРИЛОЖЕНИЕ И
(справочное)
АКТЫ И СПРАВКИ ОБ АПРОБАЦИИ И ВНЕДРЕНИИ

УТВЕРЖДАЮ

Финансовый директор
ООО ПКП «Алмис»
Л.А. Киселёва



АКТ
промышленной апробации

г. Киров «16» июня 2021 г.

Комиссия в составе:

- Девятьяров Р. Н. – заместитель генерального директора по производству ООО ПКП «Алмис»,
- Булычев В. М. – технический директор ООО ПКП «Алмис»,
- Чубаков М. А. – технолог ООО ПКП «Алмис»

составила настоящий Акт о том, что в период с 10.05.2021 по 11.06.2021 на производственной площадке ООО ПКП «Алмис», расположенной по адресу Кировская область, г. Слободской, пер. Бакулевский, д.2, была проведена промышленная апробация опытной технологии изготовления облицовочных изделий на основе вторичного древесного сырья, разработанной аспирантом кафедры машин и технологии деревообработки ВятГУ Тарбеевой Н.А.

1. Объект испытаний

Объектом производственных испытаний явилась новая технология изготовления облицовочных изделий на основе вторичного древесного сырья (кусковых отходов деревообработки и лесопиления), включающая совокупность операций обжига, браширования, прессования и термической обработки.

2. Цель и задачи

Целью промышленной апробации являлось подтверждение эффективности опытной технологии изготовления облицовочных изделий на основе вторичного древесного сырья.

Задачи исследования:

- подтверждение возможности использования кусковых отходов лесопиления и деревообработки, образующихся в процессе деятельности предприятия для изготовления облицовочных изделий за счет предложенного способа комбинированной обработки, основанного на совокупности операций обжига, браширования, прессования и термической обработки;
- определение эффективности использования кусковых отходов, образующихся на предприятии;
- определение соответствия качества полученных облицовочных изделий требованиям стандартов на отделочные материалы и облицовочные изделия.

3. Условия апробации

3.1 Характеристика обрабатываемых заготовок:

- порода древесины – сосна;
- влажность 14±2 %;
- вид используемого сырья – кусковые отходы, образующиеся в результате производства основной продукции предприятия.

3.2 Требования к изготавливаемой продукции:

- тип изделий – облицовочная плитка, облицовочные панели;
- минимальные размеры деталей – 6×20×20 мм;
- влажность деталей – 8±3 %;
- шероховатость лицевых поверхностей по параметру R_{max} (ГОСТ 7016) – не более 300 мкм;
- предельные отклонения по ГОСТ 6449.5
 - по длине ± 0,2 мм;
 - по ширине ± 0,2 мм;
 - по толщине ± 0,5 мм;
- пороки древесины – сучки и трещины не допускаются, прочие в соответствии с ГОСТ 8242 для деталей под прозрачное покрытие.

3.3 Режимы обработки

3.3.1 обжигом:

- скорость перемещения пламени горелки по поверхности 1 м/мин;
- количество обжигаемых сторон заготовки – 5.

3.3.2 брашированием:

- тип щеток – стальная с диаметром ворса 0,25 мм; сизалева;

2

- скорость вращения щеток – 3500 об/мин;
- величина выхода щеток – 1,2 мм;
- скорость подачи - 5 м/мин.

3.3.3 прессованием:

- температура заготовок и инструмента – 25 °С;
- использование ограничителей по ширине заготовок – $b+0,2$ мм;
- степень прессования – 50 %;
- давление прессования – не более 40 МПа.

3.3.4 термической обработкой

- температура обработки – 180 °С;
- продолжительность обработки – 1 ч;
- агент обработки – воздух относительной влажности 50 %.

4. Результаты испытаний

Серия проведенных испытаний показала следующие результаты.

4.1 Предложенная технология комбинированной обработки заготовок обжигом, брашированием, прессованием и термической обработкой позволяет изготавливать облицовочные изделия на основе вторичного древесного сырья за счет комплексного повышения физико-механических и декоративных свойств заготовок.

