**Шайхутдинова, Айгуль Равилевна. Термомодифицирование древесины в среде водяного пара : диссертация ... кандидата технических наук : 05.21.05 / Шайхутдинова Айгуль Равилевна; [Место защиты: Казан. нац. исслед. технол. ун-т].- Казань, 2013.- 155 с.: ил. РГБ ОД, 61 13-5/1617**

**04201358165**

**Шайхутдинова Айгуль Равилевна**

**ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ В СРЕДЕ ВОДЯНОГО ПАРА**

05.21.05 - Древесиноведение, технология и оборудование

деревопереработки

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор САФИН P.P.

Казань 2013

**СОДЕРЖАНИЕ**

**ВВЕДЕНИЕ 5**

Глава I. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О

[ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАНИИ ДРЕВЕСИНЫ 15](#bookmark47)

1. Анализ существующих технологий

термомодифицирования древесины 15

1. Теоретические основы термомодифицирования

древесины 24

1. Исследование свойств термомодифицированной

древесины 30

[Выводы 37](#bookmark9)

Глава II. РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ В СРЕДЕ ВОДЯНОГО ПАРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВАКУУМНО­КОНВЕКТИВНЫХ АППАРАТОВ 40

1. Физическая картина процесса 40
2. [Формализация процесса 45](#bookmark11)
3. Математическое описание процесса вакуумно­конвективного термомодифицирования древесины в среде водяного пара 46
4. [Тепломассоперенос в процессе термомодифицирования пиломатериалов в среде водяного пара 47](#bookmark12)
5. [Математическое описание стадии охлаждения термомодифицированного пиломатериала 55](#bookmark31)
   1. Алгоритм расчета процесса термомодифицирования

древесины в среде водяного пара 58

[Выводы 61](#bookmark33)

Глава III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВАКУУМНО-КОНВЕКТИВНОГО ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ В СРЕДЕ ВОДЯНОГО ПАРА

1. Описание экспериментальной установки для исследования процессов, протекающих при вакуумно-конвективном

термомодифицировании древесины в среде перегретого водяного пара

1. Описание экспериментальной установки для исследования процессов, протекающих при термомодифицировании

древесины в среде насыщенного водяного

пара

1. Математическое моделирование и экспериментальное исследование процессов, протекающих при

термомодифицировании древесины в среде водяного пара

Выводы

Глава IV. ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ТЕРМОМОФИЦИРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ В ВОДЯНОМ ПАРЕ

1. Аппаратурное оформление процесса термомодифицирования и сушки пиломатериалов в среде перегретого водяного пара
2. Опытно-промышленные испытания вакуумно­конвективной камеры термомодифицирования пиломатериалов в среде перегретого пара
3. Аппаратурное оформление процесса

термомодифицирования и подсушки пиломатериалов в среде насыщенного водяного пара

1. [Пилотные испытания термомодифицирования и подсушки оцилиндрованных бревен в насыщенном паре 109](#bookmark44)
2. Экспериментальные исследования изменений механических свойств древесины, прошедшей

термообработку 112

1. [Экспериментальные исследования процесса резания термически модифицированной древесины 113](#bookmark46)
2. [Экспериментальные исследования параметров шероховатости термически модифицированной древесины 115](#bookmark49)
3. Анализ экономической эффективности внедрения промышленных установок термомодифицирования

в среде водяного пара 117

[Выводы 120](#bookmark39)

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

121

**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ**

123

**ЛИТЕРАТУРА**

125

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

**ВВЕДЕНИЕ**

Во всем мире в последние годы происходит развитие новых технологий в области строительных материалов, в частности, древесины, которые направлены главным образом на то, чтобы улучшить физико­механические и декоративные свойства исходного материала, сделать его более прочным, упругим, долговечным.

**Актуальность исследования**

Древесина, как строительный материал, обладает множеством положительных свойств, однако относительно недолгий срок эксплуатации, сравнительно малая стабильность формы, а также наличие в ней грибковой инфекции снижают ее конкурентоспособность по сравнению с металлами и синтетическими материалами и ограничивают сферы ее возможного применения.

