

Рублева Ольга Анатольевна

**ФОРМИРОВАНИЕ ШИПОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ
ДЕТАЛЕЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ НА ОСНОВЕ
ТЕХНОЛОГИИ ТОРЦОВОГО ПРЕССОВАНИЯ**

05.21.05 – Древесиноведение, технология
и оборудование деревопереработки

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Диссертационная работа выполнена на кафедре машин и технологии деревообработки ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» и на кафедре управления в технических системах и инновационных технологий ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет».

Научный консультант **Гороховский Александр Григорьевич**
Доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», заведующий кафедрой управления в технических системах и инновационных технологий

Официальные оппоненты **Бирман Алексей Романович**
Доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова», профессор кафедры технологических процессов и машин лесного комплекса

Зарипов Шакур Гаянович
Доктор технических наук, доцент, Лесосибирский филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», профессор кафедры технологии лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств

Исаев Сергей Петрович
Доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», профессор кафедры технологии лесопользования и ландшафтного строительства

Ведущая организация ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»

Защита диссертации состоится 26 марта 2021 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.02 при ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, зал заседаний – аудитория 401.

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

Автореферат разослан «___» _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, доцент

Шишкина Елена Евгеньевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Задачи повышения эффективности производства, в том числе качества и конкурентоспособности выпускаемой продукции, а также рационального использования природных ресурсов, включая комплексное использование древесного сырья, поставлены перед промышленностью России в ряде документов по основам государственной политики и стратегическому планированию Российской Федерации: Основах государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года, Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года, Основах государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года. Поставленные задачи интенсифицируют поиск новых технологических решений в деревообрабатывающей отрасли.

Одним из направлений экономии ресурсов и обеспечения высокого качества клееных, мебельных и столярно-строительных изделий является сращивание заготовок по длине. Конструкция и способ изготовления клевого соединения оказывает влияние на технологичность и эксплуатационные характеристики изделий.

Формообразование профиля шипов является важным этапом технологического процесса изготовления соединений. Применяемые на практике способы формирования соединений на основе технологической операции фрезерования несовершенны в связи с их высокой энергозатратностью и трудоемкостью, наличием технологических ограничений по размерам обрабатываемых заготовок и геометрическим параметрам шипов, недостаточной точностью обработки, необходимостью удаления отходов при осуществлении операции, высокой стоимостью инструмента и сложностью его подготовки.

Перспективным направлением совершенствования технологии сращивания по длине является разработка безотходных способов формирования элементов шиповых соединений высокого качества с использованием простого по конструкции и износостойкого инструмента. Разработка теоретических основ и методов повышения эффективности изготовления шиповых соединений высокого качества представляет собой актуальную научно-техническую проблему, имеющую важное хозяйственное значение для деревообрабатывающей промышленности.

Степень разработанности темы исследования.

Исследованиями процессов формирования и проблем качества клеевых соединений древесины занимались А.Н. Чубинский, Л.М. Ковальчук, А.С. Фрейдин, К.Т. Вуба, Ю.М. Иванов, С.Н. Пластинин, В.М. Попов, В.А. Куликов, Л.М. Сосна, Н.А. Гончаров, В.М. Хрулев, Г.С. Варанкина, А.А. Тамби, В.Н. Волынский, А.Г. Гороховский, С.П. Исаев, Ш.Г. Зарипов, M.D. Strickler, R.W. Jokerst, H.S. Ryu, A.N. Tankut, Y.Z. Erdil, A. Kasal, E. Naviarova, R.L. Aman, T. Biechele, S. Prekrat, J. Smardzewski, E. Likos,

C.A. Eckelman, A. Frangi, I. Barboutis, V. Vasileiou, I. Džinčić, D. Živanić, M. Brabec, M. Derikvand, V.S. Kumar, C.M. Sharma, A.J. Lara-Bocanegra, W.G. Hu и др. Выполненные исследования позволили обосновать требования к качеству шиповых соединений древесины, выявить критерии их эффективности и основные направления совершенствования технологических процессов их изготовления.

Исследования процессов прессования и деформационных свойств древесины проводили П.Н. Хухрянский, Ф.П. Белянкин, Н.Ф. Лизунков, А.Ю. Рейхардт, П.Н. Житков, В.Е. Москалева, В.И. Бочкарев, К.И. Кириллов, В.Н. Бильтриков, Н.И. Винник, А.Г. Ракин, Б.И. Огарков, А.В. Апостол, Ю.Г. Лапшин, Т.П. Хухрянская, Б.Н. Уголев, Н.А. Модин, В.А. Шамаев, В.И. Мелехов, Л.Б. Лихачева, А.Р. Бирман, О.Р. Дорняк, F.P. Kollmann, Y. Ito, M. Tanahashi, E.V. Kultikova, N. Morsing, P. Navi, F. Girardet, J. Blomberg, B. Persson, J. Hesselbach, H.W. Hoffmeister, B. Moheby, H. Sharifnia-Dizboni, L.K. Vami, L. Rautkari, K. Laine, S.A. Ahmed, T. Morén, M. Gaff, J. Gáborík, A. Kutnar, M. Šernek, A. Darwis, I. Wahyudi, W. Dwianto и др. Большинство работ посвящено исследованию процессов прессования древесины поперек волокон и определению свойств прессованной древесины. В то же время не решен ряд задач по исследованию возможностей и определению требований к режимам торцового прессования.

Проблемы оценки эффективности технических решений исследовали Ю.П. Анискин, Н.К. Моисеева, А.В. Проскураков, Н.Н. Моисеев, И.В. Оптнер, И.В. Блауберг, А.И. Уемов, В.А. Блюмберг, Г.Г. Азгальдов, В.Ф. Глушко, Ф.И. Перегудов, А.В. Гличев, Ф.П. Тарасенко, А.И. Орлов, В.Ю. Дубов, В.Д. Ногин, А.Р. Бриль, В.Н. Андреев, А.Н. Катулев и др. Основные положения квалиметрии, теория и практика ее использования изложены в работах Г.Г. Азгальдова, Ю.П. Адлера, В.Г. Белика, Г.Н. Бобровникова, А.В. Гличева, В.В. Кочетова, Г.Н. Солода, А.В. Субето, А.Г. Сулова, М.В. Федорова, И.Ф. Шишкина, В.К. Федюкина и др. Выполненные исследования позволили сформулировать основные принципы и положения теории оценки эффективности технических решений, а также основные задачи, решение которых необходимо для разработки методики оценки эффективности технологий сращивания.

Цель работы – повышение эффективности процесса сращивания по длине деталей из древесины.

Объект исследования – клеевые шиповые соединения деталей из древесины.

Предмет исследования – процесс формирования шиповых соединений на основе способа торцового прессования.

Научной новизной обладают:

1. Теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение закономерностей механизма формообразования и параметров технологического процесса формирования проушин способом торцового прессования.

2. Математическое описание взаимосвязи параметров режима торцового прессования прямоугольных проушин с показателями их качества и энергоси-

ловыми показателями процесса, позволяющее определить рациональные значения параметров технологических режимов.

3. Теоретическое и экспериментальное обоснование качества соединений заготовок из древесины при склеивании на прямоугольные прессованные шипы.

4. Методика оценки эффективности шиповых соединений и технологий их изготовления в соответствии с заданными потребительскими требованиями.

Теоретическая значимость работы.

Теоретическая значимость исследования заключается в развитии теорий пластического деформирования и прессования древесины применительно к описанию процесса местного торцового прессования, в раскрытии сущности процесса формирования рельефа при внедрении пуансона вдоль волокон.

Систематизация технологических факторов, влияющих на точность изготовления и эксплуатационные свойства шиповых соединений древесины, является основой для разработки мер по повышению эффективности производства клеевых шиповых соединений.

Практическая значимость.

Практическая значимость заключается в разработке:

- технологии сращивания древесины на прямоугольные прессованные шипы;
- конструкции штампового инструмента, позволяющего формировать элементы шиповых соединений в виде одинарных прямоугольных проушин или многократных шипов;
- методики обоснованного выбора геометрических параметров соединений и оценки их эффективности в зависимости от назначения и требований к конечным изделиям.

Разработанный способ торцового прессования элементов шиповых соединений позволяет повысить эффективность технологии изготовления шиповых соединений за счет обеспечения высокого качества изготовления шипов путем прессования, исключения энергозатрат на удаление отходов, снижения стоимости инструмента и затрат на его подготовку.

Методология и методы исследования.

Исследования проводились с использованием системного подхода, включающего методы теории прессования древесины, механики твердого деформируемого тела и анизотропных материалов; положения реологии, теории склеивания древесины, теории взаимозаменяемости; имитационное моделирование на основе метода конечных элементов; методы математического моделирования и многокритериальной параметрической оптимизации на основе численных методов решения многомерных задач с ограничениями; морфологический анализ, положения квалиметрии.

Экспериментальные исследования и обработку данных проводили с использованием методов планирования экспериментов и статистического анализа. Оснащение экспериментальных исследований соответствовало современным требованиям. Для исследования структуры пластически деформированной зоны

использовали методы электронного сканирования и микросъемки. Методики определения характеристик свойств древесины и показателей качества шиповых соединений основывались на требованиях ГОСТ 15612-2013, ГОСТ 15613.5-79, ГОСТ 15613.4-78, ГОСТ 16483.23-73, ГОСТ 16483.3-84, ГОСТ 16483.10-73, ГОСТ 16483.17-81, ГОСТ 16588-91, ГОСТ 25346-2013, ГОСТ 33080-2014, ГОСТ 33081-2014, ГОСТ 33120-2014, ГОСТ 6449.1-82, ГОСТ 9013-59, ГОСТ 9330-2016.

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

Научные положения, выносимые на защиту.

1. Качество прессованных проушин определяется свойствами древесины заготовок и параметрами режимов торцового прессования, что достигается путем обеспечения регулируемого протекания процесса местного пластического деформирования древесины при скалывании и смятии вдоль волокон.

2. Энергосиловые показатели процесса холодного торцового местного статического прессования и показатели качества полученных проушин зависят от влажности древесины заготовки и размерных характеристик проушин, которые могут быть оптимизированы.

3. При формировании элементов шиповых соединений способом торцового прессования обеспечивается технологическая стабильность процесса, что позволяет получить заданные прочностные характеристики без значимого увеличения энергозатрат на изготовление соединения.

4. Использование возможностей технологии торцового прессования для формирования точных шипов малых толщин позволяет повысить эффективность процесса сращивания, что подтверждается комплексной оценкой, учитывающей назначение соединений и требования к конечным изделиям.

Степень достоверности результатов.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается применением обоснованных методов, методик и средств научного поиска; фундаментальных положений теории прессования древесины, механики твердого деформируемого тела, реологии, теории склеивания древесины, теории взаимозаменяемости, теории квалиметрии; использованием современных информационных технологий и целевого прикладного программного обеспечения; обоснованными упрощениями и корректными допущениями при разработке расчетных схем и моделей процессов; использованием стандартных методик испытаний и сертифицированного оборудования, применением вероятностно-статистических методов для обработки экспериментальных данных, проверкой воспроизводимости результатов исследования, подтвержденной адекватностью регрессионных моделей; согласованностью выводов с результатами известных работ; положительными результатами промышленной апробации.

Апробация результатов работы.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались, обсуждались и были одобрены на международных и всероссийских науч-

но-технических конференциях: Всероссийской ежегодной научно-технической конференции «Наука – производство – технологии – экология» (г. Киров, 2000-2006, 2008 гг.); Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса» (г. Вологда, 2005, 2008, 2010-2011, 2019 гг.); Всероссийской ежегодной научно-технической конференции "Общество, наука, инновации" (г. Киров, 2010-2020 гг.); Международном евразийском симпозиуме «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века» (г. Екатеринбург, 2010, 2012, 2017-2020 гг.); научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава Сыктывкарского лесного института (г. Сыктывкар, 2011-2012 гг.); Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы лесного комплекса» (г. Брянск, 2011-2012, 2015 гг.); Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса» (г. Кострома, 2012 г.); Международной научно-технической конференции «Техника и технологии – мост в будущее» (г. Воронеж, 2014 г.); Международной научно-технической конференции «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика» (г. Воронеж, 2015 г.); Международной научно-технической конференции «Леса России в XXI веке» (г. Санкт-Петербург, 2015 г.); Международной научно-практической конференции «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 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.).

Разработанные шиповые соединения демонстрировались на межрегиональных специализированных выставках «Лес. Деревообработка. Мебель» (г. Киров, 2005-2007 гг.) и «ВяткаДревМаш» (г. Киров, 2008-2010 гг.), выставке «Вятский левша» (г. Киров, 2006 г.); выставке «Интеллект Вятки» (г. Киров, 2000 г.); международной научно-технической выставке «Российская национальная выставка» (г. Минск, 2005 г.); выставках «Живые системы» (г. Киров, 2006-2007 гг.).

Результаты проведенных исследований апробированы в производственных условиях на ООО «Техноресурс» (г. Киров), ООО «Эдан-мебель» (г. Киров), ООО ПКП «Алмис» (г. Слободской).

Результаты исследований использованы в учебном процессе в дисциплинах «Теоретические основы склеивания древесных материалов», «Технология изделий из древесины», «Основы конструирования изделий из древесины»,

«Технологии специальной обработки древесины», «Методология проектирования технологических процессов в деревообработке», «Прогрессивные технологии деревообработки».

Личное участие автора.

Личное участие автора состоит в выборе направления исследований, темы диссертации, разработке ее идей, постановке и решении задач, разработке основных теоретических положений и математических моделей. Планирование и проведение представленных в работе исследований осуществлено лично автором; при непосредственном участии автора разработаны и изготовлены опытные образцы инструмента и экспериментальная оснастка; автором лично обработаны и интерпретированы экспериментальные данные. Автору принадлежат основные идеи и заключения в опубликованных лично и в соавторстве научных статьях.

Публикации.

По результатам выполненных исследований опубликована 81 работа, в том числе 11 статей в ведущих рецензируемых изданиях из перечня ВАК Минобрнауки РФ (1 из них индексируется в базе данных WoS CC), 2 статьи в изданиях, индексируемых в базах данных WoS CC и Scopus, 60 публикаций в сборниках материалов международных, всероссийских и региональных конференций; получено 4 патента РФ на изобретения.

Объем и структура диссертации.