4.2 В качестве основного сырья для изготовления облицовочных изделий может быть использован горбыль, рейки и оторцовки досок размерами от 12×25×200 мм, влажностью 12±4 %, образующиеся в результате деятельности предприятия. С учетом вырезки сучков и дефектных мест заготовок коэффициент полезного выхода составляет не менее 30 %. Расход сырья на 1 м² облицовочных изделий составляет не более 0,03 м³.

4.3 Использование предложенной технологии обеспечивает производство нетипичной для рынка Кировской области продукции с высокой добавленной стоимостью.

4.4 Качество деталей облицовочных изделий соответствует требованиям ГОСТ 8242. Предельные отклонения деталей соответствуют среднему классу точности ±t/2 по ГОСТ 6449.5. Количество брака при изготовлении деталей облицовочных изделий в виде сколов на лицевой поверхности и разнотолщинности не превышает 4 %.

5. Заключение

Проведенная промышленная апробация показала, что предложенная технология изготовления облицовочных изделий эффективна и позволяет использовать кусковые отходы деревообработки и лесопиления для изготовления продукции высокого качества. Внедрение технологии изготовления облицовочных изделий на основе вторичного древесного сырья в производственные условия является целесообразным.

Члены комиссии:



Р.Н. Девятьяров

В.М. Булычев

М.А. Чубаков

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Вятский государственный университет»
(ВятГУ)

СПРАВКА

31 августа 2021 года

№ 1

г. Киров

**О внедрении основных научных результатов диссертации
соискателя ученой степени Тарбеевой Натальи Александровны**

Настоящая справка подтверждает, что материалы диссертации Тарбеевой Натальи Александровны на тему «Ресурсосберегающая технология изготовления облицовочных изделий из древесины», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 05.21.05 Древесиноведение, технология и оборудование деревопереработки, используются в учебном процессе кафедры «Машины и технология деревообработки» при изучении дисциплин по образовательной программе магистратуры по направлению подготовки 35.04.02 Технология лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств, профиля «Технология деревообработки».

В частности, в работу кафедры «Машины и технология деревообработки» внедрены результаты, представленные в таблице.

№ п/п	Результат исследования	Область применения	Подтверждающий документ
1	- Систематизация направлений и способов переработки кусковых отходов лесопиления и деревообработки (раздел 1).	Дисциплина «Основы комплексной переработки древесины», модули «Характеристика сырьевой базы и направлений комплексной переработки древесного сырья», «Технологии изготовления продукции из древесных отходов»: - Л.1.1 Продукция из древесных отходов; - Р2.1 Обоснование направлений и технологии утилизации отходов лесопиления.	РПД «Основы комплексной переработки древесины» ID 115973
2	- Теоретическое и экспериментальное обоснование процесса комбинированной обработки на основе обжига, прессования и термической обработки (раздел 2-4).	Дисциплина «Прогрессивные технологии деревообработки», модуль «Пластическое деформирование древесины»: - Л.2.1 Применение технологии модифицирования для придания особых свойств древесине; - Л.2.2 Технологические основы получения уплотненной древесины.	РПД «Прогрессивные технологии деревообработки» ID 115974

№ п/п	Результат исследования	Область применения	Подтверждающий документ
3	Технико-экономическое обоснование технологии изготовления облицовочных изделий на основе вторичного древесного сырья (раздел 5).	Дисциплина «Проектная деятельность», модуль «Исполнение проекта»: - ПЗ.1 Инициация и старт проекта; - ПЗ.2 Формирование целей и планирование проекта - ПЗ.3 Управление персоналом и коммуникациями проекта; - СЗ.1 Исполнение проекта по тематике деревообрабатывающей отрасли.	РПД «Проектная деятельность» ID 93395

Использование выводов и предложений диссертации Тарбеевой Натальи Александровны в работе кафедры «Машины и технология деревообработки» способствует повышению уровня качества подготовки магистров по направлению 35.04.02.

Проректор по образованию

С.В. Никулин

Декан факультета технологий,
инжиниринга и дизайна

В.А. Лисовский

И.о. зав. кафедрой «Машины и технология
деревообработки»

О.А. Рублева

