

677.033,1
М 348
Учреждение образования
"БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ"

УДК 630*812.212:674.043.3 (047)

МАТУСЕВИЧ
Вячеслав Олегович

**СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛЕТОЧНЫХ СТЕНОК
ДРЕВЕСИНЫ И ИХ РОЛЬ В ИНТЕНСИФИКАЦИИ
СВЧ-СУШКИ ДРЕВЕСНЫХ ВКЛАДЫШЕЙ
ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.21.05 – Древесиноведение, технология
и оборудование деревопереработки

Минск 2011

Работа выполнена в учреждении образования "Белорусский государственный университет транспорта" на кафедре "Детали машин, путевые и строительные машины".

Научный руководитель

Врублевская Валентина Ивановна
доктор технических наук, профессор,
учреждение образования "Белорусский
государственный университет транспорта",
кафедра "Детали машин, путевые и
строительные машины"

Официальные оппоненты:

Шаповалов Виктор Михайлович
доктор технических наук, профессор, член-
корр. Белорусской инженерной
технологической академии, заведующий
отделом №1 государственного научного
учреждения "Институт механики
металлополимерных систем им. В.А. Белого
НАН Беларуси"

Снопков Василий Борисович

кандидат технических наук, доцент,
кафедрой "Технология
обработывающих производств"
образования "Белорусский
государственный технологический
университет"

государственное научное учреждение
"Институт тепло- и массообмена
им. С.П. Калашникова НАН Беларуси"

в 14.00 часов на заседании Совета по
образованию "Белорусский го-
сударственный университет" по адресу: 220006, г. Минск,
(017) 227-83-41, факс: (017) 227-62-17,

в библиотеке учреждения образо-
вательного учреждения "Белорусский
технологический университет".

г.



Мохов С.П.

ВВЕДЕНИЕ

Древесина является уникальным возобновляемым природным материалом, обладающим рядом ценных физико-механических свойств, позволяющих использовать ее в промышленности при производстве самой разнообразной продукции. В большинстве технологических процессов, использующих древесину, неотъемлемым этапом является сушка заготовок. Особую остроту проблема сушки приобретает при изготовлении древесных вкладышей подшипников скольжения, которые после объемного деформирования, осуществляемого при влажности 20–25 %, имеют малые линейные размеры, не превышающие десятка сантиметров. Однако для дальнейшей обработки требуется их влажность, не превышающая 5–6 %, что достигается высушиванием. При использовании широко распространенных способов сушки, например, конвективной, этот процесс длителен и энергоемок, причем энергия, направленная на собственно сушку, является малой частью общих затрат, включающих также нагрев самой камеры. Принятая для древесных вкладышей жидкостная сушка в пропиточном составе еще более длительна и не обеспечивает полноты проникновения в них состава [1].

В последнее время все более распространенным способом сушки древесины становится использование электромагнитных излучений сверхвысокой частоты (СВЧ). Такой способ имеет ряд преимуществ, основное из которых – объемное бесконтактное воздействие. Однако для сушки малогабаритных изделий из древесины СВЧ-излучения не использовались, так как возникала опасность их самовозгорания, что свидетельствовало о неприменимости к ним параметров СВЧ-воздействий, ориентированных на сушку крупногабаритных изделий. В то же время уровень современных знаний о глубоком строении древесины явно недостаточен для определения этих необходимых параметров. Не установлено расположение в древесине молекул воды, особенно в виде физически связанной влаги, которая является наиболее трудноудаляемой. Принятое разделение физически связанной влаги на адсорбционную, поглощаемую поверхностью элементарных целлюлозных фибрилл и образующую между ними непрерывные прослойки, и микрокапиллярную, находящуюся в свободных пространствах клеточных стенок, не учитывает возможности нахождения молекул воды в самих фибриллах, состоящих из микрофибрилл – пачек параллельных макромолекул целлюлозы. Именно в их межмолекулярные пространства проникает влага и абсорбируется в виде водно-водородных связей, вызывая разбухание фибрилл.

Поэтому актуальными являются предпринятые диссертационные исследования, выполненные впервые, направленные на интенсификацию процесса сушки малогабаритных изделий из древесины (на примере вкладышей подшипников скольжения), путем построения пространственной модели участка микрофибриллы (микроструктура целлюлозы), учитывающей присутствие в ней абсорбированной влаги в виде водно-водородных связей. Это позволило установить параметры сушки, обеспечить достижение необходимой влажности, предотвратить самовозгорание древесины и существенно интенсифицировать процесс.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами), темами. Выполненные диссертационные исследования относятся к приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2006–2010 годы по тематике: "Тепло- и массоперенос в сложных системах, средах и веществах" и "Методы, процессы и технологии сушки" согласно Перечню, утвержденному Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17 мая 2005 г. № 512.

Результаты диссертационной работы использованы в следующих НИР:

– № 4194 "Создание методологии повышения эффективности, обеспечения ресурса и снижения материалоемкости высоконагруженных узлов трения, работающих в абразивно-агрессивных средах, на основе применения природных материалов" № ГР 20065305 (ГКПНИ "Механика"), 2006–2010 гг.;

– № 2603 "Разработка научно-методических подходов к структурно-динамическому моделированию процессов деформирования материалов из природных полимеров (типа древесины)" (Министерство образования Республики Беларусь), 2002–2004 гг.;

– «Разработать экспериментальную модель узла трения для сошника сеялки СПУ-6» № ГР 20053729 (хоздоговорная тема совместно с ООО «МЗЭП-1», г. Брест), 2005–2006 гг.

Цель и задачи исследования. Целью работы является интенсификация процесса сушки и обеспечение формоустойчивости древесных вкладышей на основе моделирования структурных изменений клеточных стенок древесины, а также разработка научно обоснованной методики определения параметров СВЧ-излучения, исключающих возгорание.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие основные задачи:

1. Разработать пространственную модель микрокристаллита целлюлозы, отражающую граничные состояния при условиях абсорбции и десорбции и методику оценки его взаимодействия с влагой.

2. Исследовать взаимодействие молекул воды с микрокристаллитами целлюлозы для определения механизма поглощения влаги древесиной и обоснования воздействия СВЧ-излучения на физически связанную влагу.

3. Установить влияние структурных изменений в микрокристаллитах целлюлозы на геометрические параметры анатомических элементов древесины и содержание в ней связанной влаги для различных пород древесины. И получить аналитические зависимости параметров СВЧ-сушки малогабаритных древесных вкладышей от их начальной влажности и размеров при условии отсутствия самовозгорания.

4. Разработать установку СВЧ-сушки малогабаритных древесных вкладышей подшипников, позволяющую с использованием разработанных параметров

интенсифицировать процесс и исключить самовозгорание древесины.

5. Разработать установку СВЧ-пропитки древесных заготовок для модифицирования их минеральными маслами с полимерными присадками для придания им свойств самосмазывания.

Объект исследования – малогабаритные древесные вкладыши подшипников, основной компонент древесины – целлюлоза, микрокристаллиты целлюлозы. *Предмет* исследования – строение микрокристаллитов целлюлозы, абсорбция ими молекул воды и их удаление СВЧ-сушкой.

Положения, выносимые на защиту.

1. Механизм абсорбции и передвижения молекул воды в межмолекулярных пространствах компонентов древесины, образование с ними водно-водородных связей, вызывающих структурные изменения в клеточной стенке древесины, обуславливающие разбухание древесины и предопределяющих использование СВЧ-излучения для удаления связанной влаги из древесных вкладышей.

2. Аналитическая зависимость, описывающая параметры СВЧ-излучения с учетом влияния на физически связанную влагу, позволяющие сушить малогабаритные древесные заготовки до любой заданной влажности без их возгорания.

3. Установка для СВЧ-сушки малогабаритных вкладышей подшипников, отличающаяся использованием секционного волновода и разработанных параметров СВЧ-излучения, позволяющих интенсифицировать процесс и исключить опасность самовозгорания.