Диссертация состоит из введения, шести разделов, заключения, списка литературы из 392 наименований, включающего 86 источников на иностранном языке, и приложений. Работа имеет общий объем 346 страниц, в том числе 281 страницу основного текста, содержит 122 рисунка, 41 таблицу, 148 формул, 21 страницу приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель исследования. Раскрыта научная новизна диссертационной работы, значимость результатов для науки и практики, приведены основные положения, выносимые на защиту. Указаны сведения об апробации, публикациях, структуре и объеме работы.

В первом разделе дан анализ современного состояния технологий изготовления шипов и проушин, технологий прессования древесины, подходов к оценке качества шиповых соединений.

Аналитический обзор конструкций шиповых соединений деталей из древесины показал, что соединение на многократные прямоугольные шипы является перспективным способом сращивания, обладающим рядом существенных преимуществ перед типовыми способами, включая возможность увеличения прочности за счет увеличения длины шипов и выбора рациональной посадки. При этом перспективной альтернативой традиционным способам формирова-

ния элементов шиповых соединений на основе процессов резания является технология холодного торцового местного прессования. Внедрение данной технологии сдерживается недостаточной изученностью процесса, отсутствием рекомендаций по технологическому обеспечению изготовления соединений достаточной точности, выбору инструмента, режимов обработки.

Систематизированное обобщение результатов исследований процессов прессования древесины позволило установить, что к основным характеристикам процессов прессования относятся степень и усилие прессования, степень изменения структуры древесины. В число основных влияющих на процесс факторов (для ранее изученных способов прессования) входят физико-механические свойства древесины, температура и влажность, размеры прессуемой заготовки и скорость прессования. Для обоснования технологических режимов местного торцового прессования необходимо проведение исследований взаимовлияния указанных параметров.

Анализ подходов к оценке качества клеевых соединений выявил основные применяемые в настоящее время характеристики качества типовых шиповых соединений. В их число входят показатели прочности. Предложена классификация факторов, влияющих на прочность известных соединений, структурирующая их с учетом основных этапов жизненного цикла продукции. Значения показателей прочности зависят от состояния материала заготовки, ряда конструкторско-технологических и эксплуатационных факторов, конструкции и размеров соединения, в том числе от его геометрических характеристик, точности, типа посадки. В опубликованной литературе отсутствуют аналогичные данные для прессованных прямоугольных шипов.

Проведено сравнение известных методов оценки эффективности технических решений применительно к проектному выбору параметров соединений и технологий их изготовления. Показано, что решение данной многокритериальной задачи должно базироваться на систематизированной информации об альтернативных вариантах и системе критериев для оценки качества с точки зрения производителя и потребителя, поэтому требуется разработка научно обоснованной методики оценки эффективности шиповых соединений.

На основании результатов анализа состояния вопроса сформулированы основные задачи исследования:

- 1) обосновать возможность применения способа местного торцового прессования для формообразования элементов шиповых соединений;
- 2) определить основные факторы, влияющие на процесс формирования проушин и теоретически обосновать его закономерности;
- 3) теоретически обосновать требования к точности изготовления элементов шиповых соединений;
- 4) установить степень влияния параметров соединений и режимов их прессования на энергосиловые и качественные характеристики процесса;
- 5) определить рациональные значения параметров режимов прессования, влияющих на качество шиповых соединений;
- б) оценить качество соединений на прессованные шипы;

7) разработать методику оценки эффективности технологий сращивания по длине и провести оценку эффективности разработанной технологии сращивания на прессованные прямоугольные шипы.

Во втором разделе представлены теоретические предпосылки и результаты исследований закономерностей формирования шиповых соединений на основе технологии торцевого прессования.

Проведено исследование возможностей применения процесса местного торцевого прессования для формообразования элементов шиповых соединений в заготовках из трех типичных пород древесины: хвойной (сосны), лиственной рассеянно-сосудистой (березы), лиственной кольцесосудистой (дуба). Установлены основные стадии процесса деформирования древесины при внедрении призматического индентора вдоль волокон.

Процессы деформирования древесины сосны, березы и дуба при внедрении призматического пуансона вдоль волокон в основном схожи. Они включают два этапа: упругая деформация древесины до $\varepsilon \approx 0,08$ и пластическая деформация $\varepsilon \geq 0,08$, начинающаяся при величине напряжений $\sigma_2 = 60$ МПа для сосны, $\sigma_2 = 66$ МПа для березы, $\sigma_2 = 90$ МПа для дуба. При внедрении в торцовую поверхность заготовки индентора призматической формы (рисунок 1) после достижения величины пикового напряжения происходит скалывание площадки древесины под рабочим торцем пуансона и сдвиг вдоль волокон, сопровождающийся местным смятием и смещением спрессованного слоя в глубину заготовки. Под проушиной формируется «пробка» из пластически деформированной древесины высотой h_a , не превышающей глубину проушины h_n (рисунок 2). В процессе уплотнения деформируемая зона несколько расширяется в тангенциальной плоскости за счет изгиба поздних слоев, что увеличивает силы трения в плоскостях скольжения и препятствует упругому восстановлению, которое в итоге не превышает 2–6 %.

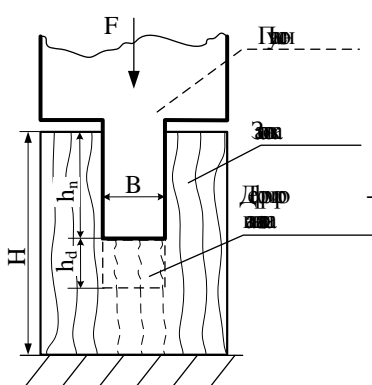


Рисунок 1 – Схема формирования проушины в результате внедрения пуансона вдоль волокон

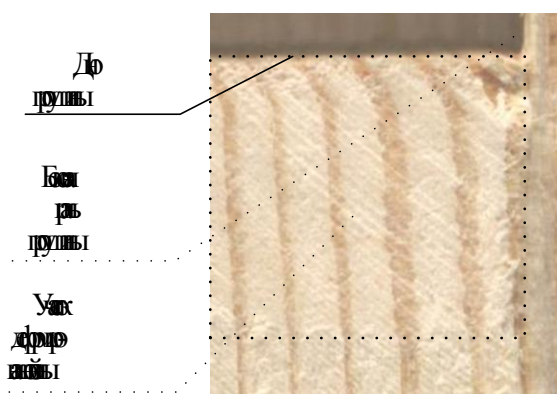


Рисунок 2 – Макроструктура деформированной древесины под дном проушины (сосна, $W = 9\%$)

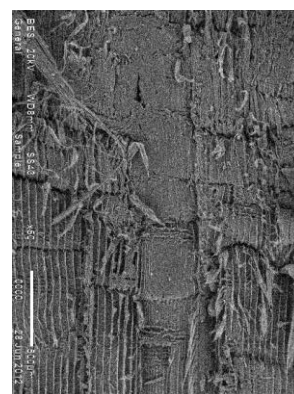


Рисунок 3 – Микрофотографии складок в деформированной зоне (сосна)

Исследования анатомической структуры пластически деформированных участков (на примере древесины сосны), проведенные с использованием скани-

рующей электронной микроскопии, показали, что в слоях ранней древесины исследуемого участка образовались неравномерные мелкие и крупные складки высотой от 67 до 333 мкм, шириной от 138 до 650 мкм, а слоях поздней древесины – более равномерные складки высотой от 277 до 500 мкм, шириной от 290 до 330 мкм (рисунок 3). Структурные элементы древесины, расположенные вне зон уплотнения, сохранили свою первоначальную структуру. «Пробку» из спрессованной древесины можно рассматривать как более плотное включение в структуру по типу сучка, незначительно влияющее на общие свойства основного объема древесины.

Экспериментально установлены условия формирования качественных проушин: влажность древесины от 5 до 18 %; наклон волокон не более 15 % для образцов из древесины сосны и не более 10 % для образцов и древесины березы и дуба; наличие бокового обжима заготовок в процессе прессования с усилием от 300 до 1 кН для образцов из древесины сосны, от 400 до 1,2 кН для березы и дуба в зависимости от ширины формируемых проушин; глубина внедрения пуансона h_n до двух с половиной ширин проушины B ($h_n > 2,5 B$). Выполнение данных условий обеспечивает формирование качественных рельефных отпечатков в виде прямоугольных проушин с четкими контурами, соответствующими форме и размерам рабочей части пуансона, с отклонениями не более +0,142 мм, с уплотненным дном с закрытыми порами, с высотой наибольших неровностей в пределах 43–86 мкм.

Обоснование выбора расчетной схемы для теоретического моделирования механизма формирования проушины проведено на основе подробного анализа применяемых в деревообработке моделей древесины, методов инженерных расчетов и математических моделей, описывающих напряженно-деформированное состояние древесины. Различные реологические модели древесины, представляющие собой комбинации упругих, вязких, пластических и других элементов, состоящих из сочетаний простых моделей тел (Гука, Ньютона, Сен-Венана и др.), и построенные на их основе математические модели ограничено применимы для моделирования процессов прессования, в частности, из-за непрерывного и существенного изменения древесной структуры, а также использования справочных характеристик древесины, полученных на основе экспериментальных данных.

Так, в известных моделях величина деформации зависит от ряда факторов: характеристик нормальных σ и касательных τ напряжений в древесине, модулей упругости E и сдвига G , коэффициентов поперечной деформации μ , вязкости η , скорости нагружения: $v \varepsilon = f(\sigma, \tau, E, \mu, G, \eta, v)$. При этом условиями соответствия характеристик изучаемых образцов древесины справочным значениям являются не только те же условия произрастания, зона ствола для изготовления заготовок и ряд подобных факторов, но также и геометрическое, статическое, кинетическое, температурно-влажностное и структурное подобие условий экспериментов. Выполнение всех этих условий на практике невозможно, в связи с чем наблюдается значительная изменчивость реальных значений механических характеристик древесины. В связи с этим ценность строгих ме-

тодов расчета для практических целей снижается за счет использования приближенных значений характеристик древесины, полученных опытным путем при несоответствии условий подобия и дающих погрешности более высокого порядка, чем сами расчеты.

На основании сделанных выводов для теоретического моделирования механизма формирования проушины предложена расчетная схема (рисунок 4 *a*) с учетом ряда допущений: плась заготовки ориентирована тангенциально; обрабатываемая заготовка располагается в матрице, предотвращающей боковую деформацию; скалывание слоя древесины высотой h_0 происходит в начальный момент времени; пунсоном сжимается слой древесины высотой $h_0 = h_n + h_d$; боковое уширение в направлении оси y пренебрежимо мало; собственный вес древесины не учитывается; процесс нагружения является статическим, работа внешних сил полностью преобразуется в энергию пластической деформации; значения напряжений σ_i определяются как средние значения для единицы площади сечения, занятой как сечениями структурных элементов, так и полостями.

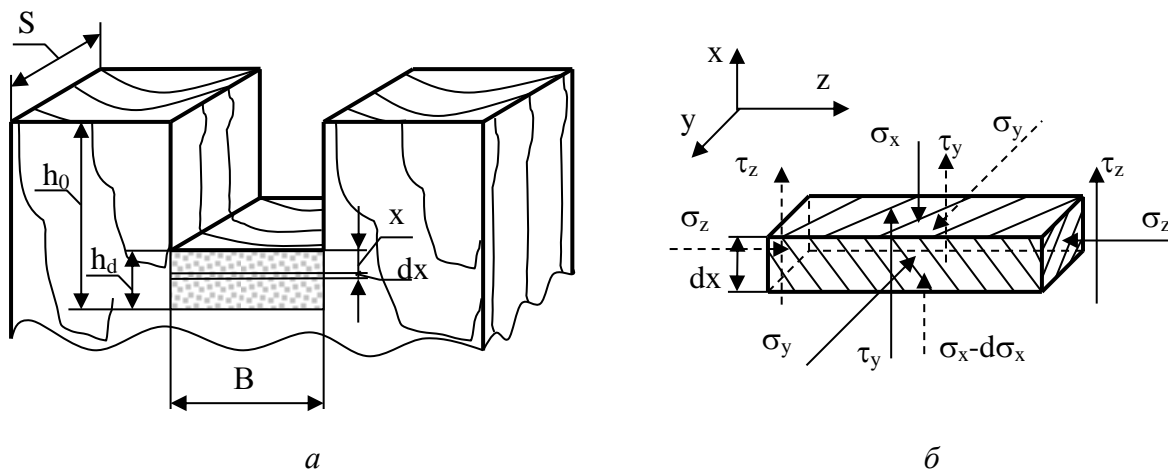


Рисунок 4 – Расчетная схема для моделирования процесса прессования:
a – расположение деформированного участка древесины под проушиной;
б – элементарный слой древесины в спрессованном состоянии

В расчетной схеме приняты следующие обозначения:

- h_0 – начальная высота прессуемого слоя древесины под проушиной, мм;
- h_n – глубина проушины, мм;
- h_d – высота спрессованного слоя древесины, мм;
- B – ширина проушины, мм;
- S – толщина заготовки, мм;
- x – расстояние от передающей давление поверхности до элементарного слоя, мм;
- dx – толщина элементарного слоя, мм;
- σ – напряжение непосредственно под передающей давление поверхностью, МПа;
- σ_x – напряжение в древесине на глубине x , МПа;
- τ_{ck} – предел прочности при скалывании вдоль волокон, МПа;

- σ_y, σ_z – напряжения в древесине от бокового давления на стенки матрицы и граничные слои древесины в направлении осей y, z , МПа;
- τ_y, τ_z – напряжения от трения о поверхности стенок матрицы и граничные слои древесины в направлении осей y, z , МПа;
- μ_{ra}, μ_{ta} – коэффициенты Пуассона;
- f_m, f_{dr} – коэффициенты трения металл-древесина и древесина-древесина.