До недавнего времени для изменения физических свойств древесины и борьбы с грибком самым распространенным был метод химической обработки древесины путем пропитки или поверхностной обработки органическими или неорганическими солями, токсичное действие которых прекращает развитие грибка, но при этом оказывает негативное воздействие на окружающую среду. В связи с этим, одним из передовых направлений в технологии переработки древесины в последнее время является термомодифицирование древесины, направленное на улучшение качества, продление срока эксплуатации, а также расширение областей применения изделий из древесины. В результате термообработки получается экологически чистое термодерево, обладающее биостойкостью, долговечностью, стабильностью геометрических размеров, а также привлекательным эстетическим видом. Термомодифицирование древесины позволяет предлагать потребителям продукцию, отвечающую самым высоким запросам, а также дает возможность производить термодерево с заданными свойствами.

Признанным лидером по производству термодревесины в мире является финская компания VTT, разработавшая технологию термомодифицирования древесины в перегретом водяном паре Thermowood®. Кроме этого, наиболее крупными мировыми производителями термодревесины являются компании Lunawood Оу, Valutec Оу и Tekmaheat Оу (Финляндия); Baschild (Италия); «Superior Thermowood» (Канада); «Miihlbock-Holztrocknungsanlagen» (Австрия), Tre Timber (Эстония). В числе основных российских компаний следует выделить «Проминвест ДИАРС» и ООО «Вест-Вуд Рус».

Несмотря на высокую стоимость водяного пара и, как следствие, энергоемкость процесса многие зарубежные производители термодревесины остановили свой выбор на водяном паре, как наиболее оптимальном агенте обработки для получения термоматериала высокого качества, выделяя среди преимуществ высокий коэффициент теплоотдачи водяного пара, высокую пожаробезопасность процесса и качество готовой продукции, определяемое однородностью цвета по всему сечению термодерева. Кроме того, абсолютно герметичные условия проведения процесса термообработки снижают вред для рабочего персонала, исключая утечку продуктов разложения древесины из аппарата, обеспечивая, тем самым, позитивную экологическую обстановку в зоне работы термокамеры. Данная технология также может быть эффективной для производств, где имеется дешевый водяной пар.

Однако, несмотря на ряд преимуществ, технология термомодифицирования в среде водяного пара в нашей стране не нашла широкого применения, постепенно вытесняясь менее энергозатратными, не всегда обеспечивающими высокое качество продукции методами термообработки. В связи с чем, являются актуальными исследования, направленные на снижение энергозатрат в процессе термомодифицирования древесины в среде водяного пара и нахождение ниш рационального использования водяного пара при термомодифицировании: разработка энергосберегающей технологии термомодифицирования высоковлажного

крупногабаритного древесного сортамента в среде насыщенного водяного пара без предварительной сушки, а также усовершенствование технологии термомодифицирования древесины в среде перегретого водяного пара.

Настоящая работа выполнялась при поддержке гранта по программе Старт 1 «Разработка системы улова и утилизации летучих продуктов разложения древесины в процессе ее термической модификации с одновременным получением тепловой энергии для предварительной сушки пиломатериалов» (контракт № 9877р/10441) и государственного контракта № 16.525.11.5008 по теме «Создание технологии и опытной установки

комплексной переработки отходов лесной промышленности с получением теплоизоляционного материала».

**Степень разработанности проблемы.** Исследования процессов термомодифицирования древесных материалов проводились как зарубежными, так и российскими учеными. Среди отечественных

исследователей можно выделить Ахметову Д.А., разработавшую

энергосберегающую технологию вакуумно-кондуктивного

термомодифицирования древесины; Белякову Е.А., исследовавшую

термомодифицирование твердых пород древесины в жидкостях; Кайнова П.А., создавшего энергосберегающую технологию термического модифицирования материалов в среде топочных газов, а также Владимирову Е.Г., разработавшую технологию производства заготовок из термически модифицированной древесины.