4. Установка СВЧ-пропитки древесных вкладышей подшипников для придания им свойств самосмазывания, позволяющих интенсифицировать процесс и достичь более высокой степени наполнения по сравнению с другими методами.

Личный вклад соискателя. Автор диссертации принимал непосредственное участие в постановке цели и задач исследований, проведении теоретических и экспериментальных исследований, обработке и анализе полученных данных. Все основные результаты исследований и испытаний, приводимые в диссертационной работе, получены автором лично. В публикациях с соавторами вклад соискателя определяется излагаемыми в диссертации результатами.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертации представлены и обсуждены на республиканских и международных научно-технических конференциях, научных семинарах: "Содружество наук. Барановичи-2005" (Барановичи, 2005); "Наука и образование на службе лесного комплекса" (Воронеж, 2005); "Проблемы ускоренного воспроизводства и комплексного использования лесных ресурсов" (Воронеж, 2006); "Проблемы взаимодействия излучения с веществом" (Гомель, 2006); "Математичні проблеми технічної механіки" (Днепродзержинск, 2007); "Полимерные композиты и трибология (Поликомтриб)" (Гомель, 2007); "Экологическая безопасность и ресурсосбережение" (Гомель, 2008).

Опубликованность результатов диссертации. По теме диссертации опубликовано 17 научных работ, в том числе 1 монография, 5 статей общим объемом 2,9 авторских листа в рецензируемых изданиях, включенных в Перечень научных

изданий для опубликования результатов диссертационных исследований и утвержденных ВАК, также 1 депонированная работа (без соавторов), 6 статей в сборниках материалов конференций, 2 тезисов (из них 1 без соавторов), получено 2 патента на полезные модели Республики Беларусь.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем диссертации составляет 130 страниц, включая 73 рисунка на 37 страницах, 8 таблиц на 3 страницах, библиографический список из 148 наименований и 17 публикаций соискателя на 14 страницах, 5 приложений на 6 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, показана необходимость изучения механизма взаимодействия электромагнитных излучений с микрокристаллитами целлюлозы древесины и содержащейся в них влагой, доказана необходимость обоснования параметров СВЧ-сушки малогабаритных древесных заготовок и модификации установки.

В первой главе выполнен аналитический обзор литературных и патентных источников по теме диссертации. Изложены современные представления о строении древесины и микрокристаллитов целлюлозы. Выполнен анализ способов сушки древесины и обоснована предпочтительность использования в этих целях СВЧ-излучений.

Изучению физических свойств и строения древесины (в том числе целлюлозы) посвящены исследования многих ученых, в том числе Вихрова В.Е., Жбанкова Р.Г., Никитина В.М., Уголева Б.Н., Чудинова Б.С., Zugenmaier P. и др., на основании которых были сформированы современные представления о структурных изменениях в древесине при влагопоглощении, определены факторы, влияющие на распределение связанной влаги в клеточной стенке древесины. Такая форма влаги разделяется на микрокапиллярную, находящуюся в свободных пространствах клеточных стенок, и адсорбционную, образующую на поверхности элементарных целлюлозных фибрилл непрерывные прослойки, увеличение которых и приводит к разбуханию древесины. При этом не учитывается возможность присутствия молекул воды в целлюлозных фибриллах. Спорным является и строение микрокристаллитов фибрилл с расположением в нем целлюлозных макромолекул.

Сушка древесины является процессом, обратным сорбции влаги. Преимущества традиционных способов сушки состоят в их простоте и известности. Они, как правило, используются для высушивания больших объемов древесины. Для малогабаритных вкладышей подшипников скольжения (далее – *вкладышей подшипников*), заготовки которых после объемного деформирования имеют диаметр, не превышающий 60 мм, этот процесс длителен и энергоемок. Энер-

гия, направленная на сушку собственно древесины, является малой частью затрат, идущих на поддержание требуемой температуры в камере и нагрев самой камеры. Принятое для древесных вкладышей совмещение жидкостной сушки и пропитки смазочным материалом еще более длительно и не обеспечивает полноты проникновения состава.

Все более распространенным становится способ СВЧ-сушки древесины, имеющий ряд преимуществ, среди которых – объемное бесконтактное воздействие, высокая степень поглощения энергии материалом, возможность мгновенного прекращения воздействия. Однако малогабаритные изделия и их заготовки в промышленности практически не требуют досушивания, поэтому СВЧ-сушилки для них не разрабатывались. Соответственно нет и параметров, позволяющих высушивать их равномерно и без возгорания. Вместе с тем, как показал анализ литературных источников, уровень современных знаний о строении древесины явно недостаточен для того, чтобы определить эти необходимые параметры. Более того, не известно даже расположение в древесине молекул воды, особенно физически связанных. Предполагается, что они могут образовывать водно-водородные связи в глубине макромолекул древесных компонентов и особенно прочно – в упорядоченных участках целлюлозы.

Поэтому актуальными являются исследования, направленные на построение пространственной модели микрокристаллита целлюлозы, учитывающей присутствие в нем абсорбированной влаги в виде водно-водородных связей, позволяющей обосновать применение и установить параметры СВЧ-излучения для сушки малогабаритных древесных вкладышей подшипников. Решение проблемы должно обеспечить достижение вкладышами однородной влажности с заданными параметрами, исключая возгорание, и интенсификацию процесса сушки.

Анализ приведенных данных позволил сформулировать цель и задачи исследования, определить их место в разработке данной проблематики.

Вторая глава посвящена описанию объектов и методов проведения исследований. Построение модели микрокристаллита целлюлозы осуществлялось с помощью вычислительной техники и программ пространственного моделирования 3ds Max и AutoCAD. Математические расчеты и статистическая обработка экспериментальных данных с вычислением величины погрешностей проводились с использованием современных математических программных продуктов MathCAD и Excel. В процессе экспериментальных исследований по сушке использовались образцы древесины березы, из которой изготавливаются вкладыши подшипников размерами 60x30x8 мм, 60x30x12 мм и 60x30x24 мм, различающиеся линейным размером вдоль волокон. Сушка осуществлялась в объемном СВЧ-резонаторе с магнетроном М-105-1, 2,45 ГГц, 700 Вт. Влажность экспериментальных образцов измерялась электровлагомером ЭВ-2К и весовым методом с использованием электронных лабораторных весов ВСТ-600/10.

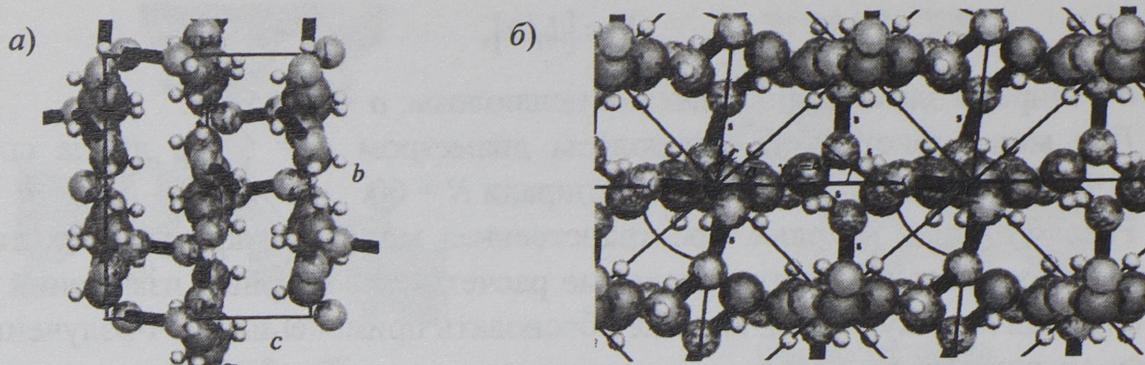


Рисунок 2 – Макрокристалл целлюлозы: *a* – вид сбоку; *b* – вид сверху

Водородные связи одного слоя объединяют макромолекулы в прочную сетчатую структуру, имеющую всего одну степень свободы. Незначительный изгиб может проходить только вдоль макромолекул (рисунок 3, *a*). Между слоями водородные связи параллельны друг другу (см. рисунок 2, *b*), и благодаря подвижности ОН-группы при шестом атоме углерода глюкозного кольца целлюлозной макромолекулы появляется возможность смещения соседних слоев (рисунок 3, *b*), что обеспечивает эластичность и гибкость структуры микрокристаллита целлюлозы, и в целом – древесины.