Исходя из условия, что на элементарный слой древесины толщиной dx , расположенный на расстоянии x от дна проушины, т.е. от передающей давление поверхности, действуют следующие силы: прессования, бокового давления со стороны стенок пресс-формы и граничных слоев древесины, трения древесины о боковые стенки пресс-формы и боковые стенки шипов, получили уравнение равновесия:

$$BS\sigma_x - BS(\sigma_x - d\sigma_x) + 2\tau_y Bdx + 2\tau_z Sdx = 0, \quad (1)$$

из которого путем ряда преобразований получили соотношение для определения усилия прессования для количества проушин, равного n :

$$F_n = n \left(\sigma B S \left(2 - e^{-2(f_m \mu_{ra} \frac{1}{S} + f_{dr} \mu_{ta} \frac{1}{B}) h_n} \right) + 2\tau_{ck} S h_n \right). \quad (2)$$

Исходя из выражения для определения степени прессования для деформированной зоны древесины под проушиной:

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_d}{h_0} = \frac{h_n}{h_n + h_d}, \quad (3)$$

учитывая условие равновесия сил (1), составили выражение для определения глубины деформированной зоны h_d :

$$h_d = \frac{1}{-2(f_m \mu_{ra} \frac{1}{S} + f_{dr} \mu_{ta} \frac{1}{B})} \ln \left(\frac{\sigma_{min}}{\sigma \left(2 - e^{-2(f_m \mu_{ra} \frac{1}{S} + f_{dr} \mu_{ta} \frac{1}{B}) h_n} \right) + \frac{1}{B} 2\tau_{ck} h_n} \right). \quad (4)$$

Анализ составляющих уравнений (2) и (3), включающих справочные характеристики физико-механических свойств древесины, показал, что усилие холдного торцового прессования в заготовках одной породы, одинакового размера сечения можно представить как функцию от ряда параметров процесса: влажности W , ширины B и глубины h_n проушины: $F = f(W, B, h_n)$, так же как и глубину деформированной зоны: $h_d = f(W, B, h_n)$. Полученные выводы позволили обосновать выбор варьируемых параметров при планировании экспериментальных исследований процесса прессования проушин.

Прочностной конечно-элементный анализ, проведенный в системе Компас-3D на примере формирования однократной и многократной прямоугольных проушин, подтвердил возможность получения качественной проушины в древесине без разрушения зон, прилегающих к боковым граням шипов, а также

позволил установить возможность применения для изготовления пуансона пространственных и доступных материалов, например, стали СтЗсп.

Проведено теоретическое обоснование требуемой точности формирования проушин с учетом диапазона размеров шипа по толщине на основе анализа рекомендуемых в литературе посадок в известных конструкциях шиповых соединений. Существующие рекомендации по выбору посадок и допуску шага шипов не в полной мере соответствуют требованиям стандартов и результатам исследований по величине натягов до +0,3 мм в соединениях шип-проушина по толщине шипа. Расчет посадок тремя методами: вероятностным, на максимум-минимум, по средним значениям зазора/натяга показал, что для шипов малых толщин (менее 3 мм) требуемые расчетные натяги обеспечивают посадки $H13/k13$ и $H13/za13$ (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Соответствие зазоров и натягов в посадках требованиям ГОСТ 9330*

Посадка	Метод расчета		
	вероятностный	на максимум-минимум	средние значения зазора/натяга
H13/h13	Не соответствует	<u>До 30 мм**</u> До 30 мм**	Не соответствует
H13/js13	<u>До 30 мм</u> Не соответствует	<u>До 30 мм</u> Свыше 6 до 30 мм	Не соответствует
H13/k13	<u>До 18 мм</u> До 30 мм	<u>До 6 мм</u> До 18 мм	<u>До 30 мм</u> Не соответствует
H13/za13	<u>До 6 мм</u> До 18 мм	<u>До 3 мм</u> До 10 мм	<u>До 30 мм</u> Свыше 18 до 30 мм

* В числителе – значения для твердых листовых пород, в знаменателе – для хвойных и мягких листовых пород.

**При условии сочетания максимальной толщины шипа и минимальной ширины проушины.

Проведенный размерный анализ и расчет параметров взаимосвязанных размеров многоэлементного шипового соединения (для случая изготовления многократных шипов) с использованием теории размерных цепей позволили определить величину отклонений для шага шипов, соответствующих полям допусков $k14$ и $za14$. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании размерных характеристик соединений с шипами малых толщин и при разработке конструкций рабочих частей пуансонов.

В третьем разделе представлены общие методические положения планирования и проведения экспериментальных исследований и обработки полученных данных, приведены характеристики используемых материалов, применяемого оборудования и средств измерений.

Представлена программа экспериментальных исследований, в которую вошли 13 этапов, сгруппированных в три последовательно выполненных блока (рисунок 5). Блок 1 явился базой для обоснования закономерностей формирования шиповых соединений и подготовкой к основным экспериментальным ис-

следованиям. Блок 2 содержит группу исследований режимов процесса прессования, включая его энергосиловые показатели и качественные характеристики проушин, а также определение рациональных значений технологических параметров. В блок 3 включены этапы исследования, позволяющие оценить качество полученных шиповых соединений.



Рисунок 5 – Программа экспериментальных исследований

Для проведения исследований использовали заготовки из древесины сосны, березы, дуба, изготовленные из сухих пиломатериалов смешанной распиловки, имеющие преимущественно тангенциально ориентированную пласт и не содержащие сучков и трещин в зоне прессования. Образцы сечением 25×40 мм и длиной 60 мм для 1 и 2 блока исследований специально увлажняли, кондиционировали или досушивали до достижения требуемой влажности от 5 до 30 %. Заготовки для 3 блока исследований изготавливали сечением 25×40 мм и длиной 160 мм; влажность древесины составила от 4,7 до 9 %.

Влажность и показатели физико-механических свойств древесины образцов определяли по стандартным методикам в соответствии с ГОСТ 16588-91, ГОСТ 16483.0-89, ГОСТ 16483.10-73, ГОСТ 16483.23-73, ГОСТ 16483.3-84.

Формирование опытных отпечатков и прессование элементов шиповых соединений осуществляли в прессах П-10 и Т61210М (АЕ&Т, КНР), дополненных комплектом специально изготовленной оснастки для базирования, фиксации и обжима заготовок (рисунок 6), путем внедрения в древесину пуансонов

различных конструкций и типоразмеров (рисунок 7): цельных и сборных, с одинарными или многократными рабочими элементами.

Для исследования структуры пластически деформированной древесины, оценки точности и качества отпечатков применяли методы электронного сканирования, макро- и микросъемки на сканере HP ScanJet 2380 и растровом микроскопе JSM-6510 LV (JEOL, Япония).

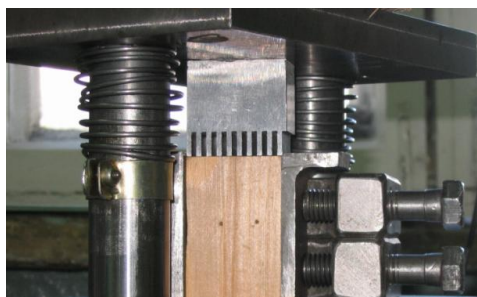
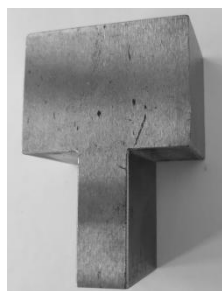


Рисунок 6 – Лабораторная оснастка для базирования, фиксации и обжима заготовок



а



б



в

Рисунок 7 – Примеры пуансонов для формирования проушин: *а* – одинарной, $B = 12$ мм, $h_n = 30$ мм; *б* – многократных, $B = 4$ мм, $h_n = 20$ мм; *в* – многократных, $B = 2$ мм, $h_n = 10$ мм

Относительную глубину деформированной зоны h_3 , %, рассчитывали как процентное отношение высоты деформированной зоны h_d под проушиной, к глубине проушины h_n (рисунок 4). Измерения проводили посредством нанесения масштабной размерной сетки на фотографии высокого разрешения.

Для оценки увеличения твердости дна проушины по сравнению с исходной твердостью торца заготовки в работе предложен относительный показатель «увеличение твердости», обозначенный *HRL* (для древесины сосны) и *HRM* (для древесины березы и дуба). Для его расчета определяли прирост торцевой твердости проушины по сравнению с исходной торцевой твердостью образца. Твердость дна проушин оценивали по методу Роквелла с помощью прибора TR 5014. Для обеспечения доступа испытательного наконечника в зону замера образцы дорабатывали путем срезания боковых стенок проушин.

Для склеивания шиповых соединений применяли клеи на основе поливинилацетатной дисперсии марок ПВА Супер (ПАО «Акрон»), Момент Столяр (ООО «Хенкель Рус»), Titebond II Premium (Franklin International, США). После склеивания образцы для исследования прочности при изгибе фрезеровали до получения толщины 20 мм, а образцы для исследования прочности при растяжении раскраивали для получения толщины 8 мм.

Предел прочности клеевых соединений при статическом изгибе определяли с учетом требований ГОСТ 15613.4-78 и ГОСТ 33120-2014 на универсальной испытательной машине УММ-5, предел прочности при растяжении – в соответствии с ГОСТ 15613.5-78 на разрывной машине Р-5.

Точность формирования элементов шиповых соединений оценивали путем сравнения номинальных линейных размеров проушин, соответствующих параметрам используемого пуансона, с размерами полученных проушин, измерен-

ными с использованием микроскопа МИС-11. Полученные значения соотносили с нормами ГОСТ 25346-2013 и ГОСТ 6449.1-82. Шероховатость оценивали по параметру $R_{m\ max}$ с учетом требований ГОСТ 15612-2013 и ГОСТ 7016-2013.

Качество макроструктуры M пластически деформированной зоны оценивали экспертным методом по пятибалльной шкале путем сравнения с образцами макроструктуры, принятыми за эталон.

Постановку экспериментов на этапах 2.1–2.3 (рисунок 5) осуществляли по полному факторному плану типа 2^3 для образцов из древесины березы и дуба; для образцов из древесины сосны – по некомпозиционному плану второго порядка для трех факторов (плану Бокса-Бенкена). Для исследования взаимосвязи данных, полученных на этапах 2.4. и 3.5 (рисунок 5), использовали методы множественного регрессионного анализа. Для обработки данных, полученных на этапе 3.1 (рисунок 5), применяли дисперсионный анализ (методику ANOVA). Статистический анализ полученных данных проводили с доверительной вероятностью 95 % при помощи программных пакетов Statistica и Microsoft Excel.

В четвертом разделе приведены результаты исследований по обоснованию параметров технологических режимов торцового прессования проушин.

Выполненные исследования позволили установить влияние параметров режимов (влажности W , ширины B и глубины h_n проушины) на энергосиловой показатель F_e (усилие прессования проушин) и на показатели качества обработки – характеристики увеличения твердости дна проушин HRL (HRM) и глубины деформированной зоны h_3 . Схема описания процесса приведена на рисунке 8.

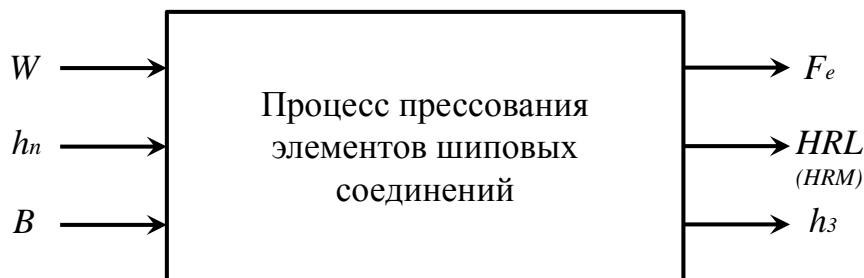


Рисунок 8 – Схема описания процесса прессования элементов шиповых соединений

Зависимости выходных параметров от влияющих факторов описываются эмпирическими моделями в виде уравнений регрессии (5)–(13) с подтвержденной адекватностью и коэффициентами детерминации R^2 от 0,74 до 0,99:

- для образцов из древесины сосны:

$$F_{es} = 9625,88 - 928,03W - 1430,17h_n + 2068,89B + 28,97W^2 + 61,40h^2 + 45,76Wh_n - 68,03WB, \quad (5)$$

$$h_3 = 66,85 + 4,68h_n + 1,98B + 0,09W^2 - 1,00h_n^2 - 0,14B^2 - 0,25WB + 0,76h_n B, \quad (6)$$

$$HRL = 25,89 + 21,40W + 5,84B - 1,06W^2 - 0,35B^2 + 0,10Wh_n + 0,29WB, \quad (7)$$

при $5 \text{ мм} \leq h_n \leq 11 \text{ мм}$; $4 \text{ мм} \leq B \leq 20 \text{ мм}$; $8 \% \leq W \leq 18 \%$;

- для образцов из древесины березы:

$$F_{eb} = 5129,73 - 788,40W + 1814,73B + 70,12Wh_n - 56,53h_nB, \quad (8)$$

$$h_3 = 860,4975 - 73,4437W - 67,47471h_n - 20,7056B + 5,8062Wh_n + 1,7203WB + 0,8702h_nB, \quad (9)$$

$$HRM = 201,84 - 5,39W + 5,74h_n - 0,01h_nB, \quad (10)$$

при $4 \text{ мм} \leq h_n \leq 8 \text{ мм}$; $4 \text{ мм} \leq B \leq 20 \text{ мм}$; $6,5 \% \leq W \leq 9,5 \%$;

- для образцов из древесины дуба:

$$F_{ed} = 4716,61 + 346,60W + 1382,70h_n - 1007,01B - 239,01Wh_n + 357,66WB + 2,90Wh_nB, \quad (11)$$

$$h_3 = 156,65 - 29,36h_n + 22,23B + 2,33Wh_n - 2,26WB, \quad (12)$$

$$HRM = 246,75 - 7,28W - 1,43h_n - 4,93B + 0,52h_nB, \quad (13)$$

при $6 \text{ мм} \leq h_n \leq 9 \text{ мм}$; $4 \text{ мм} \leq B \leq 20 \text{ мм}$; $7 \% \leq W \leq 9 \%$.

На рисунках 9–17 приведены примеры графической интерпретации моделей (5)–(13).