Среди зарубежных исследователей, занимавшихся вопросами тепло- и влагопереноса в технологиях термообработки древесины, а также теплофизическими свойствами древесины, можно выделить: ученого Nencho Deliiski (Bulgaria); термомодифицированием древесины - ученого Andreas О. Rapp (Germany); вопросами влияния термической обработки на физико­механические, химические и эксплуатационные свойства древесины - Danica Kacikova, Frantisek Kacik (Slovakia) и Ladislav Dzurenda (Slovakia). Vincent Repellin (France) исследовал закономерности изменения цветовой гаммы

древесины в процессе термомодифицирования; вопросам обработки древесины в среде органических масел посвящены работы Anna Koski (Finland), Michael Sailer (Germany).

**Цель и задачи исследования** состоят в изучении и

усовершенствовании технологии термомодифицирования древесины с позиций снижения энергозатрат на ведение процесса и нахождения нити рационального использования водяного пара при термомодифицировании.

В связи с этим, в настоящей работе были поставлены следующие

задачи:

1. Исследование современных технологий термообработки древесины;
2. Разработка математической модели процессов

термомодифицирования пиломатериалов в среде водяного пара, включающей стадии термической обработки в насыщенном паре, в перегретом паре, охлаждения материала путем пропаривания;

1. Исследование процессов тепломассопереноса в паровой среде, ее теплообмена с материалом и тепломассопереноса внутри самого материала в ходе высокотемпературной обработки с целью выявления рациональных режимных параметров ведения процесса термомодифицирования в среде водяного пара;
2. Разработка энергосберегающей технологии

термомодифицирования высоковлажного крупногабаритного древесного сортамента в среде насыщенного водяного пара с последующей подсушкой; исследование и усовершенствование технологии термомодифицирования древесины в среде перегретого водяного пара;

1. Разработка аппаратурного оформления и промышленная реализация предлагаемых способов термообработки древесины в среде водяного пара.

**Предмет и объект исследования.** Предметом исследования является технология термомодифицирования древесины в среде водяного пара.

Объектом исследования является древесина сосны, березы, дуба и их характеристики, изменяющиеся в ходе термообработки.

**Методологическая, теоретическая и эмпирическая база исследования.** Методологической базой исследования являются теоретические и экспериментальные данные по механизму процесса тепломассопереноса в паровой среде и её теплообмена с материалом, а также тепломассопереноса внутри самого материала в ходе высокотемпературной обработки. В работе использованы методы математического и физического моделирования. Теоретическую базу исследований составляли работы ученых по вопросам сушки и термомодифицирования коллоидных материалов с капиллярно-пористой структурой, влияния высокотемпературной обработки на свойства пиломатериалов, а также исследования физико-механических свойств древесины. Эмпирической основой являлись исследования физических и механических свойств объекта обработки, таких как: температура, плотность, удельная сила резания, параметр шероховатости Rz и цветовые характеристики.

**Научные результаты, выносимые на защиту.** В процессе выполнения работы лично соискателем получены следующие научные результаты:

1. Анализ современных технологий термообработки древесины;
2. Математическая модель процессов вакуумно-конвективного термомодифицирования пиломатериалов в среде водяного пара, позволяющая определить продолжительность стадий вакуумирования, прогрева, непосредственного термомодифицирования древесины и охлаждения готового продукта;
3. Технология термомодифицирования высоко влажного

крупногабаритного древесного сортамента в среде насыщенного водяного пара с последующей подсушкой;

1. Усовершенствованная технология термомодифицирования древесины в среде перегретого водяного пара;
2. Разработанные экспериментальные установки для физического моделирования рассматриваемых процессов, а также исследования свойств термодревесины;
3. Конструкция пилотной установки термомодифицирования высоковлажного крупногабаритного древесного сортамента в среде насыщенного водяного пара с последующей подсушкой и результаты ее испытаний;
4. Конструкция промышленной установки вакуумно-конвективного термомодифицирования древесины в среде перегретого пара и результаты ее промышленных испытаний.