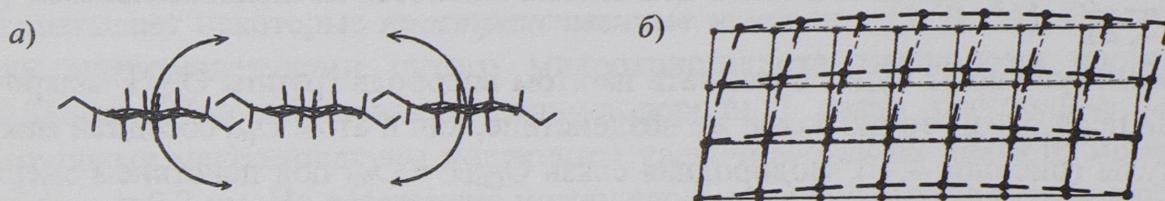


Рисунок 3 – Возможные смещения в микрокристаллите целлюлозы: *a* – изгиб в одном слое; *b* – схема смещения слоев

Из этого следует предположение, что наиболее вероятное формирование микрокристаллита целлюлозы осуществляется по спирали. Для ее роста активизируется только одна гидроксильная группа глюкозных остатков (при первом атоме углерода), они присоединяются последовательно, постепенно наращивая новые слои спирали. Организуется упорядоченная структура, в которой каждый следующий слой будет смещен относительно предыдущего вдоль оси на четверть высоты кристаллической решетки $b/4$ [1, 7].

На основе анализа разработанной модели и устройства микрокристаллита целлюлозы предложено аналитическое выражение длины составляющей его спирали L , нм, в зависимости от ее внешнего диаметра d , нм, при равномерном увеличении шага:

$$L = \frac{c}{8\pi} \left[\frac{2\pi d}{c} \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi d}{c}\right)^2} + \ln \left(\frac{2\pi d}{c} + \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi d}{c}\right)^2} \right) \right], \quad (1)$$

где c – глубина элементарной ячейки целлюлозы; $c = 0,79$ нм.

Количество молекул N в одном микрокристаллите составит целое число в соотношении длины спирали L к размерам элементарной ячейки целлюлозы:

$$N = [L/a], \quad (2)$$

где a – ширина элементарной ячейки целлюлозы; $a = 0,835$ нм.

Для микрокристаллита целлюлозы диаметром $d = 5$ нм длина спирали $L = 49,9$ нм, а число макромолекул в спирали $N = 60$.

Разработанная впервые пространственная модель микрокристаллита целлюлозы позволяет провести численные расчеты структурных изменений в нем при сорбции молекул воды, а также обосновать применение СВЧ-излучения для сушки вкладышей.

В четвертой главе рассматривается механизм абсорбции микрокристаллитом целлюлозы молекул воды, влияние его структурных изменений на разбухание древесины и содержание в ней физически связанной влаги, проводится обоснование влияния СВЧ-излучения на физически связанную влагу. На основании этого определяются параметры СВЧ-сушки вкладышей подшипников скольжения [1, 3–5, 7, 8, 13, 14, 16].

Гидроксилы макромолекул целлюлозы и молекулы воды имеют одну природу: электроотрицательность составляющих их атомов совпадает по значению. Это позволяет им легко образовывать межмолекулярные водородные связи, которые в сухом микрокристаллите целлюлозы являются последовательными (рисунок 4, а).

Молекула воды будет оказывать на атом водорода группы $O_{(2)}H^*$ макромолекулы целлюлозы точно такое же воздействие, как и атом $O_{(6)}$ соседней макромолекулы (рисунок 4, б). Водородная связь $O_{(2)}H \cdots O_{(6)}$ под действием энергии теплового движения разрушается (рисунок 4, в) и образуется водно-водородная связь через молекулу воды $O_{(2)}H \cdots H_2O \cdots O_{(6)}$ (рисунок 4, г).

Молекула воды, удерживаемая в водно-водородной связи с гидроксилами целлюлозы, может покинуть свое положение, если обладает достаточным количеством энергии, полученной, например, от соударения с другой молекулой воды или воздействия СВЧ-излучения. При этом межмолекулярная водородная связь макромолекул целлюлозы $O_{(2)}H \cdots O_{(6)}$ восстановится.

Таким образом, механизм взаимодействия микрокристаллита целлюлозы с влагой определяется тем, что молекулы воды удерживаются в его водно-водородных межмолекулярных связях и имеют возможность перемещаться между ними [1, 7].

СВЧ-излучение будет одновременно и одинаково воздействовать и на гидроксилы макромолекул целлюлозы, и на молекулы воды. Поглощенная энергия излучения разделяется на оба компонента, что приводит к увеличению собственной тепловой энергии в зависимости от степени их подвижности. При этом СВЧ-излучение будет воздействовать на физически связанные молекулы воды так же, как и на свободные.

* Цифра в скобках указывает номер атома углерода глюкозного остатка макромолекулы целлюлозы, к которому присоединен данный атом кислорода.

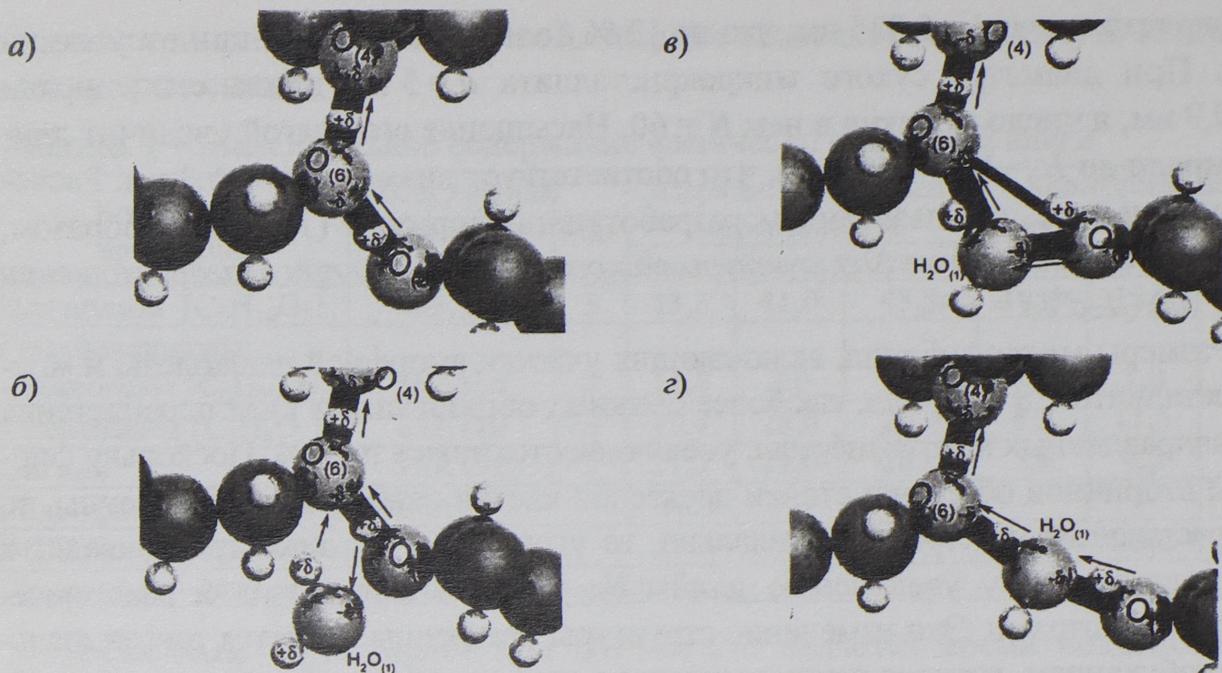


Рисунок 4 – Процесс образования в ячейке целлюлозы водородных связей (обозначены стрелками) с молекулами воды

В процессе влагопоглощения, как и при сушке, микрокристаллит целлюлозы испытывает некоторые *пространственные изменения* [1, 8, 14]. Расстояние между макромолекулами сухого микрокристаллита целлюлозы составляет $a = 0,835$ нм. При образовании водно-водородной связи расстояние между ОН-группами макромолекулы целлюлозы увеличивается на диаметр молекулы воды $d_{(H_2O)} = 0,2$ нм. Но расстояние между слоями микрокристаллита целлюлозы не изменяется благодаря подвижности группы при шестом атоме углерода макромолекулы (рисунок 5, а).