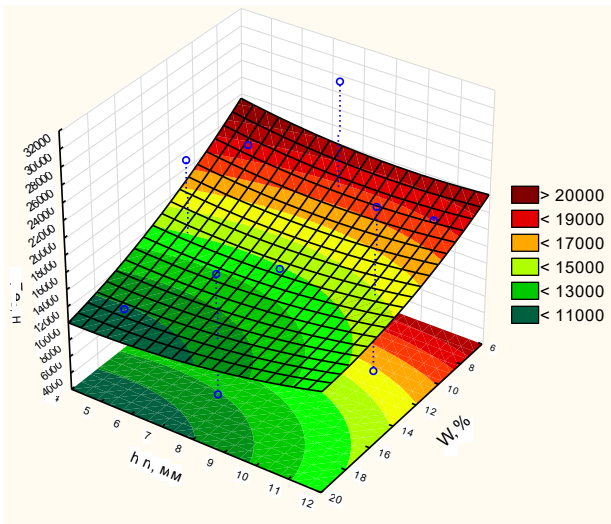
Полученные эмпирические модели (5), (8), (11) использованы при определении корректирующих коэффициентов влияния породы и влажности для уточнения аналитической модели (2), описывающей взаимосвязь усилия прессования с параметрами технологического режима и справочными характеристиками древесины:

$$F_k = k \cdot n \left(\sigma BS \left(2 - e^{-2 \left(f_m \mu_{ra} \frac{1}{S} + f_{dr} \mu_{ra} \frac{1}{B} \right) h_n} \right) + 2 \tau_{ck} S h_n \right), \quad (14)$$

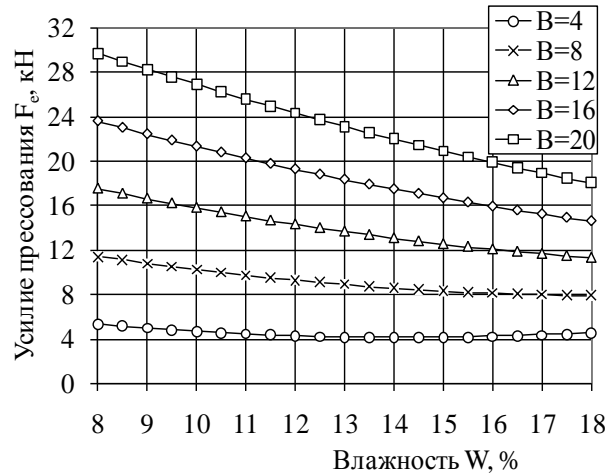
где k – корректирующий коэффициент; для сосны $k = 1,12$; для березы $k = 1,10$; для дуба $k = 1,42$.

При сравнении уточненных моделей с эмпирическими зависимостями отмечена хорошая сходимость данных моделей в исследованном диапазоне: отклонения уточненных моделей от эмпирических не превышают 7%. Уточненная теоретическая модель (14), наравне с соотношениями (5), (8), (11), может быть использована для прогнозирования с достаточной степенью точности величины усилия прессования в исследованном диапазоне параметров режима.

Модели (5)–(13) применены для решения оптимизационной задачи по определению рациональных значений параметров технологических режимов процесса торцового прессования элементов шиповых соединений, обеспечивающих высокое качество обработки при минимальных энергозатратах.

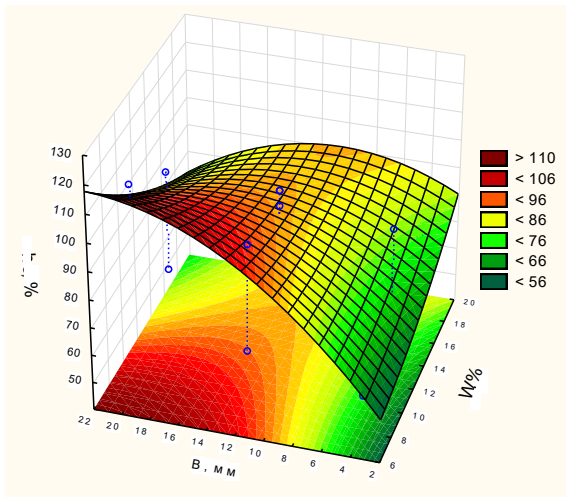


a

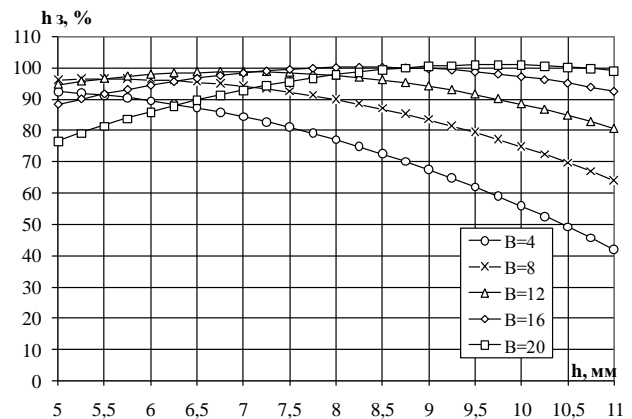


б

Рисунок 9 – Зависимость усилия прессования проушины F_{es} в древесине сосны: *a* – от глубины проушины h_n и влажности W при ширине проушины $B = 12$ мм; *б* – от W при $h_n = 8$ мм

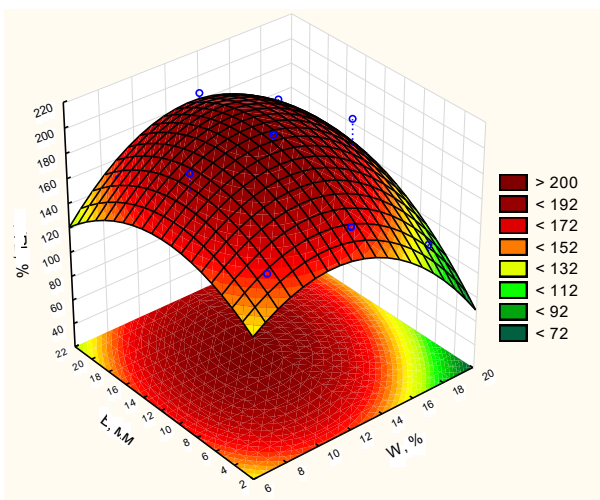


a

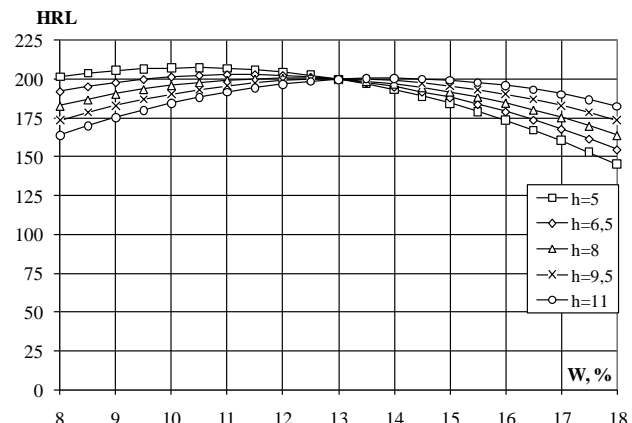


б

Рисунок 10 – Зависимость относительной глубины деформированной зоны h_z в древесине сосны: *a* – от B и W при $h_n = 8$ мм; *б* – от h_n при $W = 13$ %



a



б

Рисунок 11 – Зависимость увеличения твердости дна проушины HRL в древесине сосны: *a* – от B и W при $h_n = 8$ мм; *б* – от W при $B = 12$ мм

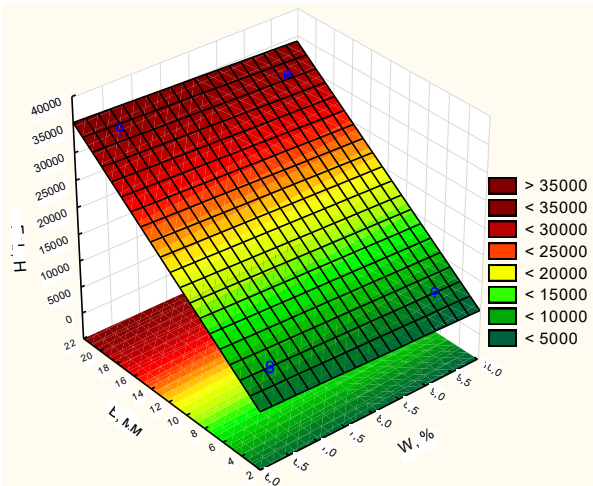


Рисунок 12 – Зависимость усилия прессования проушины F_{eb} в древесине березы от B и W при $h_n = 6$ мм

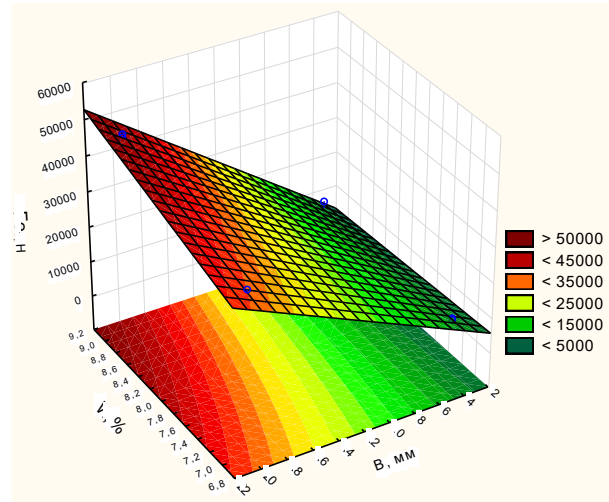


Рисунок 13 – Зависимость усилия прессования проушины F_{ed} в древесине дуба от B и W при $h_n = 7,5$ мм

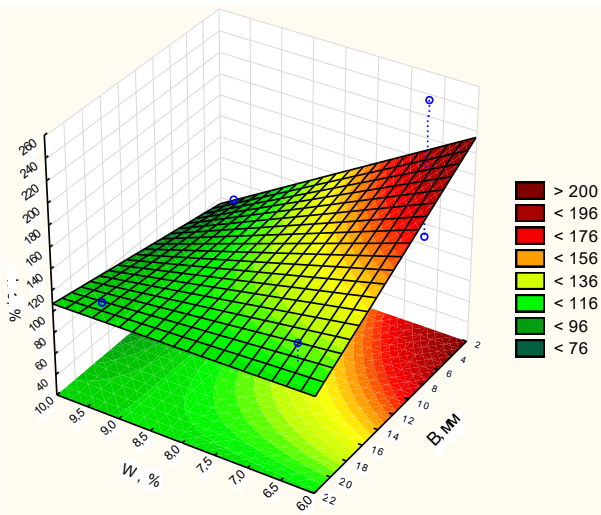


Рисунок 14 – Зависимость глубины деформированной зоны h_z в древесине березы от B и W при $h_n = 6$ мм

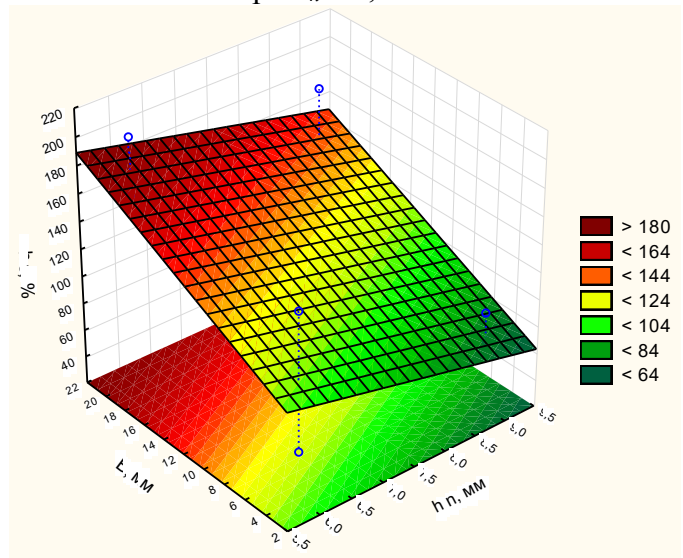


Рисунок 15 – Зависимость глубины деформированной зоны h_z в древесине дуба от B и h_n при $W = 8$ %

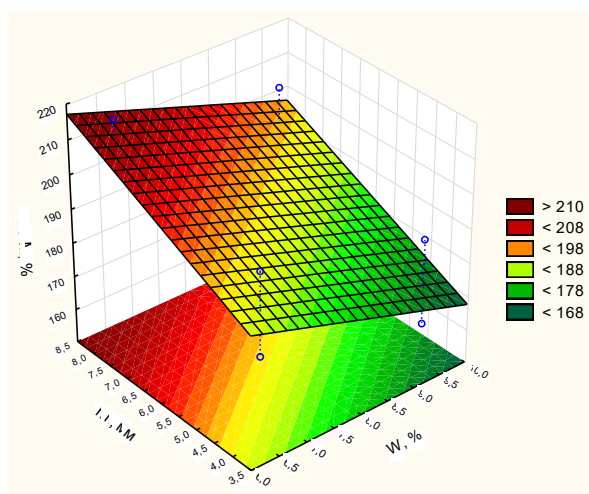


Рисунок 16 – Зависимость твердости дна проушины HRM в древесине березы от h_n и W при $B = 12$ мм

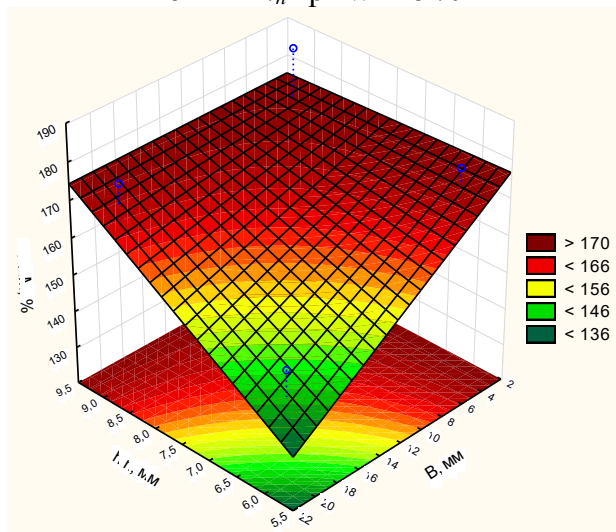


Рисунок 17 – Зависимость твердости дна проушины HRM в древесине дуба от B и h_n при $W = 8$ %

Целевая функция, разработанная по принципу справедливого компромисса, и набор ограничений в совокупности составили оптимизационную модель:

$$\begin{cases} \frac{F_{en} \cdot h_{3n}}{HRL_n} \rightarrow \min \\ W_{min} \leq W \leq W_{max} \\ B_{min} \leq B \leq B_{max} \\ h_{nmin} \leq h_n \leq h_{nmax} \end{cases}, \quad (15)$$

где F_{en} , h_{3n} , HRL_n (для березы и дуба – HRM_n) – нормированные значения критериев, определяемые по соотношению вида (16) (на примере усилия прессования):

$$F_{en} = \frac{F_e - F_{emin}}{F_{emax} - F_{emin}}, \quad (16)$$

где F_{en} – нормированное значение усилия прессования;

F_e – натуральное значение усилия прессования, Н;

F_{emin} – минимальное значение усилия прессования в диапазоне исследования, Н;

F_{emax} – максимальное значение усилия прессования в диапазоне исследования, Н.

Поиск экстремальных значений F_e , h_3 , HRL (HRM), а затем и компромиссного решения по нахождению рациональных значений параметров режимов выполнили по методу обобщенного приведенного градиента в программном пакете Microsoft Excel с использованием надстройки «Поиск решения».