**Научная новизна результатов работы.** Работа содержит научно­обоснованные технические решения, направленные на обработку древесины термомодифицированием в среде водяного пара:

1. Разработана математическая модель процессов термомодифицирования древесины в среде водяного пара, позволяющая определить продолжительность стадий вакуумирования, прогрева, непосредственного термомодифицирования древесины, охлаждения готового продукта, подсушки.
2. Исследован тепломассоперенос внутри древесины в процессе термомодифицирования в среде водяного пара.
3. Разработана энергосберегающая технология

термомодифицирования высоковлажного крупногабаритного древесного сортамента в среде насыщенного водяного пара с последующей подсушкой, при которой обработке подвергается свежесрубленная древесина с в л агосо держанием более 60 *%.* Технологический процесс складывается из следующих основных этапов: повышение температуры в аппарате до 180 °С путем подачи насыщенного пара из парогенератора, выдержка древесины при высокой температуре и давлении насыщенного пара в течение 4-8 часов с целью термомодифицирования материала на глубину до 50 мм, вакуумирование для подсушки обработанной древесины.

1. Усовершенствована технология вакуумно-конвективного термомодифицирования древесины в среде перегретого водяного пара, отличающаяся от аналоговых улучшенными конечными качествами материала ввиду отсутствия характерного для термодревесины запаха, что достигается путем многократного пропаривания и вакуумирования термодерева на стадии охлаждения, а также параллельным проведением сушки пиломатериалов в камере сушки за счет тепловой энергии, высвобождаемой при охлаждении термодревесины.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическая значимость представленной работы заключается в разработке математической модели, которая позволяет определять рациональные режимные параметры исследуемого процесса термомодифицирования древесины в среде водяного пара, устанавливать физические характеристики объекта исследования в ходе термообработки и определять влияние отдельных факторов на проведение процесса.

Практическая значимость полученных научных результатов заключается в разработке рациональных технологических режимов ведения процесса термического модифицирования высоковлажной древесины в насыщенном водяном паре, что исключает дополнительные энергозатраты на предварительную сушку древесины, а также в усовершенствовании существующей технологии термомодифицирования древесины в среде перегретого водяного пара, позволяющей использовать отработанную тепловую энергию на предварительную сушку пиломатериала и исключить жженый запах термодревесины.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Основные результаты диссертационной работы соответствуют п. 1 «Исследование свойств и строения древесины как объектов обработки (технологических воздействий)», п. 2 «Разработка теории и методов технологического воздействия на объекты обработки с целью получения высококачественной и экологически чистой продукции» и п. 4 «Разработка

операционных технологий и процессов в производствах: лесопильном, мебельном, фанерном, древесных плит, строительных деталей и при защитной обработке, сушке и тепловой обработке древесины» из паспорта специальности 05.21.05 «Древесиноведение, технология и оборудование деревопереработки».

**Апробация и реализация результатов диссертации.** Основные положения и результаты работы докладывались на научных сессиях по технологическим процессам ФГБОУ ВПО «КНИТУ» (Казань, 2009-2013гг.), на Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса» (Вологда, 2008), на Международной научно-практической конференции «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте» (Одесса, 2011), на XXIV международной научной конференции «ММТТ-24» (Киев, 2011), на I международной научно-технической интернет-конференции «Лесной комплекс в XXI веке» (Казань, 2013).

Опытно-промышленная установка по термомодифицированию древесины в среде перегретого водяного пара ВУСТД 1, объемом загрузки 10,2 м пиломатериалов внедрена на ООО «Русская мебель» (г. Кимры).

Испытания пилотной установки по термомодифицированию высоковлажного крупногабаритного древесного сортамента в среде насыщенного пара ВУСТД 2 были проведены в условиях малого предприятия по производству домов из оцилиндрованного бруса ООО «Сириус» (г. Йошкар-Ола).