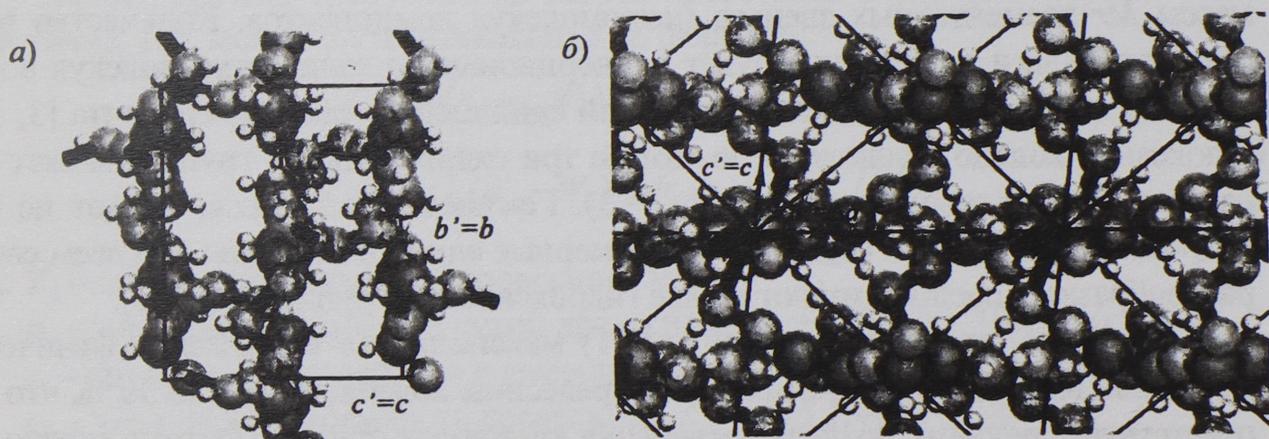


Рисунок 5 – Макрокристалл целлюлозы, насыщенный влагой:
а – вид сбоку; б – вид сверху

Однако изменяется расстояние между макромолекулами в направлении *a* и увеличивается длина спирали микрокристаллита (рисунок 5, б). Поскольку водородная связь $O_{(2)H} \cdots O_{(6)H}$ направлена под углом 45° к плоскостям *ac* и *ab* (см. рисунки 1, 2, 5), то это расстояние будет меньше размеров молекулы воды в 2 раза. Расстояние между макромолекулами целлюлозы насыщенного влагой

микрористаллита $a' = 0,935$ нм, что на 12 % больше расстояния при отсутствии влаги. При диаметре сухого микрористаллита $d = 5$ нм длина его спирали $L = 49,9$ нм, а число молекул в нем $N = 60$. Насыщение его влагой увеличит длину спирали до $L' = N \cdot a' = 55,8$ нм, что соответствует диаметру $d' = 5,3$ нм. Расчеты выполнены с использованием разработанной формулы (1). Таким образом, *максимальное изменение Δ структуры микрористаллита при влагопоглощении* равно $100 \cdot (d' - d) / d = 6$ %.

Размеры микрофибрилл, включающих участки аморфной целлюлозы и микрористаллитов, и фибрилл, как более сложных образований в виде переплетения однонаправленных микрофибрилл, увеличиваются также на 6 %. Поскольку фибриллы вторичной оболочки стенки древесной клетки наиболее упорядочены, то есть располагаются строго вертикально, то увеличение их диаметра приведет к пропорциональному увеличению длины окружности капилляров и расстояния между их центрами. Это изменение структуры древесины является тангенциальным разбуханием, которое осуществляется в двух направлениях, поэтому Δ необходимо увеличить в два раза: $\Delta_t = 2\Delta = 12$ %. Радиальное разбухание $\Delta_r = \Delta = 6$ %. Анатомическое строение древесины обеспечивает $\Delta_t = 10$ % и $\Delta_r = 5$ %. Элементы древесины вытянуты преимущественно вдоль оси ствола, поэтому продольное разбухание в десятки раз меньше или практически отсутствует.

Максимальное количественное содержание физически связанной влаги в древесине определяется параметрами модели микрористаллита целлюлозы при образовании максимального числа водно-водородных связей с молекулами воды и химическим составом древесины. Для упрощения расчета *принято допущение, что молекулы воды образуют водно-водородные связи со всеми компонентами древесины так же, как с целлюлозой*. Расчет произведен через молекулярные массы M_r элементарных звеньев макромолекул компонентов. Количество всей связанной влаги в древесине будет пропорционально количеству молекул воды, которые могут быть присоединены одной единицей каждого компонента [3, 14]. Глюкозное кольцо целлюлозы, имеющее три гидроксильные группы, может образовать три водородные связи ($n_{св.ц} = 3$). Гемицеллюлозы также имеют по три гидроксильные группы ($n_{св.гц} = 3$). Мономерные единицы лигнина при всем своем разнообразии в среднем имеют по две гидроксильные группы ($n_{св.л} = 2$).

По результатам расчета (таблица 1) максимальное содержание физически связанной влаги для различных пород древесины колеблется около 30 %, что соответствует среднему пределу насыщения клеточных стенок. Поэтому можно утверждать, что физически связанная влага – это молекулы воды, образующие водно-водородные связи с компонентами древесины. Таким образом, механизм воздействия СВЧ-излучения на микрористаллит целлюлозы и содержащиеся в нем молекулы воды можно принять одинаковым для всех компонентов древесины.

Затраты энергии при сушке разделяются на нагрев собственно древесины и содержащейся в ней влаги. Полученная молекулами воды энергия затрачивается также и на разрушение водно-водородных связей, что является аналогом ее ис-

парения или кипения. Эта же часть энергии позволяет им покинуть клеточную стенку древесины.

Таблица 1 – Максимальное содержание физически связанной влаги

Компонент древесины	Молекулярная масса элементарного звена	$n_{св.i}$	Содержание компонента в древесине, %			Количество всей связанной влаги, %		
			Сосна	Береза	Осина	Сосна	Береза	Осина
Целлюлоза $[C_6H_{10}O_5]_n$	162,135	3	43,3	41,0	43,3	14,4	13,7	14,4
Гемицеллюлозы:								
– гексозаны $[C_6H_{10}O_5]_n$	162,135	3	11,8	3,0	2,0	3,9	1,0	0,7
– пентозаны $[C_5H_8O_4]_n$	132,110	3	10,4	28,0	26,0	4,3	11,5	10,6
Лигнин	169,191	2	27,5	21,0	20,1	5,9	4,5	4,3
Гидрофильные экстрактивные			7,0	7,0	8,6	–	–	–
ВСЕГО содержание влаги, %						28,5	30,6	30,0

Примечание – Молекулярная масса воды – 18,015.

Основным параметром при СВЧ-сушке является время воздействия на древесину τ , ч, которое определяется из соотношения требуемой энергии излучения Q , Дж, и мощности СВЧ-излучателя $P_{и}$, Вт, с учетом его КПД ($\eta \approx 0,6$):

$$\tau = Q / (3600 P_{и} \eta), \quad (3)$$

где 3600 – количество секунд в одном часе.