Результаты решения задачи оптимизации (15) для трех исследуемых пород приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты решения оптимизационной задачи

Порода	Рациональные значения управляющих факторов			Ожидаемые значения управляемых параметров		
	W , %	h_n , мм	B , мм	F_e , Н	h_3 , %	HRL (HRM), %
Сосна	8	11	4	5878,73	33,41	165,25
Береза	9,5	8	4	8419,00	74,65	196,24
Дуб	7	9	4	11246,72	64,84	181,92

Рациональные значения влажности W находятся в пределах 7–9,5 %, что указывает на целесообразность проведения обработки при влажности заготовок, близкой к эксплуатационной для изделий, предназначенных для использования внутри помещений. При этом результаты оптимизации подтверждают рациональность обработки заготовок и при расширении диапазона варьирования влажности в направлении нижней границы до 6 %. Значение глубины h_n прессуемых проушин может быть принято максимальным из исследуемого диапазона (до 9–11 мм), что позволяет изготавливать шипы увеличенной дли-

ны. Оптимальное значение ширины проушины $B = 4$ мм расположено на нижней границе диапазона варьирования, что указывает на перспективы изготовления шипов малых толщин. Целевая функция имеет потенциал в направлении уменьшения ширины проушин, что может быть использовано для совершенствования прочностных показателей клеевых соединений на многократные пресованные шипы.

Представленные выше модели (5), (8), (11) предназначены для прогнозирования усилия пресования одинарных проушин. Для целей прогнозирования усилия пресования многократных проушин заданных ширин при обработке в промышленных условиях необходимо установить степень влияния параметров технологических режимов, с варьированием высоты шипов и величины натяга, для партии заготовок с заданными размерами сечения и влажностью, изменяющимися в относительно узком диапазоне в пределах допускаемых отклонений. С этой целью провели серию экспериментов по формированию шипов толщиной 2,1–2,4 мм с шагом 4,3–4,6 мм и величиной зазора (натяга) от -0,1 до 0,2 мм в заготовках из древесины сосны, с использованием сборных пуансонов (рисунок 7 в).

Выполненные исследования позволили установить, что наиболее важными предикторами для отклика «усилие пресования многократных проушин F », в порядке убывания значимости, являются переменные: высота шипа h_n , величина зазора (натяга) N , ширина заготовки B_3 ; меньшее влияние на отклик оказывают факторы влажность W и толщина S заготовки:

$$F = 20246,59 + 696,88h_n - 2881,98N + 159B_3 - 129,96W + 86,80S. \quad (17)$$

Анализ полученной модели показал, что варьирование конструктивных параметров, влияющих на повышение прочности шипового соединения (величины зазора (натяга) N и высоты шипа h_n) относительно слабо влияет на возрастание усилия (не более 12 %). Степень влияния h_n невелика: так, при увеличении h_n на 1 мм усилие F увеличится на 696 Н, что составит чуть более 2 % от среднего значения F ; при увеличении h_n на 4 мм (например, с 6 до 10 мм) усилие увеличится на 2788 Н (8 %). Также на основании данной модели можно оценить искомое влияние на усилие пресования F изменения величины зазора (натяга) N : при увеличении N на 0,1 мм F уменьшится на 288 Н, что составит всего 0,86 % от среднего значения.

Полученные результаты доказывают, что при формировании элементов шиповых соединений способом торцового пресования обеспечивается технологическая стабильность процесса. Это позволяет варьировать посадку и длину шипов в пределах исследованного диапазона с целью получения заданных прочностных характеристик без значимого увеличения энергозатрат на изготовление соединения.

В пятом разделе представлены результаты экспериментальных исследований показателей качества шиповых соединений, изготовленных способом торцового пресования.

Проведена оценки прочности клеевых соединений по длине на прямоугольные прессованные шипы при растяжении и изгибе. Исследованы образцы из древесины сосны, березы и дуба двух типоразмеров с толщиной шипа 2 и 4 мм, длиной 10 и 20 мм соответственно (таблица 3). Внешний вид и параметры обработанных прессованием заготовок приведены на рисунке 18.

Таблица 3 – Геометрические параметры шипов

Типоразмер соединения	$S_{ш}$, мм	B , мм	$t_{ш}$, мм	h_n , мм
А	2	2,2	4,2	10
Б	4	4,2	8,2	20

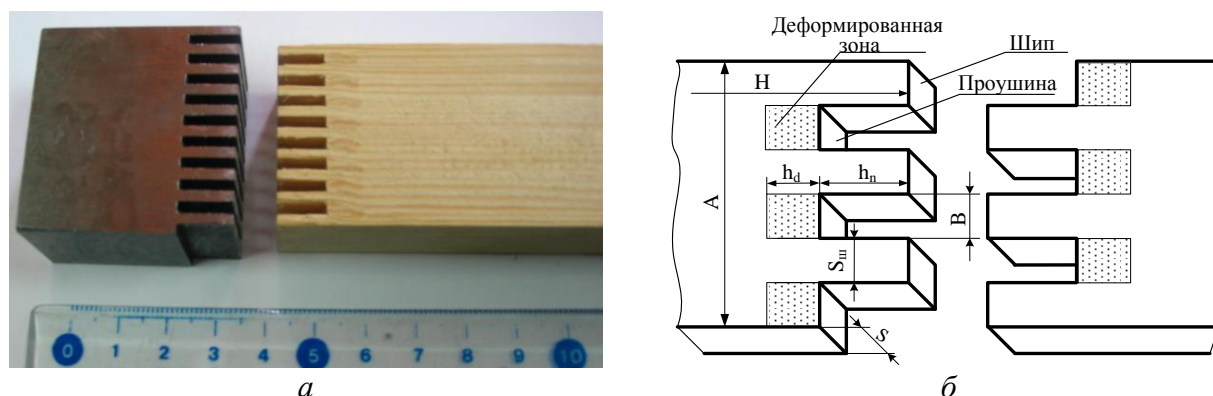


Рисунок 18 – Внешний вид (а) и параметры (б) прессованной заготовки

Разрушение склеенных образцов при испытаниях на прочность происходило в части случаев по древесине, в части случаев характер разрушения был смешанный (адгезионно-когезионный) – по древесине и клеевому шву (рисунки 19, 20). Данные результаты можно считать удовлетворительными: известно, что зубчатые соединения могут разрушаться как по древесине, так и по клеевому шву – до 20–30 % от общего числа испытанных образцов.

Сравнение абсолютных значений прочности исследованных образцов с требованиями к прочности пиломатериалов и клееных деревянных конструкций, приведенными в ГОСТ 20850-2014, ГОСТ 33080-2014, ГОСТ 33081-2014, показывает, что соединения соответствуют классам прочности пиломатериалов до класса С30 включительно и могут быть отнесены к достаточно высокому классу прочности элементов конструкций К36 (на примере для заготовок из древесины сосны). Среднее значение относительной прочности соединений при растяжении достигает 56,4 %, при изгибе – 80,2 % (для образцов из древесины сосны); более высокие значения получены для соединений типа А (с мелкими шипами). В таблице 4 приведены средние значения относительной прочности соединений для трех исследуемых пород. По результатам исследований можно заключить, что прочность соединений является достаточной и соответствует требованиям стандартов на изделия из склеенных по длине заготовок. Это позволяет рекомендовать соединения на прессованные шипы для изготовления деталей столярно-строительных и других изделий из древесины.

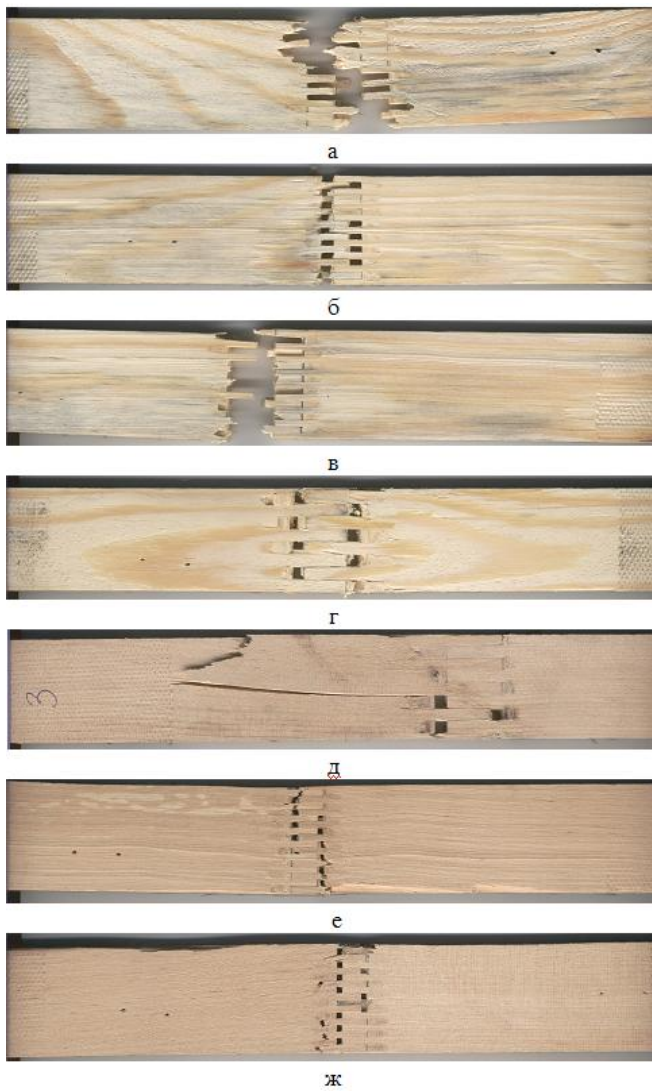


Рисунок 19 – Примеры разрушения образцов при испытаниях на растяжение: *а-г* – древесина сосны; *д-ж* – древесина березы; *а-в, е, ж* – типоразмер А; *г, д* – типоразмер Б

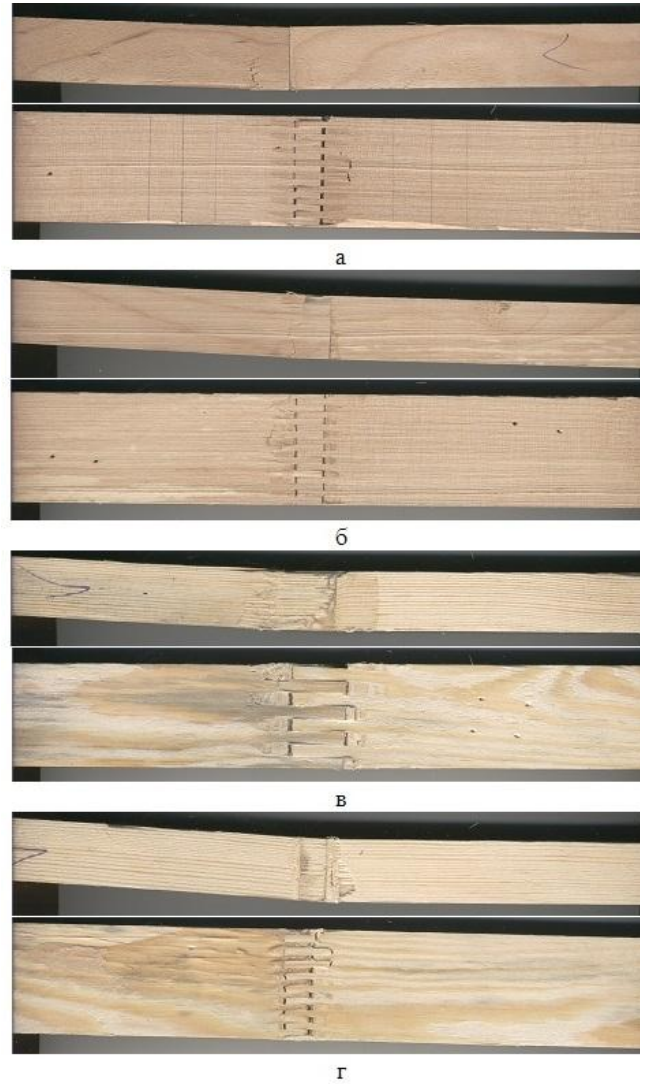


Рисунок 20 – Примеры разрушения образцов при испытаниях на изгиб: *а-б* – древесина березы; *в-г* – древесина сосны; *а, б, г* – типоразмер А; *в* – типоразмер Б

Таблица 4 – Средние значения относительной прочности, %

Порода	Типоразмер соединения	Вид испытания			
		на растяжение		на изгиб	
		по типам соединений	средняя для двух типов	по типам соединений	средняя для двух типов
Сосна	<i>А</i>	59,5	56,4	80,7	80,2
	<i>Б</i>	53,2		79,8	
Береза	<i>А</i>	54,7	53,2	51,7	51,3
	<i>Б</i>	51,7		50,9	
Дуб	<i>А</i>	55,0	53,5	47,7	47,3
	<i>Б</i>	52,0		47,0	

Экспериментальные исследования позволили установить, что формирование шипов с использованием базирующих и обжимных устройств позволяет достичь точности изготовления не ниже 13 качества, требуемого в ГОСТ 9330-2016. Так, максимальные отклонения ширин проушин с номинальным значением 2,2 мм, измеренные с использованием микроскопа, составили не более +0,134 мм; максимальные отклонения глубин проушин с номинальным значением 20 мм составили +0,098 мм. Дно проушины имеет низкую шероховатость с максимальной высотой неровностей не более 86 мкм. При этом поры «запечатаны» за счет наклона и сплющивания поверхностных волокон. Это снижает вероятность ослабления клеевого соединения по причине высокой впитываемости клея при его нанесении на торцовые поверхности.

Макроструктура пластически деформированной зоны в образцах из древесины сосны в целом получила хорошие оценки по эстетичности внешнего вида: в 77 % образцов из древесины сосны – оценки в 4 и 5 баллов (практически незаметные невооруженным глазом изменения макроструктуры), в 15 % – 3 балла (малозаметные изменения). Более высокие оценки получены для древесины с наклоном волокон не более 15 %. Средний балл для всех образцов из древесины сосны – 3,9. Образцы из древесины березы и дуба в целом получили менее высокие оценки, что связано с большей плотностью древесины и видимым потемнением уплотненных участков. Наиболее высокие оценки получены для древесины березы и дуба с наклоном волокон не более 10 %. Из них 39 % образцов из древесины березы и 29 % образцов из древесины дуба были оценены на 4 балла. Отмечено, что по сравнению с заготовками из древесины сосны, в заготовках из более плотной древесины лиственных пород чаще возникали дефекты структуры. Средний балл для образцов из древесины березы – 3,1; для образцов из древесины дуба – 2,8.