Материалы диссертации и созданные экспериментальные установки применяются в учебном процессе при чтении лекций и проведении лабораторного практикума по дисциплине «Гидротермическая обработка и консервирование древесины» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 250400.62 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств».

**- Личное участие** автора состоит в выборе темы и разработке основных идей диссертации, а также в постановке и решении задач теоретического, экспериментального и прикладного характера. При непосредственном участии автора разработаны лабораторные установки, выполнены эксперименты и проведены промышленные испытания. Автор разработал способ термообработки древесины (Пат. № 2422266) и способ сушки и термической обработки древесины (Пат. № 2425305). Автору принадлежат основные идеи опубликованных в соавторстве статей.

**Публикации.** По материалам диссертационной работы опубликовано 11 научных работ, в том числе 2 - в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и 2 патента РФ на изобретение.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, поставлена цель исследований, отмечена научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе проведено исследование современных технологий термообработки древесины, в результате чего поставлены задачи по исследованию процессов термомодифицирования древесины в среде водяного пара. Приводится анализ химических и физико-механических изменений в древесине в процессе термомодифицирования

Во второй главе приведен подробный анализ процесса термического модифицирования древесины в среде водяного пара. Приняты основные допущения, на основе которых разработана математическая модель термомодифицирования древесины в среде водяного пара, представлен алгоритм ее расчета.

В третьей главе приведено описание экспериментальных установок, представлены объекты исследования, а также методики и результаты исследований свойств модифицированных образцов; результаты

математического и физического моделирования исследуемого процесса термомодифицирования древесины в среде водяного пара при различных режимах обработки; установлена адекватность разработанной модели реальному процессу; определены рациональные режимные параметры.

В четвертой главе представлена промышленная реализация результатов исследований процесса термомодифицирования пиломатериалов в среде водяного пара: усовершенствованна технология

термомодифицирования древесины в среде перегретого водяного пара, разработаны две установки, представлены результаты их испытаний и дан анализ эффективности результатов разработки.

В приложении к работе даются результаты статистической обработки полученных данных и акты внедрений, подтверждающие практическое использование основных результатов работы предприятиями.

На всех этапах работы в качестве научных консультантов активное участие принимали к.т.н., доцент Разумов Е.Ю. и к.т.н., доцент Кайнов П.А.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В последние годы в России и за рубежом резко возросло развитие различных способов обработки древесины с целью улучшения качества, продления срока эксплуатации и расширения сфер ее применения. Одним из видов обработки, позволяющих улучшить свойства пиломатериала (повышенная биостойкость, долговечность, низкая равновесная влажность, высокие декоративные свойства) без воздействия химическими веществами является термомодифицирование древесины. Однако, несмотря на ряд преимуществ технологии, до сих пор выпуск термообработанных сортов дерева ограничен относительно небольшим количеством установок, производственная мощность которых составляет 5-10 тыс. м3 дерева в год. Причем на российского производителя термомодифицированной древесины приходится чуть более 5 *%* рынка. Одной из причин малой

распространенности термодревесины в России является недостаток знаний по технологии термомодифицирования, а также высокая стоимость ведения процесса, а следственно и термодерева.

Один из наиболее распространенных за рубежом способов термомодифицирования древесины в среде водяного пара в нашей стране не нашел широкого применения, вытесняясь менее энергозатратными, не всегда обеспечивающими высокое качество продукции методами термообработки. Поэтому исследования, направленные на снижение энергозатрат в процессе термомодифицирования в среде водяного пара, и нахождение ниш рационального использования водяного пара при термомодифицировании являются актуальной задачей.

В работе были исследованы процессы тепломассопереноса в паровой среде, ее теплообмена с материалом и тепломассопереноса внутри самого материала в ходе высокотемпературной обработки. По результатам исследования разработана математическая модель процессов термомодифицирования пиломатериалов в среде водяного пара, позволяющая определить продолжительность стадий прогрева, непосредственного термомодифицирования древесины и охлаждения ЮІОВОГО продукта путем вакуумирования, а также выявить режимные параметры ведения процесса термомодифицирования в среде водяного пара.