Диэлектрический нагрев древесины является следствием рассеяния энергии переменной поляризации в результате воздействия СВЧ-излучения, эта энергия переходит непосредственно в тепловую энергию движения молекул. Однако для связанной влаги удельная теплоемкость несколько выше. Кроме нагрева воды и древесины требуется затратить энергию на освобождение влаги из связанного состояния, т.е. на разрыв водородных связей.

Таким образом, требуемая на нагрев древесины и удаление из нее влаги энергия Q , Дж, может быть вычислена по формуле:

$$Q = V_{д} \rho_{д} \left[(100 - t_{н})(c_{д} + c_{в} W_{н}) + r_{в}(W_{н} - W_{к}) + (t_{к} - 100)c_{д} \right] + \rho_{д} V_{д} P_{р} 10^{-3} \left((W_{н} - W_{к}) / Mr_{(H_2O)} + \sum_i \Delta_i / Mr_i \right). \quad (4)$$

где $V_{д}$ – объем высушиваемой древесины, м³;

$\rho_{д}$ – плотность абсолютно сухой древесины; $\rho_{д} = 610$ кг/м³ (береза);

$t_{н}$ – начальная температура древесины, °С;

$c_{д}$ – удельная теплоемкость древесины; $c_{д} = 1675$ Дж/(кг·°С);

$c_{в}$ – удельная теплоемкость воды; $c_{в} = 4190$ Дж/(кг·°С);

$W_{н}$ – начальная влажность древесины, %;

$r_{в}$ – удельная теплота парообразования воды при 100 °С; $r_{в} = 2,26$ МДж/кг;

$W_{к}$ – влажность, до которой требуется высушить древесину, %;

$t_{к}$ – конечная температура древесины, °С.

$P_{р}$ – энергия разрыва водородных связей молекулы воды с компонентами древесины; $P_{р} = 13,9$ кДж/моль;

$M_{r_{(H_2O)}}$ – молекулярная масса воды, г/моль; $M_{r_{(H_2O)}} = 18,015$ г/моль;

Δ_i – содержание i -го компонента в древесине, % (см. таблицу 1);

M_{r_i} – молекулярная масса элементарного звена макромолекулы компонента, г/моль (см. таблицу 1).

Данные формулы применимы для расчета параметров СВЧ-сушки только малогабаритных заготовок, размеры которых сравнимы с длиной волны излучения. В частности, для излучателя частотой $f = 2,45$ ГГц длина волны $\lambda = 12,2$ см. При этих размерах заготовок распределение энергии излучения в древесине будет наиболее равномерным. Кроме того, при сушке вкладышей подшипников скольжения сосуды и капилляры имеют достаточно большую протяженность относительно размеров вдоль волокон, и удаляемая влага покидает их намного быстрее, чем при сушке брусков и досок. Это позволяет в отличие от крупногабаритных заготовок не учитывать в расчетах влияние диффузии влаги в капиллярной системе и возникающего избыточного давления на процесс сушки.

Таким образом, максимальное количество физически связанной влаги составляет порядка 30 % от общей массы древесины, которая образует водородные связи в глубине макромолекул ее компонентов и особенно прочно – в упорядоченных участках целлюлозы. Это приводит к увеличению размеров микрористаллитов целлюлозы до 6 % и, соответственно, к разбуханию древесины на ту же величину. Для сушки вкладышей предпочтительно применение СВЧ-излучения, которое способно глубоко проникать в древесину. При этом электромагнитное излучение воздействует на физически связанные молекулы воды так же, как на свободные. Это позволяет определять параметры СВЧ-сушки для получения малогабаритных древесных вкладышей с любой заданной влажностью [3, 8].

В пятой главе приводятся результаты экспериментальных исследований процесса сушки заготовок древесных вкладышей подшипников с применением СВЧ-излучений и анализ причин их возможного возгорания. Это позволило обосновать применение способа СВЧ-сушки древесных вкладышей подшипников и определить параметры работы оборудования [1, 3–6, 10].

В этих целях по формулам (3) и (4) было рассчитано необходимое время сушки вкладышей (три группы по 25 шт. толщиной 8, 12, 24 мм) общим объемом 0,0012 м³ от начальной влажности 37 % до 10 % (определяемой электровлажномером). Оно составило 25,2 мин. Для образцов (три группы по 13 шт. толщиной 8, 12, 24 мм) объемом 0,001 м³ при начальной влажности 16 % и сушке до абсолютно сухого состояния времени потребовалось 15,9 мин. Для сравнения в термошкафу такие же образцы были высушены до абсолютно сухого состояния за 180 мин [6], что в 5–7 раз дольше.

Результаты проведенных экспериментов по СВЧ-сушке вкладышей, представленные на рисунке 6, подтвердили данные теоретических расчетов. У образцов большей толщины ($h = 24$ мм) температура 100 °С достигалась быстрее, чем с $h = 8$ и 12 мм, но при этом увеличивалось время досушивания и возрастала вероятность возгорания [6]. Величина степени достоверности R^2 (см. рисунок 6) указывает на достаточно точное описание реального процесса. В то же время остаточная влажность вкладышей составляла 2–3 %. Поэтому возгорание появилось только через 9–15 минут, когда их температура превысила 150 °С. До

этого времени был возможен отвод тепла за счет удаляемой влаги [5].