По совокупности результатов проведенных исследований показателей качества можно констатировать, что соединения на прессованные прямоугольные шипы не уступают по качеству традиционно применяемым зубчатым шиповым соединениям и могут быть рекомендованы к внедрению в промышленное производство.

Для разработки рекомендаций по проектированию соединений провели серию исследований по определению влияния геометрических характеристик шипов (величины зазора (натяга) N по толщине шипов и глубины проушин (длины шипов) h_n) и расхода клея R_k на прочность соединений при растяжении $\sigma_{r.c}$ и изгибе $\sigma_{iz.c}$. На данном этапе работы исследована прочность клеевых соединений заготовок из древесины сосны с шириной проушин 2,2 мм, толщиной шипов от 2,0 до 2,4 мм, длиной шипов от 5,3 до 10,3 мм. Схема описания процесса приведена на рисунке 21.

В результате реализации эксперимента и обработки данных получены уравнения регрессии (18), (19), в которых члены регрессии расположены в порядке их значимости:

$$\sigma_{p.c} = 182,18 + 147,24Nh_n - 1200,19N - 0,32Nh_nR_k + 2,63NR_k + 0,05h_nR_k - 0,40R_k - 20,56h_n, \quad (18)$$

$$\sigma_{iz,c} = 81,28 - 122,49N + 631,2N^2 + 0,33R_k + 1,49h_n^2 - 25,09h_n . \quad (19)$$

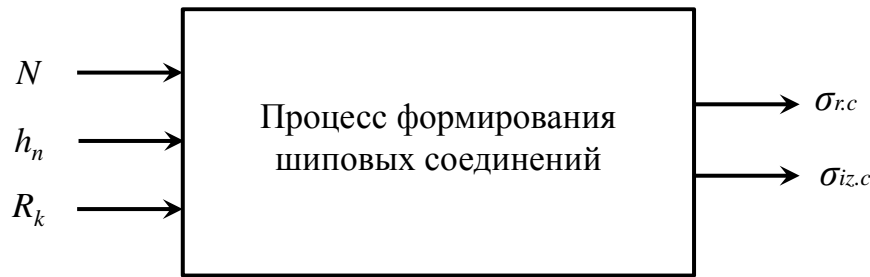


Рисунок 21 – Схема описания процесса формирования шиповых соединений

Наиболее значимой из независимых переменных является величина зазора (натяга) N (рисунок 22 *а*). Так, при увеличении N на 0,1 мм предел прочности на растяжение возрастает на 1,92 МПа. При изменении характеристик посадки с зазора, равного -0,1 мм, до натяга, равного 0,2 мм, прочность соединения увеличится в среднем на 39,27 %. Длина шипов является менее значимым параметром. Расход клея в исследованном диапазоне малозначимо влияет на прочностные показатели соединений.

Результат анализа поверхностей и контуров желательности (пример приведен на рисунке 22 *б*) показал, что оптимальные значения натяга находятся в диапазоне 0,05–0,2 мм, глубины проушин (длины шипов) – в диапазоне 6–10,6 мм, клея – до 120 г/м². Полученные результаты согласуются со сделанными ранее теоретическими выводами.

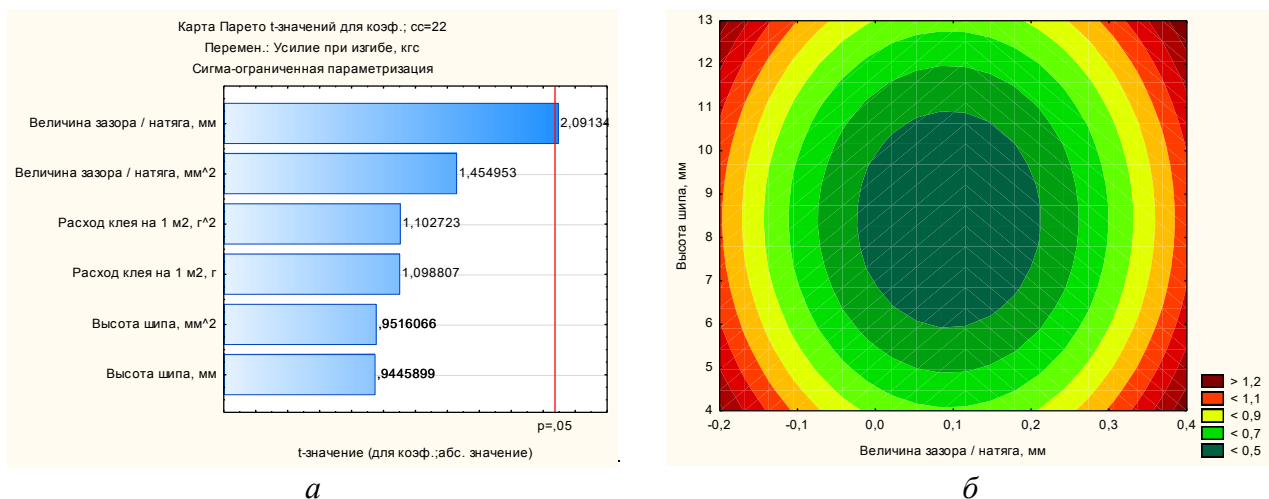


Рисунок 22 – Графическое представление характеристик регрессионной модели (19):
а – карта Парето; *б* – контуры желательности

В шестом разделе разработана методика оценки эффективности шиповых соединений и проведена ее апробация на примере разработки технологического процесса сращивания заготовок для изготовления дверной филенки с применением способа торцового прессования шипов.

Алгоритм оценки и выбора шиповых соединений различного назначения, необходимого технологического оборудования и оснастки включает три этапа:

- 1) выбор параметров шипового соединения;
- 2) выбор наиболее эффективного оборудования;
- 3) выбор наиболее эффективной оснастки.

Этап 1 включает разработку конструкций альтернативных вариантов шиповых соединений на основе разработанного классификатора соединений (рисунок 23) с учетом исходных данных и требований, цели и задач внедрения.

1.1		1.1.1		1.1.2		1.1.3		1.1.4		1.1.5	
По форме продольного сечения шипа		Треугольный		Прямоугольный		Трапецеидальный		Сложной формы			
1.2		1.2.1		1.2.2		1.2.3		1.2.4		1.2.5	
По форме поперечного сечения шипа		Круглый		Прямоугольный		Треугольный		Сложной формы			
1.3		1.3.1		1.3.2		1.3.3		1.3.4		1.3.5	
По количеству шипов		Один шип		Двойной		Тройной		Многосиповое соединение			
1.4		1.4.1		1.4.2		1.4.3		1.4.4		1.4.5	
По количеству рядов шипов		Один ряд		Два ряда		Три ряда		Многорядное соединение			
1.5		1.5.1		1.5.2		1.5.3		1.5.4		1.5.5	
По расположению рядов		Без сдвига относительно друг друга		Со сдвигом относительно друг друга		В шахматном порядке					
1.6		1.6.1		1.6.2		1.6.3		1.6.4		1.6.5	
По расположению шипов относительно торца заготовки		Выступающие		Внутренние		Переходная форма					
1.7		1.7.1		1.7.2		1.7.3		1.7.4		1.7.5	
По выходу на пласт заготовки		Видимые		Невидимые							
1.8		1.8.1		1.8.2		1.8.3		1.8.4		1.8.5	
По выходу на кромку заготовки		Видимые		Невидимые							
1.9		1.9.1		1.9.2		1.9.3		1.9.4		1.9.5	
По конструкции шипа		Цельный		Вставной							

- прямоугольный фрезерованный шип С2
- — — — — зубчатый фрезерованный шип С3
- - - - - прямоугольный видимый прессованный шип С4
- прямоугольный невидимый прессованный шип С5

Рисунок 23 – Классификатор шиповых соединений с примерами выбора альтернативных вариантов

В качестве альтернативных вариантов предложены соединения: С1 - впритык на гладкую фугу, С2 – на прямоугольные фрезерованные шипы, С3 – на фрезерованные зубчатые шипы, С4 – на прессованные прямоугольные шипы, видимые по пласти, С5 – на прессованные прямоугольные шипы, невидимые по пласти (рисунок 24). Признаки альтернативных вариантов соединений показаны на классификаторе (рисунок 23) с помощью графов, за исключением соединения С1, которое не относится к шиповым.

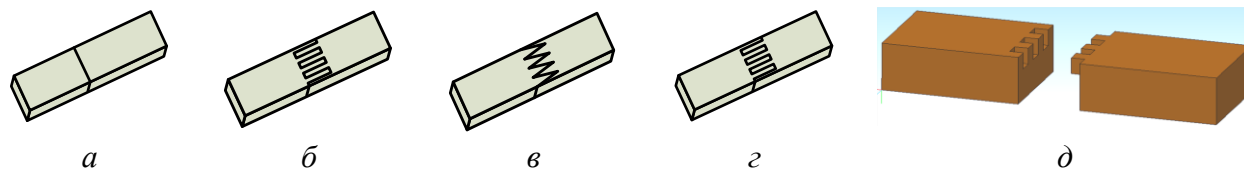


Рисунок 24 – Эскизы альтернативных вариантов соединений:
а – С1; б – С2; в – С3; г – С4; д – С5

Для оценки уровня качества альтернативных вариантов соединений воспользовались приемами, применяемыми в квалиметрии продукции: разработали развернутую номенклатуру показателей качества, включающую 11 групп показателей (показатели назначения, надежности, технологичности и т.д.), в которые вошли 114 единичных показателей. На их основе с помощью экспертной оценки была получена конкретная номенклатура, применяемая для оценки качества соединения в заданных условиях предприятия. В нее вошли наиболее значимые единичные показатели: глубина деформированной зоны, изменение макроструктуры деформированной зоны, шероховатость граней проушины, твердость дна проушины, прочность соединения по длине на растяжение, прочность соединения по длине на изгиб. Совокупность этих показателей характеризует технический уровень соединений.

Для определения значений единичных показателей использовали модели и результаты экспериментальных оценок, полученные в разделах 2–5. Расчет уровня качества, проведенный по дифференциальному методу, позволил установить наилучшие из сравниваемых варианты С3, С4, С5 и отсеять менее предпочтительные варианты С2 и С1 из числа сравниваемых альтернатив. Уточненные значения уровней качества, определенные по комплексному методу для соединений С3, С4, С5 составили соответственно 0,27; 0,84; 0,86; т.е. последние два типа соединений существенно превосходят по качеству соединение С3. Вместе с тем для дальнейшей проработки были приняты все три варианта, поскольку далее в оценке конкурентоспособности участвуют экономические показатели, которые могут существенно различаться для технологий фрезерования и прессования.

На следующих этапах работы производили выбор прессового оборудования и оснастки на основе разработанного классификатора в виде морфологической таблицы. Подобрано пять альтернативных вариантов оборудования и оснастки: Т1 – изготовление соединения С3 на базе пресса для сращивания заготовок по длине; Т2 – изготовление соединения С4 на базе установки для мелкосерийного производства и экспериментальных исследований; Т3 – изготов-

ление соединения С5 на базе установки для мелкосерийного производства и экспериментальных исследований; Т4 – изготовление соединения С4 на базе винтового прессы для сплачивания заготовок по ширине; Т5 – изготовление соединения С5 на базе винтового прессы для сплачивания заготовок по ширине.

Оценка эффективности произведена с помощью показателя «Затраты на изготовление соединения $C_{ис}$ », рассчитанного с использованием данных предприятия, справочных данных и моделей для определения усилия прессования, полученных в разделе 4. По результатам расчетов сравнительная себестоимость изготовления соединений составила: для варианта Т1 – 2,77 руб., для Т2 – 3,82 руб., для Т3 – 4,49 руб., для Т4 – 5,48 руб., для Т5 – 6,81 руб.

Оптимальным сочетанием комплексных показателей конкурентоспособности являются наименьшие затраты на изготовление соединения $C_{ис}$ при максимальном техническом уровне соединения $K_{ис}$. На рисунке 25 приведены гистограммы для сравнения этих показателей по пяти альтернативным вариантам Т1 – Т5.

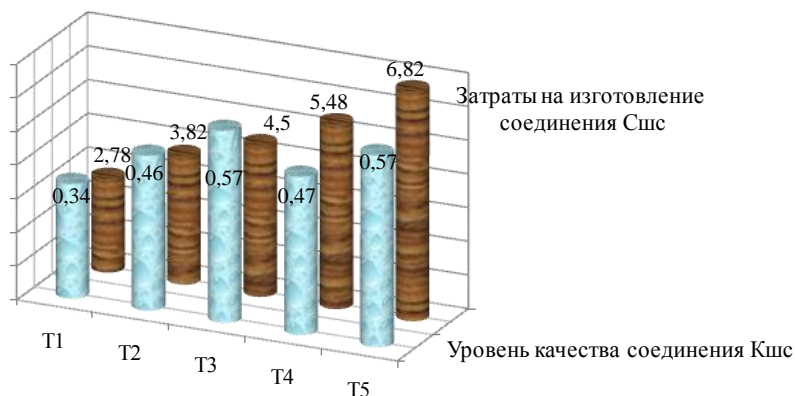


Рисунок 25 – Сравнение альтернативных вариантов технологических процессов изготовления соединений по комплексным показателям

Оптимальным сочетанием показателей обладают варианты Т2 и Т3. Вариант Т2 обладает более низким уровнем качества $K_{ис} = 0,46$ и меньшей себестоимостью $C_{ис} = 3,82$ руб. Вариант Т3 – более высоким уровнем качества $K_{ис} = 0,57$, но большей себестоимостью $C_{ис} = 4,5$ руб. Для заданных условий, т.е. для мелкосерийного производства дверной филенки на предприятии ООО «Ресурс», наиболее эффективным является вариант Т2 – прессование соединения С4 на прямоугольный шип, видимый по пласти, на прессе П-10 с оснасткой. Использование указанных технических предложений и рекомендаций позволило повысить качество соединений и снизить себестоимость их изготовления на 6,4 % за счет сокращения затрат на инструмент и снижения энергоемкости процесса формирования шипов вследствие отказа от использования системы аспирации.

На основании результатов проведенных исследований определен состав и последовательность этапов технологического процесса, технологические требования и режимы формирования соединений на основе технологии прессования шипов. Первая группа технологических операций по продольному и попе-

речному раскрою сухих пиломатериалов с вырезкой дефектов проводится по типовым режимам и не отличается от подготовки заготовок, предназначенных для сращивания по длине. Далее производятся технологические операции, приведенные в таблице 5. Здесь приведены этапы обработки заготовок, начиная с их сортировки и заканчивая сборкой соединения. Обработка проводится при влажности древесины, соответствующей эксплуатационной влажности изделий, при нормальной температуре и влажности производственного помещения.