Впервые показана возможность проведения технологии термомодифицирования свежесрубленной древесины без предварительной сушки, для чего разработана энергосберегающая технология термомодифицирования высоковлажного крупногабаритного древесного сортамента в среде насыщенного водяного пара с последующей подсушкой для использования в деревянном домостроении, не имеющая аналогов на российском и зарубежном рынке.

Усовершенствована технология термомодифицирования древесины в среде перегретого пара, отличающаяся от аналога меньшей стоимостью, а также улучшенными конечными качествами материала ввиду отсутствия характерного для термодревесины запаха, что достигается путем многократного пропаривания и вакуумирования термодерева на стадии охлаждения. Технология предусматривает возможность проведения параллельной сушки пиломатериалов за счет тепловой энергии, отводимой при охлаждении готового термоматериала.

Разработано аппаратурное оформление предлагаемых способов термообработки древесины. Экономический эффект от внедрения установки для реализации вакуумно-конвективной сушки и термомодифицирования пиломатериалов в среде перегретого пара в производство составляет 15,4 млн. руб./год. Предполагаемый экономический эффект при внедрении установки по термомодифицированию высоковлажного крупногабаритного древесного сортамента в среде насыщенного водяного пара составляет 17,1 млн. руб./год.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Основные обозначения:

Т - температура, °С;

Р - давление, Па;

•5

П - производительность системы удаления воздуха, м /с V - объем, м3;

К - коэффициент теплопередачи, Дж/(м2\*с\*К);

2 о

F\* - приведенная площадь поверхности п/м, м /м ;

FM - площадь поверхности п/м, м ;

Nu - критерий Нуссельта; р - плотность, кг/м3;

о

Q - объемная производительность, м/с; с - удельная теплоемкость, Дж/(кг • К);

R - универсальная газовая постоянная, Дж/(кмоль • К); G - массовый расход, кг/с; m - масса, кг; т - текущее время, с;

q - удельная теплота химической реакции, Дж/кг; а - коэффициент теплоотдачи, Дж/(м2 • с • К); d - диаметр паропровода парогенератора, м; j - поток массы, кг/(м • с);

(і - молекулярная масса, кг/моль; ц' - коэффициент расхода;

г - скрытая теплота парообразования, Дж/кг; к’ - показатель адиабаты;

к - константа скорости химической реакции, с'1; а - коэффициент температуропроводности, м2/с;

*ij*

*X* - коэффициент теплопроводности, Дж/(м • с • К);

х, у, z, *£ -* координаты, м.;

At - температурный напор, К;

w - скорость, м/с

**Индексы:**

м - материал;

кал - калорифер;

пг- парогенератор;

пов.м - поверхность материала;

п - пар;

ср - среда;

пгс - парогазовая смесь;

с.пг. - система удаления парогазовой смеси;

см - смесь;

п.в - пар входящий;

вн - вакуумный насос;

ост - остаточный;

нас - насыщенный;

атм - атмосферный;

св - свободный;

вл - влага;

О - начальный; кон - конденсатор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетически полимеров. СПб., 1999. 628 с.
2. Ахметова Д.А., Сафин P.P., Зиатдинова Д.Ф., Мустафин З.Р. Влияние термообработки на эксплуатационные характеристики изделий из древесины // Материалы международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса» - Вологда: ВоГТУ,
3. -С. 221-222.
4. Ахметова Д.А., Сафин P.P., Зиатдинова Д.Ф., Тимербаев Н.Ф. Термомодифгікация древесины в вакуумно-кондуктивной сушилке // Сборник научных трудов «Актуальные проблемы лесного комплекса», Брянск: БГИТА, 2007. С. 192.
5. Ахметова Д.А., Н.Ф. Тимербаев Н.Ф., Д.Ф. Зиатдинова Д.Ф. Термомодификация древесины при кондуктивном подводе тепла в герметичных условиях // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. - 2008 г. - Т. 51. Вып. 7. - С. 76-78.
6. Ахметова Д. А. Разработка энергосберегающей технологии термомодифицирования древесины: автореф. дис. канд. техн. наук / Д.А. Ахметова. — Казань, 2009. - 16 с.
7. Белякова Е.А. Термомодифицирование твердых пород древесины в жидкостях: автореф. дис. канд. техн. наук / Е.А. Белякова. — Казань: 2012. — 16 с.
8. Белякова Е.А., Сафин P.P. Химия термомодифицированной древесины // Сборник трудов международной научно-практической конференции «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте ‘2011», Одесса. - С. 82-84.
9. Белякова Е.А., Сафин P.P., Сабиров А.Т., Разумов Е.Ю. Выбор оптимального варианта технологического оборудования для деревообрабатывающего производства // Вестник Московского