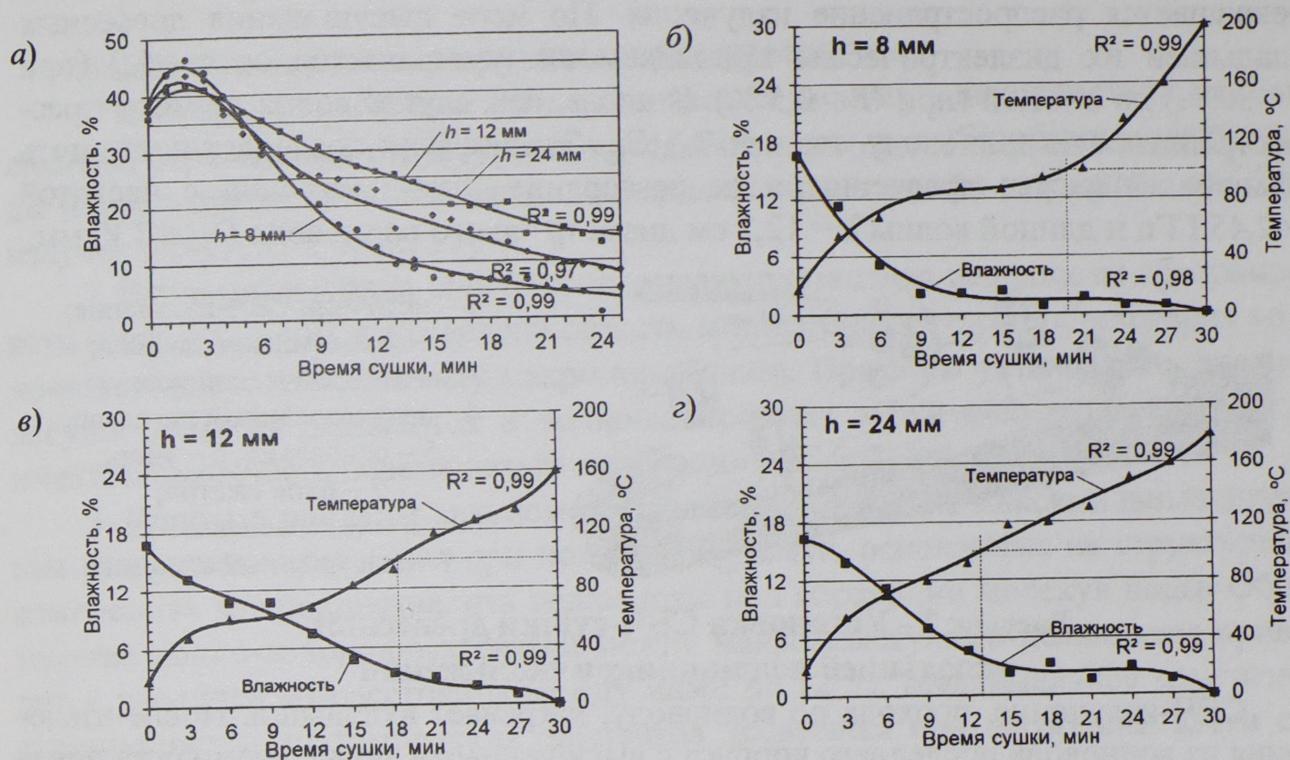


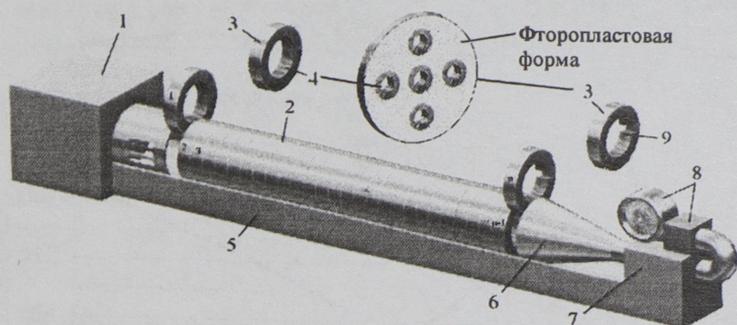
Рисунок 6 – Зависимость изменения влажности и температуры образцов древесины размерами вдоль волокон 8, 12 и 24 мм от продолжительности воздействия СВЧ-излучения

Это позволило заключить, что *причиной возгорания* малогабаритных изделий из древесины в СВЧ-установках является несоответствие количества подводимой энергии излучения количеству отводимой за счет теплопроводности и теплоотдачи. Накопленная энергия затрачивается на разрыв водородных связей между макромолекулами, подвижность которых резко возрастает. Это увеличивает молекулярное трение и вызывает дополнительный нагрев. Превышение уровня энергии вызывает разрыв ковалентных связей, что приводит к разрушению макромолекул на составляющие. В результате начинается необратимое каскадное разрушение молекулярной структуры древесины, которое сопровождается окислением, также происходящим с выделением тепла. В результате начинается тление [2, 4, 10].

Полученные данные о механизме воздействия СВЧ-излучения на физически связанную влагу в древесине позволили разработать способ и установку для СВЧ-сушки древесных вкладышей подшипников скольжения, запрессованных в металлические корпуса, составляющие секционный волновод [2, 10, 11, 17]. В одном корпусе допускается сушка нескольких вкладышей. Для их закрепления используется фторопластовая или текстолитовая форма как радиопрозрачный материал (рисунок 7).

Принято во внимание, что электромагнитная волна может распространяться по волноводу при условии, что $\lambda < \lambda_{кр}$ или $D < D_{кр}$, где $\lambda_{кр} = \lambda \sqrt{\epsilon \mu}$ – критическая (предельная) длина волны; ϵ – диэлектрическая проницаемость древесины; μ – магнитная проницаемость, для древесины $\mu = 1$; $D_{кр}$ – критический диаметр,

это максимальный диаметр волновода, $D_{кр} = 2\lambda\sqrt{\epsilon\mu}/2,62$, при котором по нему прекращается распространение излучения. По мере высушивания древесных вкладышей их диэлектрическая проницаемость уменьшается от $\epsilon = 4,9$ (при $W = 30\%$) до $\epsilon = 1,94$ (при $W \approx 0,5\%$). В последнем случае волна не может распространяться по волноводу, так как $D \geq D_{кр}$. Этот эффект позволяет исключить дальнейший нагрев древесины и ее возгорание. Для излучения с частотой $f = 2,45$ ГГц и длиной волны $\lambda = 12,2$ см диаметр такого волновода $D_{кр} = 130$ мм.



- 1 – источник СВЧ-излучения;
- 2 – секционный волновод;
- 3 – металлический корпус;
- 4 – запрессованный вкладыш;
- 5 – основание; 6 – упор;
- 7 – блок сжатия;
- 8 – тепловентилятор;
- 9 – высушенный вкладыш

Рисунок 7 – Установка СВЧ-сушки древесных вкладышей подшипников скольжения

СВЧ-излучение, проходя по волноводу, нагревает вкладыши. После извлечения из волновода последнего корпуса с высушенными вкладышами остальные сдвигаются на одну позицию вперед. На освободившееся место перед излучателем устанавливается новый корпус с влажными вкладышами. Этим обеспечивается их перемещение в электромагнитном поле и шаговое уменьшение мощности воздействия СВЧ-излучения пропорционально расстоянию от излучателя. Подаваемый тепловентилятором воздушный поток удаляет испарившуюся влагу. Полный цикл сушки составляет 10–15 минут в зависимости от размеров вкладышей. Производительность установки более 100 вкладышей в час [17].

Были проведены исследования с использованием СВЧ-излучения при *пропитке* древесных вкладышей подшипников для придания им свойств самосмазывания. Облучались вкладыши, погруженные в пропиточный состав, содержащий масло МС-20 и высокомолекулярную полиэтиленовую присадку. В результате было установлено, что данным способом за 10 минут с минимальными затратами энергии достигается степень наполнения вкладышей порядка 30–35 %, что трудноосуществимо традиционными методами, например такими, как метод с использованием горячей ванны [1, 9, 13, 16].

По результатам проведенных исследований были изготовлены экспериментальные образцы подшипников скольжения ПСС-7212 с использованием СВЧ-сушки и СВЧ-пропитки вкладышей, которые по отзывам ООО "Барс" безотказно работали в течение 35 месяцев эксплуатации. При этом затраты только на замену подшипников сокращаются в 14 раз.

Выполненные на деревоперерабатывающем производстве ОАО "СМТ №27" расчеты технико-экономических показателей применения СВЧ-излучения для сушки древесины с использованием разработанных параметров, свидетельствуют о том, что производительность сушильного оборудования увеличивается в 2,3 раза по сравнению с конвективной камерной сушкой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Впервые разработана пространственная модель микрокристаллита целлюлозы, отражающая структурные изменения в нем при абсорбции молекул воды и поясняющая механизм поглощения влаги древесиной с удалением ее СВЧ-излучением [1, 3, 4, 8, 12, 15].

2. Впервые показана способность микрокристаллита целлюлозы абсорбировать молекулы воды. Определена область наиболее вероятного образования водно-водородных связей между макромолекулами. При этом установлено, что молекулы воды удерживаются в водно-водородных межмолекулярных связях и имеют возможность перемещаться между ними [1, 5, 7, 12].

3. Впервые найдены закономерности, определяющие максимальные значения разбухания древесины при поглощении влаги, основанные на структурных изменениях микрокристаллита целлюлозы при абсорбции молекул воды. Образование водно-водородных связей между макромолекулами целлюлозы приводит к увеличению расстояния между ними на 12 %. Максимальное изменение структурных и анатомических элементов древесины при абсорбции влаги составляет 6 % [1, 3, 14].

4. Для установления механизма воздействия СВЧ-излучения на собственно древесину и содержащуюся в ней влагу принято допущение о возможности образования водно-водородных связей для всех компонентов древесины, что позволило определить содержание физически связанной влаги около 30 % для различных пород древесины [1, 3, 8].

5. Получены аналитические зависимости, устанавливающие параметры СВЧ-сушки малогабаритных древесных заготовок до любой заданной влажности в зависимости от их размеров и начальной влажности, основанные на положении о воздействии СВЧ-излучения на древесину и содержащуюся в ней влагу в водно-водородных связях компонентов. При этом можно разделить затраты энергии на нагрев древесины и удаление из нее воды. Влияние диффузии влаги в капиллярной системе на процесс сушки вкладышей подшипников скольжения ничтожно мало, что позволяет не учитывать ее в расчетах в отличие от крупногабаритных заготовок. Параметры сушки определяют время воздействия излучения, при котором достигается заданная влажность [1, 3–6, 10].