Таблица 5 – Параметры режимов технологических операций формирования клеевых соединений на прессованные шипы

Основные этапы технологического процесса	Технологические требования и режимы
Сортировка и отбор заготовок	Наклон волокон не более 15 % для образцов из древесины сосны, не более 10 % – из березы и дуба.
	Отсутствие трещин и сучков в зоне прессования.
	Преимущественно тангенциально ориентированная плась.
	Влажность заготовок 6–12 %.
Обжим заготовки в оснастке	Двух- или четырехсторонний обжим заготовок.
	Направление усилия двухстороннего обжима – со стороны кромок заготовки.
	Усилие обжима 0,8–1 кН для образцов древесины сосны, 0,9–1,2 кН из березы и дуба.
Формирование шипов прессованием	Материал пуансона – Ст3сп.
	Точность инструмента – 11 квалитет.
	Скорость прессования 2–4 мм/с.
	Температура заготовки, инструмента и окружающей среды 18-25 °С.
	Величина усилия прессования – по формулам (5), (8), (11), с учетом количества шипов; формуле (14). (На примере заготовок из древесины сосны сечением 25×40 мм: 28–30 кН).
	Глубина проушины 9–11 мм.
	Ширина проушины 2–4 мм.
Нанесение клея	Рекомендуемые клеи – на основе ПВА-дисперсии.
	Двухстороннее нанесение
	Расход клея 95–140 г/м ² .
Сборка и запрессовка соединения	Натяг в соединении шип-проушина от 0,1 до 0,2 мм.
	Усилие запрессовки 8,8–11,7 кН.
	Время выдержки под давлением 10–20 с.
Время технологической выдержки после склеивания	В зависимости от типа используемого клея: от 5 до 20 мин.

После сборки соединений заготовки подвергают механической обработке в соответствии с назначением, например, двух- или четырехстороннему фрезерованию и другим последующим операциям по типовым режимам изготовления клееных изделий.

Перспективами применения технологии являются изготовление закрытых (рисунок 26 *а*) и полузакрытых (рисунок 26 *б*) соединений по длине. Типовые угловые соединения на прямоугольные ящичные шипы (рисунок 26 *в*) также могут быть получены способом прессования.

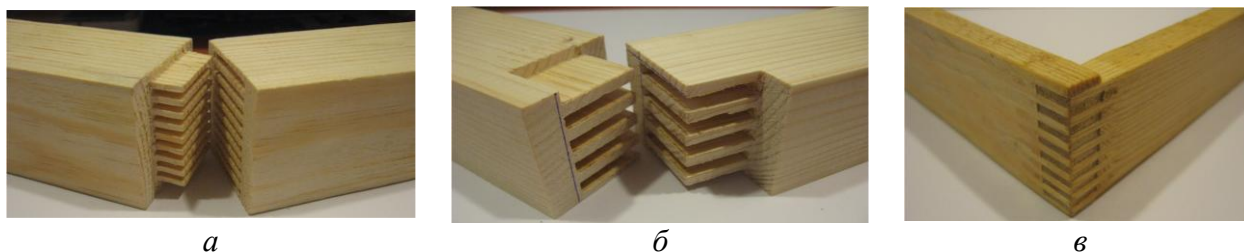


Рисунок 26 – Экспериментальные образцы соединений: *а* – на закрытые шипы; *б* – на полузакрытые шипы; *в* – на открытые прямоугольные шипы

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При внедрении призматического пуансона в древесину происходит сдвиг и сжатие древесины вдоль волокон, формирование под проушиной «пробки» из пластически деформированной древесины, которую можно рассматривать как более плотное включение в структуру по типу сучка, незначительно влияющее на общие свойства основного объема древесины. Упругое восстановление «пробки» не превышает 6 %.

2. Использование нового способа местного торцевого прессования обеспечивает формирование прямоугольных проушин высокого качества с шероховатостью поверхности не более 86 мкм, точностью не ниже 13 квалитета без разрушения прилегающих зон древесины при выполнении ряда условий: влажность древесины от 5 до 18 %; наклон волокон не более 15 % для образцов из древесины сосны и не более 10 % для образцов из древесины березы и дуба; наличие бокового обжима заготовок в процессе прессования с усилием от 300 до 1 кН для образцов из древесины сосны, от 400 до 1,2 кН для березы и дуба в зависимости от ширины формируемых проушин; глубина внедрения пуансона до двух с половиной ширин проушины ($h_n > 2,5 B$).

3. Теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены требования к посадкам для нового типа соединений по длине – на прямоугольные шипы. Предпочтительными посадками для прямоугольных шипов малых толщин являются $H13/k13$ и $H13/za13$, рекомендуемый допуск шага – по полю допуска $k14$ и $za14$. Использование посадки с натягом обеспечивает существенное повышение (до 39 %) прочности соединений по сравнению с посадкой с зазором. Полученные результаты позволяют проектировать параметры рабочих частей пуансонов.

4. Теоретические и экспериментальные исследования позволили установить, что основными факторами, влияющими на процесс холодного статического прессования проушин в заготовках одной породы, являются размеры проушины и влажность древесины.

5. Определены рациональные значения входных параметров технологических режимов (влажности, глубины и ширины проушин), обеспечивающие высокое качество обработки при минимальных энергозатратах. Рекомендуемые значения влажности W находятся в пределах 7–9,5 %, глубины h_n прессуемых проушин до 9–11 мм, ширины проушин $B \leq 4$ мм.

6. Подтверждена стабильность протекания технологического процесса местного торцового прессования, что позволяет варьировать параметры соединения (длину шипа, величину натяга) с целью получения заданных характеристик шипового соединения без значительного возрастания усилия прессования.

7. Соединения на прессованные прямоугольные шипы имеют высокое качество, в том числе хорошие эстетические показатели и относительную прочность, достигающую 80 %, удовлетворяющую требованиям стандартов, поэтому могут быть рекомендованы для изготовления клееных деревянных конструкций, столярно-строительных и других изделий.

8. Разработанная методика комплексной оценки эффективности шиповых соединений и технологии их изготовления, включающая алгоритм их оценки и выбора, классификаторы соединений, оборудования и оснастки; систему показателей качества соединений и критерии эффективности оборудования и оснастки; схему оценки уровня качества соединений и модели для его определения, позволяет осуществлять обоснованный выбор наиболее эффективной технологии сращивания в зависимости от назначения соединения и требований к конечным изделиям.

9. Использование предложенных в работе рекомендаций позволяет достичь снижения себестоимости изготовления шиповых соединений на 6,4 % за счет снижения энергоемкости процесса формирования шипов вследствие отказа от использования систем аспирации, сокращения затрат на инструмент, снижения сроков подготовки производства.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

Публикации в изданиях, индексируемых Web of Science CC и Scopus:

1. Rubleva, O. Structural changes of pine wood caused by local pressing in the longitudinal direction / O. Rubleva. – DOI 10.12841/wood.1644-3985.268.06 // *Drewno*. – 2019. – Т. 62. – № 204. – С. 23–39. (**WoS CC JCR Q2, Scopus SJR Q2**).

2. Rubleva, O.A. Prediction model for the pressing process in an innovative forming joints technology for woodworking / O.A. Rubleva, A.G. Gorokhovskiy. – DOI 10.1088/1757-899X/537/2/022064 // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Workshop on Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering - MIP: Engineering-2019*; Krasnoyarsk; Russian Federation; 4–6 April 2019. – 2019. – Т. 537. – Вып. 2. – Ст. 022064. (**WoS CC, Scopus**).

Статьи в рецензируемых изданиях, включенных в Перечень ВАК**Минобрнауки РФ:**

3. Рублева, О.А. Качество шипов, изготовленных холодным торцовым прессованием / О.А. Рублева, Г.П. Кузнецов // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2010. – № 4. – С. 160–163.

4. Кузнецов, Г.П. Системный подход к проектированию шиповых соединений деревянных деталей и технологических процессов их изготовления / Г.П. Кузнецов, О.А. Рублева // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2010. – № 4. – С. 155–159.

5. Рублева, О.А. Формирование прямоугольных шипов способом торцового прессования / О.А. Рублева. – DOI 10.12737/2191 // Лесотехнический журнал. – 2013. – № 4 (12). – С. 126–133.

6. Рублева, О.А. Прочность склеивания древесины по длине на прямоугольные шипы / О.А. Рублева, А.Г. Гороховский // Хвойные бореальной зоны. – 2019. – Т. XXXVII, № 5. – С. 358–366.

7. Рублева, О.А. Экспериментальная оценка прочности склеивания древесины по длине на прямоугольные прессованные шипы / О.А. Рублева, А.Г. Гороховский. – DOI 10.37482/0536-1036-2020-3-128–142 // Лесной журнал. – 2020. – № 3. – С. 128–142. (WoS CC).

8. Рублева, О.А. Методика и результаты экспериментальных исследований процесса формирования клеевых соединений на прямоугольные прессованные шипы / О.А. Рублева, А.Г. Гороховский, Е.Е. Шишкина // Хвойные бореальной зоны. – 2020. – Т. XXXVIII, № 1-2. – С. 72–81.

9. Рублева, О.А. Экспериментальная оценка влияния режимных параметров на энергосиловые показатели процесса торцового прессования многократных прямоугольных шипов / О.А. Рублева, А.Г. Гороховский, Е.Е. Шишкина, М.В. Газеев // Хвойные бореальной зоны. – 2020. – Т. XXXVIII, № 1-2. – С. 82–90.

10. Рублева, О.А. Рациональные значения параметров процесса торцового прессования элементов шиповых соединений / О.А. Рублева. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2020.2/18 // Лесотехнический журнал. – 2020. – № 2 (38). – С. 179–187.

11. Рублева, О.А. Опыт применения штампового инструмента для формирования прямоугольных проушин и шипов / О.А. Рублева // Деревообрабатывающая промышленность. – 2020. – № 2. – С. 27–34.

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

13. Рублева, О.А. Технология формирования клеевых соединений на прессованные шипы / О.А. Рублева // Деревообрабатывающая промышленность. – 2020. – № 3. – С. 19–26.

Патенты на изобретения:

14. Патент № 2741614 Российская Федерация МПК В27F 1/00 (2006.01). Способ формирования элементов шиповых соединений деревянных заготовок : № 2011116271/13 : заявлено 25.04.2011 : опубликовано 10.01.2013 / Рублева О.А. ; заявитель ВятГУ. – 8 с.

15. Патент № 2694434 Российская Федерация, МПК В27М 1/02 (2019.02). Сборный пуансон для штампования древесины : № 2018122588 : заявлено 20.06.2018 : опубликовано 16.07.2019 / Рублева О.А. ; заявитель ВятГУ. – 9 с.

16. 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.

17. Патент № 2695387 Российская Федерация МПК А47В 96/00, В44С 1/24, В29С 43/00, В29С 70/58 (2006.01). Способ декорирования фасадов : № 2018131791 : заявлено 03.09.2018 : опубликовано 23.07.2019 / Рублева О.А., Паскарь В.С. ; заявитель ВятГУ. – 10 с.

Статьи в прочих рецензируемых изданиях:

18. Рублева, О.А. Квалиметрический подход к оценке качества шиповых соединений деревянных заготовок // *Advanced science*. – 2012. – № 1. – С. 32–46.

19. Рублева, О.А. Изменения структуры древесины сосны при внедрении призматического индентора вдоль волокон // *Advanced science*. – 2014. – №1 (4). – С. 194–208.

20. Рублева, О.А. Проблемы квалиметрической оценки продукции и оборудования деревоперерабатывающих производств на этапах определения цели оценки и выбора номенклатуры показателей / О.А. Рублева // *Advanced Science*. – 2017. – № 3. – С. 315–324.

21. Рублева, О.А. Посадки в клеевых соединениях на прямоугольные шипы / О.А. Рублева, А.Г. Гороховский. – DOI 10.25730/VSU.0536.19.044 // *Advanced Science*. – 2019. – № 4 (15). – С. 45–49.

Публикации в сборниках материалов конференций:

22. Рублева, О.А. Замена фрезерования в операции формирования шипов при сращивании древесных заготовок по длине на обработку давлением / О.А. Рублева, А.О. Россинский // *Наука – производство – технология – экология : сборник материалов ежегодной региональной научно-технической конференции ВятГТУ*. – Киров: ВятГТУ, 2000. – Т. 3. – С.103.

23. Рублева, О.А. Преимущества применения прессования для получения соединений пиломатериалов по длине / О.А. Рублева, А.О. Россинский // *Наука – производство – технология – экология : сборник материалов всероссийской ежегодной научно-технической конференции ВятГУ / ответственный редактор В.С. Кожин*. – Киров : ВятГУ, 2001. – Т. 3. – С. 157–158.

24. Кузнецов, Г.П. Система критериев для оценки конкурентоспособности соединений древесины по длине, полученных методом прессования / Г.П. Кузнецов, О.А. Рублева // *Наука – производство – технологии – экология : сборник материалов всероссийской научно-технической конференции / ответственный редактор В.С. Кожин*. – Киров : ВятГУ, 2002. – Т. 3. – С. 57–58.

25. Кузнецов, Г.П. Модель для расчета усилия прессования прямоугольной проушины в деревянной заготовке / Г.П. Кузнецов, О.А. Рублева // *Наука – производство – технологии – экология : сборник материалов всероссийской научно-технической конференции / ответственный редактор В.С. Кожин*. – Киров : ВятГУ, 2002. – Т. 3. – С. 59–60.

26. Рублева, О.А. Метод расчета усилия прессования прямоугольной проушины в деревянной заготовке / О.А. Рублева // Наука – производство – технологии – экология : сборник материалов всероссийской научно-технической конференции / ответственный редактор В.С. Кожин. – Киров : ВятГУ, 2002. – Т. 3. – С. 109–110.

27. Кузнецов, Г.П. Экспериментальная проверка модели для расчета усилия прессования древесины / Г.П. Кузнецов, О.А. Рублева // Наука – производство – технологии – экология : сборник материалов всероссийской научно-технической конференции / ответственный редактор В.С. Кожин. – Киров : ВятГУ, 2003. – Т. 5. – С. 78-79.

