



пиломатериалов, приводятся в разных источниках, где рассмотрены теплофизические особенности сушки древесины.

В отличие от конвективных и кондуктивных методов сушки СВЧ энергия способствует интенсификации процесса за счет объемного нагревания материала, что позволяет создать градиент температуры, содействующий движению влаги к поверхности материала на протяжении всего процесса.

Однако при СВЧ-сушке толстых сортиментов по сечению зачастую наблюдается неравномерность температуры, что приводит к сложному профилю распределения влаги по сечению материала, вызывающему развитие неконтролируемых внутренних напряжений.

### **Структура и содержание диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы (203 источника). Материал работы изложен на 129 страницах, включая 36 рисунков, одну таблицу и приложения.

В **первой главе** описаны актуальность и степень разработанности темы диссертации, а также цель и основные задачи исследования. Обоснованы научная новизна, теоретическая и практическая значимость, достоверность и обоснованность полученных результатов. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту. Представлены методология и методы исследований, личное участие автора, а также информация об апробации материалов работы.

Во **второй главе** обозначена идеология и способы разработки методов расчета процессов сушки пиломатериалов в условиях вакуумных СВЧ-аппаратов. Представлена физическая картина процесса, для формализации процесса введены допущения, которые, на наш взгляд, являются обоснованными. Предпринята попытка математического описания процессов вакуумной сушки пиломатериалов при СВЧ подводе тепловой энергии. Рассмотрен тепломассоперенос в процессе СВЧ-нагрева пиломатериала, тепломассоперенос в условиях понижения давления среды. Разработан алгоритм расчета процесса вакуумной СВЧ-сушки пиломатериалов в осциллирующем режиме.

В **третьей главе** представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований процессов вакуумной СВЧ-сушки пиломатериалов. Дано описание экспериментальной установки для исследований процессов, протекающих при СВЧ сушке в вакуумной среде. В

работе автор заявляет о рассмотрении методики проведения экспериментов и обработки экспериментальных данных. Однако методики обработки экспериментальных данных в работе информации нет. Только один сухой вывод, который вызывает большие сомнения. Любое экспериментальное исследование начинается с постановки статистической гипотезы. Этого в работе нет. Нет информации о выявлении закона распределения случайных величин, откуда можно делать вывод о возможности или невозможности выполнения корреляционного анализа, значима ли корреляционная зависимость. Это, безусловно, значительная недоработка автора.

В главе также дан анализ результатов математического моделирования и экспериментальных исследований процесса осциллирующей сушки пиломатериалов в СВЧ-среде. Однако нам не удалось отыскать ссылки автора на программное обеспечение, которое было использовано при моделировании. Была ли это собственная разработка или программное обеспечение стороннего производителя не понятно.

В четвертой главе даны рекомендации к промышленному использованию результатов исследований процесса осциллирующей свч-сушки пиломатериалов. Предложен вариант автономной энергосберегающей установки СВЧ-сушки пиломатериалов. Представлена методика расчета вакуумной СВЧ камеры, реализующей осциллирующий режим конденсационной сушки, определение основных конструктивных параметров сушильной камеры. По заявлению автора выполнен «Тепловой и аэродинамический расчет сушильной камеры». Однако аэродинамического расчета в главе нет. Есть ссылка на приложение Б2, в котором представлены только табличные данные без комментариев. Не ясно, это результаты теплового, аэродинамического расчета или исходные данные для них. Вероятно, аэродинамический расчет СВЧ-камеры отличается от подобного расчета конвективной камеры. В главе также даны рекомендации по режимным параметрам осциллирующей сушки пиломатериалов в вакуумной СВЧ установке.

**Научная новизна полученных результатов** заключается в том, что автором работы разработана математическая модель процесса вакуумной СВЧ-сушки пиломатериалов в осциллирующем режиме, основанная на законах тепломассопереноса в капиллярно-пористых коллоидных телах, и учитывающая расположение и удельную мощность источника СВЧ излучения и технологические параметры оборудования; разработана технология вакуумной

СВЧ-сушки пиломатериалов в осциллирующем режиме, состоящая из последовательно чередующихся стадий «СВЧ-нагрева» и «вакуумирования», и позволяющая повысить качество сушки пиломатериалов вследствие выравнивания влажности по слоям древесины на стадии «вакуумирования»; при этом стадия нагрева проводится чередованием в смежных циклах направления электромагнитного излучения относительно пиломатериала и в зависимости от влажности высушиваемой древесины характеризуется:

- предварительным удалением воздуха из аппарата при высокой влажности древесины и ведением стадии нагрева при пониженном давлении среды;

- предварительным притоком воздуха в аппарат перед стадией нагрева и проведением нагрева древесины при атмосферном давлении среды в камере при влагосодержании материал ниже 30 %, что способствует интенсификации удаления свободной влаги на начальном этапе и контролируемому развитию внутренних напряжений на этапе удаления связанной влаги; разработаны рациональные режимные параметры предложенного способа сушки древесины: стадию СВЧ-нагрева целесообразно осуществлять до достижения температуры в центре материала 70 °С; стадию «вакуумирования» осуществлять понижением давления среды до 5 – 10 кПа и выдержкой под вакуумом до достижения поверхностью материала температуры кипения воды при данном давлении среды и создания градиента температуры по сечению 1,3 °С/мм, что обеспечивает наименьшую общую продолжительность процесса без развития значительных внутренних напряжений;

разработана схема энергоэффективного способа ведения процесса вакуумной СВЧ-сушки пиломатериалов в осциллирующем режиме с энергообеспечением, осуществляемым электрогенератором, работающим за счет выработки электроэнергии из отходов деревообработки.

### **Достоверность и обоснованность научных результатов**

в основном подтверждается их сопоставимостью с основными положениями теории тепломассообменных процессов и мировым опытом в области сушки пиломатериалов в электромагнитном СВЧ поле. Результаты статистической обработки данных математического моделирования представлены немногочисленными расчетами с комментариями, содержащими ошибки.

**Значимость для науки результатов диссертационных исследований автора**



Теоретическая значимость результатов исследования процесса вакуумной СВЧ-сушки пиломатериалов в осциллирующем режиме заключается в разработке математического описания данного процесса, позволяющего посредством математического моделирования определить влияние режимных параметров на температурные и влажностные поля в материале и продолжительность отдельных стадий процесса.

### **Значимость для производства результатов диссертационных исследований автора**

Практическая значимость полученных научных результатов заключается в разработке технологии вакуумной СВЧ-сушки пиломатериалов, осуществляемой в осциллирующем режиме, и аппаратного оформления процесса, обеспечивающего проведение предложенной технологии с использованием альтернативных источников энергии, а также в разработке соответствующей инженерной методики расчета сушильного комплекса.

### **Конкретные рекомендации по использованию результатов диссертации**

Разработанная технология может быть рекомендована деревообрабатывающим предприятиям для организации или обновления сушильного хозяйства.

#### **Замечания и вопросы по диссертации:**

1. Цель работы выглядит невыразительно. Из формулировки цели не ясно для чего нужны разрабатываемые режимы. Что автор понимает под термином «надлежащее качество». Надлежащее качество для кого? Для каких потребителей?
2. Термин «напуск воздуха» (с.8, 64) автор, видимо, использует как синоним термина «приток воздуха». А вообще термин «напуск» означает совсем другое.
3. На с.16 при анализе априорной информации не отмечены работы Шульгина Владимира Алексеевича по СВЧ сушке.
4. На с.19 автор использует термин «влагосодержание» и применяет его к древесине. Между тем, влагосодержание – это характеристика влажного воздуха, а не древесины. В данном контексте нужно использовать термин «влажность», что и указано на рисунке 1.3. Термин «влагосодержание» автор использует и далее в работе (с.35, 55, 56, 60).
5. На с.26 информация из второго абзаца никак не вытекает из первого, хотя автор об этом пишет.

6. Автор на протяжении всей работы и, в частности, на с.29 говорит о решаемой проблеме. Однако, в кандидатской диссертации решается задача, а не проблема. Проблема – прерогатива докторской диссертации.
7. На с.34: «2) тепломассоперенос в условиях внешней задачи для процессов, протекающих при понижении давления среды». Не ясно, что этой фразой хотел сказать автор, что автор понимает под фразой «внешняя задача»?.
8. На с.36-37 представлены дифференциальные уравнения тепломассопереноса, однако, о методах решения этих уравнений ничего не сказано, как нет и самих решений.
9. На с.48 автор использует термин «естественная влажность». Такого термина не существует.
10. На с.48 автор отмечает, что температура среды измерялась термопарой. Но термопары имеют небольшую точность и вряд ли годятся для проведения данного эксперимента. Правильным бы было использовать термометры сопротивления.
11. На с.48 автор размещает подраздел «Методика проведения экспериментов и обработки экспериментальных данных», но методики обработки экспериментальных данных не представила. Не ясно, какие методы и в какой последовательности автор использовала их для обработки результатов эксперимента, сколько было проведено опытов, выявлен ли был закон распределения случайных величин, возможен ли в принципе корреляционный анализ. Ссылку на результаты анализа априорной информации автор также не представила.
12. На с. 50 автор использует термин «транспортно сухие пиломатериалы». Такого термина не существует. Есть термин «транспортная влажность».
13. На с.50 используется понятие «широкая пласт пиломатериала». Как таковой «широкой пласти» пиломатериала как термина не существует. Это просто «пласт пиломатериала». Поэтому слово «широкая» здесь неуместно. К слову, узкая продольная часть пиломатериала называется кромкой.
14. Вызывает сомнение заявление автора на с.51, что «Проведенная аппроксимация представленных данных позволила получить полиномиальное уравнение с величиной достоверности равной 1». Ведь аппроксимация – это сглаживание. При сглаживании часть точек не попадают в аппроксимирующую линию. Тогда как получится достоверность равная единице?