6. Полученные данные о механизме воздействия СВЧ-излучения на физически связанную влагу в древесине предопределили возможность разработать способ и установку СВЧ-сушки древесных вкладышей подшипников скольжения. Вкладыши запрессовываются в специальную фторопластовую форму для закрепления в металлических корпусах, составляющих секционный волновод. Использование волновода определенного диаметра, в котором прекращается распространение излучения при достижении минимальной влажности древесины, и разработанных параметров СВЧ-воздействий обусловили максимальную интенсификацию сушки и исключение возгорания древесины [1, 2, 10, 11, 17].

7. Результаты исследований распространены на модифицирование древесных вкладышей пропиточным составом для придания им свойств самосмазывания с интенсификацией СВЧ-излучением. Разработаны способ и установка СВЧ-модифицирования древесины, позволяющая в 10 раз ускорить данный процесс и за 10–15 минут достичь наполнения пропиточным составом порядка 35 %, что значительно превышает аналогичные показатели пропитки в горячей ванне [1, 9, 13, 16].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Результаты диссертационного исследования можно применить на предприятиях деревообрабатывающей и машиностроительной промышленности, использующих малогабаритные изделия из древесины, при разработке нового сушильного оборудования.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Монография

1. Подшипники скольжения самосмазывающиеся на основе модифицированной древесины (теория, технология и практика): [монография] / А. Б. Невзорова, В. Б. Врублевский, В. О. Матусевич, В. И. Врублевская; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2011. – 254 с.

Статьи в научных журналах и сборниках

2. Врублевская, В.И. Применение СВЧ-энергии для сушки вкладышей подшипников скольжения / В.И. Врублевская, В.О. Матусевич, В.Б. Врублевский, А.Б. Невзорова // Теория и практика машиностроения. – 2005. – № 2. – С. 5–9.

3. Врублевская, В.И. Совершенствование процесса изготовления подшипников скольжения с использованием СВЧ-сушки древесных вкладышей / В.И. Врублевская, В.О. Матусевич, В.Б. Врублевский, А.Б. Невзорова // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия "Машиностроение". – 2005. – № 4. – С. 40–46.

4. Врублевская, В.И. СВЧ-сушка в технологических процессах производства подшипников скольжения на основе прессованной древесины / В.И. Врублевская, В.О. Матусевич, В.Б. Врублевский, С.О. Барбуль // Системні технології. – Дніпропетровськ, 2005. – Вип. 2 (37). – С. 128–135.

5. Врублевская, В.И. Взаимодействие СВЧ-излучений с гигроскопической влагой в древесине / В.И. Врублевская, В.О. Матусевич, А.Б. Невзорова // Известия ГГУ им. Ф. Скорины. – 2006. – №6. – Ч.1. – С. 42–48.

6. Матусевич, В.О. Сушка древесины с применением СВЧ-излучений / В.О. Матусевич, В.Б. Врублевский // Материалы, технологии, инструменты. – 2007. – № 1. – С. 99–103.

Депонированная статья

7. Матусевич, В.О. Молекулярное моделирование гигроскопичности древесины и применение электромагнитных излучений сверхвысокой частоты для ее сушки / В.О. Матусевич // Деп. в ВИНТИ 08.06.2005, № 1860–В82 1992 – С. 9. / Ред.ж. Изв. НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – Минск, 2005. – 15 с.

Материалы конференций

8. Врублевская, В.И. Исследование гигроскопичности древесины на моле-

кулярных моделях / В.И. Врублевская, В.О. Матусевич, А.Б. Невзорова // Наука и образование на службе лесного комплекса: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж: ВГЛТА, 2005. – Т. 1. – С. 269–273.

9. Матусевич, В.О. Новое в технологии производства подшипников скольжения самосмазывающихся / В.О. Матусевич, науч. рук. д.т.н., проф. В.И. Врублевская // Содружество наук. Барановичи-2005: материалы Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. / Редкол.: В.И. Кочурко [и др.] – Барановичи: УО "БарГУ", 2005. – Ч. 2. – С. 283–285.

10. Матусевич, В.О. Ускоренная сушка прессованной древесины / В.О. Матусевич, В.Б. Врублевский // Проблемы ускоренного воспроизводства и комплексного использования лесных ресурсов: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2006. – С. 137–141.

11. Врублевская, В.И. Использование энергии сверхвысоких частот для ускоренной сушки древесины / В.И. Врублевская, А.Б. Невзорова, В.О. Матусевич, В.Б. Врублевский // Energia w nauce i technice: материалы науч.-практич. конф. – Bialystok: Politechnika Bialystocka, 2006. – С. 195–200.

12. Невзорова, А.Б. Обоснование гигроскопичности древесины на молекулярном уровне и расчет количества абсорбированной влаги / А.Б. Невзорова, В.О. Матусевич, В.Б. Врублевский, С.О. Барбуль, В.А. Дашковский // Математичні проблеми технічної механіки: матеріали Міжнар. навук. конф. – Дніпродзержинськ, 2007. – С. 195–196.

13. Матусевич, В.О. Применение СВЧ-технологий для модифицирования древесины / В.О. Матусевич // Экологическая безопасность и ресурсосбережение: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель: БелГУТ, 2008. – С. 119–121.

Тезисы докладов

14. Врублевская, В.И. Взаимодействие СВЧ-излучений с гигроскопической влагой в древесине / В.И. Врублевская, В.О. Матусевич, А.Б. Невзорова // Проблемы взаимодействия излучения с веществом: тезисы докладов Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2006. – С. 70–71.

15. Невзорова, А.Б. Исследование структуры природного композита с использованием 3-D моделирования / А.Б. Невзорова, В.О. Матусевич, В.Б. Врублевский // Поликомтриб-2007: тезисы докладов Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель: ИММС НАНБ, 2007. – С. 59.

Патенты

16. Установка для пропитки древесных заготовок: пат. 1738 U Респ. Беларусь, МПК В 27 К 3/00, F 16 С 33/18 / В.И. Врублевская, А.Б. Невзорова, В.О. Матусевич, В.Б. Врублевский; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп. – № и20040294; заявл. 17.06.04; опубл. 30.12.04 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2004. – № 4. – С. 274.

17. Установка для СВЧ-сушки прессованных древесных заготовок: пат. 2869 U Респ. Беларусь, МПК F 26 В 3/347 / В.И. Врублевская, А.Б. Невзорова, В.О. Матусевич, В.Б. Врублевский; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп. – № и20050595; заявл. 10.10.05; опубл. 30.06.06 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 3. – С. 275.

РЭЗЮМЕ

Матусевіч Вячаслаў Алегавіч

Структурныя змены клеткавых сценак драўніны і іх роля ў інтэнсіфікацыі ЗВЧ-сушкі драўняных укладышаў падшыпнікаў слізгацення

Ключавыя словы: драўніна, абсорбцыя, сушка, ЗВЧ, цэлюлоза, мікракрышталіт, мадэль, структурныя змены, насычэнне, укладыш.

Аб'ект даследавання – драўняныя ўкладышы падшыпнікаў, драўніна, яе асноўны кампанент – цэлюлоза, мікракрышталіт цэлюлозы. **Прадмет даследавання** – будынак мікракрышталіта цэлюлозы, абсорбцыя ім малекул вады і яе выдаленне ЗВЧ-сушкай.

Мэта работы – інтэнсіфікацыя працэсу сушкі і забеспячэнне формаўстойлівасці драўняных укладышаў на аснове мадэлявання структурных змен клеткавых сценак драўніны, а таксама распрацоўка навукова абгрунтаванай метадыкі азначэння параметраў ЗВЧ-выпраменьвання, якія выключаюць узгаранне.