28. Кузнецов, Г.П. Изменение макроструктуры древесины при торцовом местном прессовании прямоугольной проушины / Г.П. Кузнецов, О.А. Рублева // Наука – производство – технологии – экология : сборник материалов всероссийской научно-технической конференции / ответственный редактор В.С. Кожин. – Киров : ВятГУ, 2004. – Т. 5. – С. 70–71.

29. Кузнецов, Г.П. Холодное торцовое местное прессование древесины как способ модификации / Г.П. Кузнецов, О.А. Рублева // Наука – производство – технологии – экология : сборник материалов всероссийской научно-технической конференции / ответственный редактор В.С. Кожин. – Киров : ВятГУ, 2004. – Т. 5. – С. 72-74.

30. Рублева, О.А. Анализ моделей расчета силовых параметров при прессовании шиповых соединений деревянных заготовок / О.А. Рублева, Г.П. Кузнецов // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы международной научно-технической конференции / ответственный редактор Р.В. Дерягин. – Вологда : ВоГТУ, 2005. – С. 83–84.

31. Рублева, О.А. Экспериментальное исследование показателей качества и усилия прессования прямоугольной проушины в заготовке из древесины сосны / О.А. Рублева, Г.П. Кузнецов // Наука – производство – технологии – экология : сборник материалов всероссийской научно-технической конференции / ответственный редактор В.С. Кожин. – Киров, ВятГУ, 2006. – Т. 5. – С. 175–179.

32. Рублева, О.А. Методика проектирования технологического процесса изготовления прямоугольного шипового соединения способом прессования / О.А. Рублева // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы международной научно-технической конференции / ответственный редактор Р.В. Дерягин. – Вологда : ВоГТУ, 2008. – С. 67–69.

33. Кузнецов, Г.П. Методика системного проектирования технологических процессов прессования шиповых соединений / Г.П. Кузнецов, О.А. Рублева // Наука – производство – технологии – экология : сборник материалов всероссийской научно-технической конференции / ответственный редактор А.В. Частиков. – Киров : ВятГУ, 2008. – Т. 4. – С. 150–151.

34. Рублева, О.А. Экспериментальное исследование качества шипов, изготовленных холодным торцовым прессованием / О.А. Рублева, Г.П. Кузнецов // Наука – производство – технологии – экология : сборник материалов всероссийской научно-технической конференции / ответственный редактор А.В. Частиков. – Киров : ВятГУ, 2010. – Т. 1. – С. 242–244.

35. Рублева, О.А. Экспериментальное исследование прочности шиповых соединений, изготовленных холодным торцовым прессованием / О.А. Рублева, Г.П. Кузнецов // Наука – производство – технологии – экология : сборник материалов

всероссийской научно-технической конференции / ответственный редактор А.В. Частиков. – Киров : ВятГУ, 2010. – Т. 1. – С. 245–247.

36. Рублева, О.А. Системный подход к разработке конструкции шиповых соединений и технологии их изготовления / О.А. Рублева, Г.П. Кузнецов // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : труды V Международного евразийского симпозиума / под научной редакцией В.Г. Новоселова. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2010. – С. 94–101.

37. Гананольский, С.Г. Получение элементов шиповых соединений безотходным способом торцового прессования деревянных заготовок / С.Г. Гананольский, О.А. Рублева // Февральские чтения : сборник материалов научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава Сыктывкарского лесного института по итогам научно-исследовательской работы в 2010 г. / ответственный редактор Е.В. Хохлова. – Сыктывкар : СЛИ, 2011. – С. 547–549.

38. Гананольский, С.Г. Способ изготовления прямоугольных шипов торцовым прессованием / С.Г. Гананольский, О.А. Рублева // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы международной научно-технической конференции / ответственный редактор Р.В. Дерягин. – Вологда : ВоГТУ, 2011. – С. 123–124.

39. Гананольский, С.Г. Безотходный способ формирования элементов шиповых соединений / С.Г. Гананольский, О.А. Рублева // Общество, наука, инновации (НТК-2011) : сборник материалов ежегодной открытой всероссийской научно-технической конференции / ответственный редактор С.Г. Литвинец. – Киров : ВятГУ, 2011. – Секция «Процессы и оборудование деревообрабатывающих производств». – Статья № 1. – 3 с.

40. Рублева, О.А. Показатели твердости дна проушин, полученных торцовым прессованием древесины // Актуальные проблемы лесного комплекса : сборник научных трудов по итогам международной научно-технической конференции / под общей редакцией Е.А. Памфилова. – Брянск : БГИТА, 2011. – Вып. 30. – С. 221–224.

41. Рублева О.А. Исследование влияния режимов торцового прессования на твердость дна проушин // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы международной научно-технической конференции / ответственный редактор Р.В. Дерягин. – Вологда: ВоГТУ, 2012. – С. 105–107.

42. Гананольский, С.Г. Разработка способа формирования шипов торцовым прессованием / С.Г. Гананольский, О.А. Рублева // Февральские чтения : сборник материалов научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава Сыктывкарского лесного института по итогам научно-исследовательской работы в 2011 г. – Сыктывкар : СЛИ, 2012. – С. 504–508.

43. Рублева, О.А. Результаты экспериментальных исследований твердости элементов шиповых соединений, полученных прессованием / О.А. Рублева // Общество, наука, инновации (НТК-2012) : сборник материалов всероссийской ежегодной научно-технической конференции / ответственный редактор С.Г. Литвинец. – Киров : ВятГУ, 2012. – С. 1291–1295.

44. Рублева, О.А. Алгоритм расчета материалов в производстве изделий из древесины / О.А. Рублева, А.А. Разова // Общество, наука, инновации (НТК-2012) : сборник материалов всероссийской ежегодной научно-технической конференции / ответственный редактор С.Г. Литвинец. – Киров : ВятГУ, 2012. – С. 1296–1299.

45. Рублева, О.А. Технологическая подготовка производства на современных мебельных предприятиях / О.А. Рублева, Е.С. Шушканова // Общество, наука, инновации (НТК-2012) : сборник материалов всероссийской ежегодной научно-

технической конференции / ответственный редактор С.Г. Литвинец. – Киров : ВятГУ, 2012. – С. 1316–1319.

46. Рублева, О.А. Методика оценки уровня качества шиповых соединений / О.А. Рублева // Актуальные проблемы лесного комплекса : сборник научных трудов по итогам международной научно-технической конференции / под общей редакцией Е.А. Памфилова. – Брянск : БГИТА, 2012. – Вып. 32. – С. 116–120.

47. Рублева, О.А. Показатели качества шиповых соединений / О.А. Рублева // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: материалы международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию кафедры механической технологии древесины ФГБОУ ВПО КГТУ / ответственные редакторы С.А. Угрюмов, Т.Н. Вахнина, А.А. Титунин. – Кострома : КГТУ, 2012. – С. 88–90.

48. Рублева, О.А. Оценка качества шипового соединения дифференциальным методом / О.А. Рублева // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : труды VII Международного евразийского симпозиума / под научной редакцией В.Г. Новоселова. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2012. – С. 135–140.

49. Косарев, А.Б. Исследование структуры прессованной древесины // А.Б. Косарев, О.А. Рублева // Общество, наука, инновации (НПК-2014) : сборник материалов всероссийской ежегодной научно-практической конференции / ответственный редактор С.Г. Литвинец. – Киров : ВятГУ, 2014. – С. 1375–1377.

50. Асанов, А.В. Исходные данные для расчета материалов в производстве мебели / А.В. Асанов, О.А. Рублева // Общество, наука, инновации (НПК-2014) : сборник материалов всероссийской ежегодной научно-практической конференции / ответственный редактор С.Г. Литвинец. – Киров : ВятГУ, 2014. – С. 1372–1374.

51. Рублева, О.А. Особенности технологической подготовки производства на малых мебельных предприятиях / О.А. Рублева // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика : сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-технической конференции «Техника и технологии – мост в будущее» / главный редактор В.М. Бугаков. – Воронеж : ВГЛТА, 2014. – № 5 ч. 4 (10-4), – С. 260–264.

52. Деньгин, А.В. Способ оценки уровня качества клееной балки / А.В. Деньгин, О.А. Рублева // Общество, наука, инновации (НПК-2015) : сборник материалов всероссийской ежегодной научно-практической конференции / ответственный редактор С.Г. Литвинец. – Киров : ВятГУ, 2015. – С. 743–747.

53. Пустовалова, И.О. Оценка уровня качества модульного паркета / И.О. Пустовалова, А.М. Шуплецова, О.А. Рублева // Общество, наука, инновации (НПК-2015) : сборник материалов всероссийской ежегодной научно-практической конференции / ответственный редактор С.Г. Литвинец. – Киров : ВятГУ, 2015. – С. 748–751.

54. Тарбеева, Н.А. Разработка художественно-конструкторского решения беседки в готическом стиле / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева // Общество, наука, инновации (НПК-2015) : сборник материалов всероссийской ежегодной научно-практической конференции / ответственный редактор С.Г. Литвинец. – Киров : ВятГУ, 2015. – С. 757–760.

55. Федоровский, А.Г. Квалиметрическая оценка арболита / А.Г. Федоровский, О.А. Рублева // Актуальные проблемы лесного комплекса : сборник научных трудов / под общей редакцией Е.А. Памфилова. – Брянск: БГИТУ, 2015. – Выпуск 43. – С. 193–196.

56. Федоровский, А.Г. Оценка уровня качества арболитовых блоков / А.Г. Федоровский, О.А. Рублева. – DOI 10.12737/15134 // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика : сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. – Воронеж, ВГЛТУ, 2015. – № 7. – Ч. 3 (18-3). – С. 107–110.

57. Ивликов, Н.В. Анализ факторов, влияющих на усилие прессования древесины / Н.В. Ивликов, О.А. Рублева // Общество, наука, инновации (НПК-2016) : сборник статей всероссийской ежегодной научно-практической конференции / ответственный редактор С.Г. Литвинец. – Киров : ВятГУ, 2016. – С. 1304–1309.

58. Деньгин, А.В. Способы получения рельефа на поверхности деревянных заготовок / А.В. Деньгин, О.А. Рублева // Общество, наука, инновации (НПК-2016) : сборник статей всероссийской ежегодной научно-практической конференции / ответственный редактор С.Г. Литвинец. – Киров : ВятГУ, 2016. – С. 1310–1316.

59. Деньгин, А.В. Обзор и анализ конструкций и способов изготовления деревянных игрушек / А.В. Деньгин, О.А. Рублева // Общество. Наука. Инновации (НПК-2017) : сборник статей всероссийской ежегодной научно-практической конференции. – Киров : ВятГУ, 2017. – С. 992–997.

60. Рублева, О.А. Вопросы практического применения дифференциального и комплексного методов при оценке уровня качества оборудования и продукции деревоперерабатывающих производств / О.А. Рублева // Общество. Наука. Инновации (НПК-2017) : сборник статей всероссийской ежегодной научно-практической конференции. – Киров : ВятГУ, 2017. – С. 2024–2033.

61. Рублева, О.А. Оценка конкурентоспособности продукции деревопереработки / О.А. Рублева // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : труды XII Международного евразийского симпозиума / под научной редакцией В.Г. Новоселова. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2017. – С. 44–50.

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

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

64. Лучинина, Е.К. Моделирование процесса торцового прессования древесины в программе Solid Edge / Е.К. Лучинина, О.А. Рублева // Общество. Наука. Инновации (НПК-2018) : сборник статей XVIII Всероссийской научно-практической конференции: в 3 томах. – Киров : ВятГУ, 2018. – Т. 2. – С. 537–541.

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

66. 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 при-

родных и искусственно возобновленных лесных экосистем : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию высшего лесного образования в г. Воронеж и ЦЧР России: в 2 томах / научный редактор С.С. Морковина. – Воронеж : ВГЛТУ, 2018. – Т. 2. – С. 323–330.

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

68. Рублева, О.А. Анализ современных требований по выбору посадок для клеевых соединений по длине на прямоугольные шипы / О.А. Рублева, А.Г. Гороховский // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы XVI Международной научно-технической конференции / ответственный редактор С.М. Хамитова. – Вологда : ВоГУ, 2019. – С. 135–138.

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

70. 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.

71. Рублева, О.А. Оценка прочности клеевых соединений по длине на прямоугольные шипы / О.А. Рублева, А.Г. Гороховский // 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. 59–61.

72. Тарбеева, Н.А. Влияние влажности древесины на показатели качества прессованных заготовок / Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева // Общество. Наука. Инновации (НПК-2018) : сборник статей XIX Всероссийской научно-практической конференции : в 4 томах. – Киров : ВятГУ, 2019. – Т. 2. – С. 380–386.

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

74. Паскарь, В.С. Роль ресурсосберегающих технологий деревообработки в сохранении лесных экосистем / В.С. Паскарь, О.А. Рублева // Сохранение лесных экосистем: проблемы и пути их решения : материалы II Международной научно-практической конференции. – Киров : ВятГУ, 2019. – С. 147–150.

75. Рублева, О.А. Перспективы применения технологии торцового прессования для изготовления элементов шиповых соединений / О.А. Рублева, А.Г. Гороховский, Е.Е. Шишкина // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века :

труды XIV Международного евразийского симпозиума / под научной редакцией В.Г. Новоселова. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2019. – С. 63–68.

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

77. 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 : посвящается 90-летию Уральского государственного лесотехнического университета (УЛТИ–УГЛТА–УГЛТУ). – Екатеринбург : УГЛТУ, 2020. – С. 131–134.

78. Демидов, Н.Н. Моделирование процесса прессования проушины в заготовках из древесины сосны / Н.Н. Демидов, О.А. Рублева // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XVI Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов : посвящается 90-летию Уральского государственного лесотехнического университета (УЛТИ–УГЛТА–УГЛТУ). – Екатеринбург : УГЛТУ, 2020. – С. 16–19.

79. Рублева, О.А. Моделирование процесса прессования прямоугольных проушин в заготовках из древесины сосны / О.А. Рублева, Н.Н. Демидов // Общество. Наука. Инновации (НПК-2020) : сборник статей XX Всероссийской научно-практической конференции: в 2 томах. – Киров : ВятГУ, 2020. – Т. 2. – С. 333–339.

80. 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.

81. Рублева, О.А. Методика определения рациональных значений режимных параметров процесса торцового прессования шипов / О.А. Рублева, А.Г. Гороховский, Е.Е. Шишкина // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : труды XV Международного евразийского симпозиума / ответственный редактор В.Г. Новоселов. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2020. – С. 48–54.

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

Подписано в печать . Печать цифровая. Бумага для офисной техники.

Усл. печ. л. . Тираж 130 экз. Заказ №

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

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