15. Вызывает сомнение, что отмеченные автором на с. 53 расхождение между теоретическими и экспериментальными данными в 18% даёт основания считать математическую модель адекватной. Какие критерии использовались для такого вывода, автор не раскрывает. Такое заявление автора явно преждевременно.

16. На с.82 автор использует переменную  $V_m$ , но не поясняет что это за величина.

17. В Технико-экономическом анализе эффективности внедрения вакуумной СВЧ-камеры для сушки древесины (с.93) приводятся «голые» цифры», не сказано, для каких условий эти данные справедливы. В связи с этим, вызывает сомнение корректность представленных данных.

18. На с.95 автор указывает, что «..по сравнению с конвективной камерой предлагаемая вакуумная СВЧ установка обладает большей производительностью благодаря сокращению продолжительности процесса сушки в 5 раз, относительно прототипа». А что взято для СВЧ установки в качестве прототипа не раскрывает. Ведь прототип – это опытный образец. Судя по всему, этот самый опытный образец и есть разработка автора. Циклическая ссылка! Видимо, автор некорректно выразил свою мысль.

19. На с.121 автор отмечает: «Для определения величины дисперсии вычислим расчетное значение G-отношение по формуле...». Как автор предполагает определять величину дисперсии по значению критерия Кохрена не ясно.

20. На с.129 представлена копия патента на изобретение, однако на основании этой копии невозможно установить авторов патента, поскольку они перечислены на обороте. А оборотной стороны как раз и не представлено. Приходится верить на слово.

### **Заключение**

В целом, можно отметить, что диссертационная работа Шагеевой Адили Ильсуровны на тему «Вакуумная СВЧ-сушка пиломатериалов в осциллирующем режиме» является актуальной, так как затраты для получения сухих пиломатериалов, соответствующих нормам, весьма значительны. О новизне исследований говорит полученный патент.

Таким образом, диссертационная Шагеевой Адили Ильсуровны на тему «Вакуумная СВЧ-сушка пиломатериалов в осциллирующем режиме» представляет собой законченное исследование и содержит новые научные данные. Результаты исследования имеют как научное, так и практическое

значение. Диссертация соответствует требованиям, изложенным в п.9 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (в текущей редакции), а ее автор заслуживает присуждения искомой степени кандидата технических наук по специальности «4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины»

Отзыв на диссертацию подготовлен на основании обсуждения ее на заседании кафедры лесопромышленных производств и обработки материалов ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова». Присутствовало – 7 человек. Результаты голосования – «за» – 7 человек, «против» – нет. Протокол № 9 от 26 октября 2023 года.

Отзыв подготовили:

Доцент кафедры лесопромышленных производств и обработки материалов, доцент, кандидат технических наук (05.21.05 – Дровесиноведение, технология и оборудование деревопереработки)

Земцовский Алексей Екимович

Заведующий кафедрой лесопромышленных производств и обработки материалов, доцент кандидат технических наук (05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства)

Перфильев Павел Николаевич

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,  
163002, Архангельская область город Архангельск, Набережная Северной Двины, д. 17.

Тел. +7(8182) 416150

e-mail: a.zemtsovsky@narfu.ru

Личную подпись Земцовского А.В.  
заверяю: ученый секретарь ученого совета САФУ  
Лавин Е.Б. Раменская  
" 24 " октября 2023 г.

Личную подпись Перфильева П.Н.  
заверяю: ученый секретарь ученого совета САФУ  
Лавин Е.Б. Раменская  
" 24 " октября 2023 г.



Вход. № 05-4443  
" 28 " 11 2023 г.  
подпись Лавин