государственного университета леса «Лесной вестник» - Москва, 2009. - № 5.

л лл лг

* ZZ-ZJ.

1. Белякова Е.А., Хайрутдинов С.З., Белякова Т.А. Термомодифицирование древесины дуба в жидкостях // Научная сессия, аннотации сообщений. КГТУ. - Казань, 2011. - С. 325.
2. Благодаров Ю.А., Ермилов А.Н. и др. Сравнительный анализ разнотипных установок для сушки древесины. // Деревообраб. пром-ть. - 1994 - С. 22-24.
3. Богданов Е.С. Сушка пиломатериалов. - М.: Лесн. пром-сть, 1988.

* 248 с.

1. Боровиков А.М. Отбор подобных образцов для исследования влияния температуры, влажности и других технологических факторов на свойства древесины. // Актуальные направления развития сушки древесины. Тезисы докладов Всесоюзной конференции. Архангельск, 1930. С. 39-93.
2. Боровиков А.М. Справочник по древесине / А.М. Боровиков, Б.Н. Уголев; под общ. ред. Б.Н. Уголева. - М.: Лесн. пром-сть, 1989. - 296 с.
3. Брагина Л.В., Романенко И.Г., Ройтман В.М. Теплофизические свойства древесины // Нов. исслед. в обл. изготовления деревянных конструкций. - М., 1988. - С. 28-34.
4. Бывших М.Д. Исследование влияния температуры и влажности древесины на её упруго-пластические характеристики. ЦНИИМОД, 1958.
5. Валеев И.А. Термическая переработка отходов деревообрабатывающих предприятий: Дисс. канд. техн. наук. - Казань, 2006. -156 с.
6. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. - М.: Физматгиз, 1963. - 587 с.
7. Ваязов В., Форсайт Д. Разностные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных- М.: Иностранная литература, 1963. — 496 с.
8. Винник, Н И. Модифицированная древесина [Текст] / Н.И.

Винник. - М. : Лесная пром-сть, 1980. - 159 с.

1. Владимирова Е.Е Технология производства заготовок из термически модифицированной девесины: Дис. канд. техн. наук. -Москва, 2012. - 178 с.
2. Галяветдинов Н.Р. Энергосберегающая технология осциллирующей сушки-пропитки крупномерных пиломатериалов в жидкостях: Дис. канд. техн. наук. - Казань, 2008. - 138 с.
3. Гамаюнов Н.И., Гамаюнов С.Н. Изменение структуры коллоидных капиллярно-пористых тел в процессе тепломассопереноса. // ИФЖ. - 1996. - Т. 69. - № 6. - С. 954-957.
4. Голубев Л.Г. Древесиноведение: учеб. пособие / Л.Г.Голубев; Казан.гос.технол.ун-т Казань, 2005. 148 с.
5. ГОСТ 16483.0-78 «Древесина. Методы испытаний. Общие требования».;
6. ГОСТ 16483.0-89. Древесина. Общие требования к физико­механическим испытаниям. - Взамен ГОСТ 16483.0-78; введ. 1990-07-01. - М. Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1989. - 11 с.: ил.