Метады даследавання і апаратура. Пабудова мадэлі, матэматычныя разлікі і статыстычная апрацоўка эксперыментальных даных праводзіліся з выкарыстаннем вылічальнай тэхнікі і сучасных САД-праграм. Эксперыменты па сушцы ўкладышаў падшыпнікаў слізгацення з драўніны бярозы ажыццяўлялася ў аб'ёмным ЗВЧ-рэзанатары (2,45 ГГц, 700 Вт). Вільготнасць вызначалася электравільгацямерам і вагавым метадам, тэмпература – тэрмапарай.

Навуковая навізна атрыманых вынікаў. Упершыню распрацавана мадэль мікракрышталіта цэлюлозы, якая адлюстроўвае структурныя змены ў ім пры абсорбцыі малекул вады. Вызначана, што малекулы вады ўтвараюць водна-вадародныя сувязі ў мікракрышталітах цэлюлозы з удзелам кампанентаў драўніны, яна знаходзіцца ў квазівольным стане. Гранічнае набраканне мікракрышталітаў цэлюлозы, фібрыл і клетак (капіляраў) – 6%. Максімальнае ўтрыманне злучанай вільгаці – каля 30% у залежнасці ад пароды драўніны. Вызначана, што ўздзеянне ЗВЧ-выпраменьвання на фізічна злучаныя малекулы вады аналагічна яго ўздзеянню на вольную вільгаць. Гэта дазволіла распрацаваць параметры ЗВЧ-сушкі, якія вызначаюць час уздзеяння выпраменьвання для дасягнення патрабаванай вільготнасці драўніны. Распрацавана ўсталёўка ЗВЧ-сушкі драўняных укладышаў падшыпнікаў слізгацення, якія запрасоўваюцца ў адмысловую фтарапластавую форму для замацавання ў металічных карпусах, якія складюць секцыйны хвалявод. Пры дасягненні мінімальнай вільготнасці драўніны ў хваляводзе спыняецца распаўсюджванне выпраменьвання, што дазваляе выключаць узгаранне драўніны.

Рэкамендацыі па выкарыстанні. Абсталяванне ЗВЧ-сушкі драўніны з выкарыстаннем распрацаваных параметраў дазваляе павялічыць прадукцыйнасць сушыльнага цэха ў 2,3 разы ў параўнанні з камернай сушкай.

Вобласць ужывання. Прадпрыемствы дрэваапрацоўчай і машынабудаўнічай прамысловасці, якія выкарыстоўваюць малагабарытныя вырабы з драўніны.

РЕЗЮМЕ

Матусевич Вячеслав Олегович

Структурные изменения клеточных стенок древесины и их роль в интенсификации СВЧ-сушки древесных вкладышей подшипников скольжения

Ключевые слова: древесина, абсорбция, сушка, СВЧ-излучение, целлюлоза, микрокристаллиты, структурные изменения, пропитка, вкладыш.

Объект исследования – малогабаритные древесные вкладыши подшипников, древесина, ее основной компонент – целлюлоза, микрокристаллиты целлюлозы. **Предмет исследования** – строение микрокристаллитов целлюлозы, абсорбция ими молекул воды и ее удаление СВЧ-сушкой.

Цель работы – интенсификация процесса сушки и обеспечение формоустойчивости древесных вкладышей на основе моделирования структурных изменений клеточных стенок древесины, а также разработка научно обоснованной методики определения параметров СВЧ-излучения, исключающих возгорание.

Методы исследований и аппаратура. Построение модели, математические расчеты и статистическая обработка экспериментальных данных проводились с использованием вычислительной техники и современных САД-программ. Эксперименты по сушке вкладышей подшипников скольжения из древесины березы осуществлялась в объемном СВЧ-резонаторе (2,45 ГГц, 700 Вт). Влажность определялась электровлагомером и весовым методом, температура – термопарой.

Научная новизна полученных результатов. Впервые разработана модель микрокристаллита целлюлозы, отражающая структурные изменения в нем при абсорбции молекул воды. Установлено, что молекулы воды образуют водно-водородные связи в микрокристаллитах целлюлозы с компонентами древесины. Предельное разбухание микрокристаллитов целлюлозы, фибрилл и соответственно древесины – 6 %. Максимальное содержание физически связанной влаги – около 30 % в зависимости от породы древесины. Установлено, что воздействие СВЧ-излучения на физически связанные молекулы воды аналогично его воздействию на свободную влагу. Это позволило разработать параметры СВЧ-сушки, определяющие время воздействия излучения для достижения требуемой влажности древесины. Разработана установка для СВЧ-сушки древесных вкладышей подшипников скольжения, которые запрессовываются в специальную фторопластовую форму для закрепления в металлических корпусах, составляющих секционный волновод. При достижении минимальной влажности древесины в волноводе прекращается распространение излучения, что позволяет исключить возгорание древесины.

Рекомендации по использованию. Оборудование СВЧ-сушки древесины с использованием разработанных параметров, повышающее производительность сушильного цеха в 2,3 раза по сравнению с конвективной камерной сушкой.

Область применения. Предприятия деревообрабатывающей и машиностроительной промышленности, использующие малогабаритные изделия из древесины.

SUMMARY

Matusevich Viacheslav Olegovich

Structural changes of wood cellular walls and their role in intensification of microwave drying of wood slide bearing shell

Key words: wood, absorption, drying, microwave radiation, cellulose, microcrystallite, model, structural changes, impregnation, bearing shell.

Object of research – small size wood bearing shell, wood and its basic component cellulose, microcrystallite of cellulose. **Subject of research** – structure of cellulose microcrystallite, its absorption and desorption of water molecules by microwave radiation.

The purpose of research – intensification of drying process and maintenance of stability of the wood loose leaves form on the basis of modeling of cellular walls structural changes of wood, and also working out of definition scientifically well-founded technique of the microwave radiation parameters excluding ignition.

Methods of researches and equipment. Construction of model, the computation and statistical processing of experimental data were made with the help of computer and modern CAD programs. Experiments on drying split-shells bearings of birch wood were carried out in the microwave cavity resonator (2.45 GHz, 700 W). Humidity was defined with electric moisture gage and by weight method, temperature – thermocouple.

Scientific novelty of the results received. For the first time developed the cellulose microcrystallite model reflecting structural changes in it at water molecules absorption. Is determined that the water molecules form water-hydrogen link in cellulose microcrystallite with participation wood components and exist in them in a quasi-free state. So the limiting swelling of cellulose microcrystallites, fibrils and cells (capillaries) will make 6 %. Maximal content of the bound moisture makes about 30 % depending on kind wood. It was determined that the influence of microwave radiation on physically bound water molecules is similar to that of free ones. It allows develop the microwave drying parameters which determining optimum time of radiation influence for obtaining the required wood humidity. It was developed the equipment for microwave drying of wood split-slide bearing shells pressed into special form from fluoroplastic. It is required for fastening in metal cases which make a section wave guide. At achievement of the minimum humidity of wood in a wave guide radiation distribution stops. It allows excluding wood ignition.

The recommendations for use. The equipment of microwave drying of wood with use of the developed parametres allows to raise productivity drying workshop in 2.3 times in comparison with convection chamber drying.

Area of application. Woodworking and machine building industry, using small size wood feedstock.

Научное издание

МАТУСЕВИЧ Вячеслав Олегович

**СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛЕТОЧНЫХ СТЕНОК ДРЕВЕСИНЫ
И ИХ РОЛЬ В ИНТЕНСИФИКАЦИИ СВЧ-СУШКИ
ДРЕВЕСНЫХ ВКЛАДЫШЕЙ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ**

05.21.05 – Дровесиноведение, технология
и оборудование деревообработки

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 24.11.2011 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 1,3. Уч.-изд. л. 1,4. Тираж 60 экз. Зак. 3265.

Типография УО "БелГУТ". 246022, г. Гомель, ул. Кирова, 34.
ЛП № 02330/0494150 от 03.04.2009 г.