

обуславливающих ее способность удовлетворять определенные общественные и личные потребности.

Качество продукции определяется требованиями, которые к ней предъявляются со стороны производителя, потребителя и общества. Потребитель требует изготовить продукцию в срок, в заданных объемах, за приемлемую цену, заданного качества.

Производитель целью своей деятельности ставит получение прибыли, повышение уровня жизни коллектива предприятия, вследствие выпуска и реализации конкурентоспособной и пользующейся спросом продукции.

Общество выдвигает требования, объединяющие как интересы производителя, так и интересы потребителя: экологичность и безопасность производства и продукции. Такой подход позволяет конкретизировать деятельность предприятия в направлении приложения усилий по проведению мероприятий менеджмента качества. В частности это касается разработки политики, номенклатуры и значений показателей качества, общей оценки эффективности менеджмента в реализации цели политики в области качества, квалитетической оценки и т.д.

Таким образом, качество продукции (Q) является функцией от требований потребителя (a), производителя (b) и общества (c).

$$Q = f(a, b, c).$$

Несмотря на очевидность требований выдвигаемых со стороны общества, их рассмотрение в ракурсе качества продукции недостаточно представлено в современных исследованиях.

Предложенный подход подразумевает проведение всестороннего анализа продукции на предмет ее удовлетворения всем предъявляемым к ней требованиям со стороны производителя, потребителя и общества в *долгосрочном и краткосрочном периодах* на проектном и (или) опытно-промышленном этапе производства, что позволит снизить неоправданные затраты на унификацию систем менеджмента и сразу оценить рыночные возможности продукции. Проведенные в этой области исследования УДК 62-233.21/.22:674.81

Врублевская В.И., Матусевич В.О., Врублевский В.Б., Невзорова А.Б.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЧ-СУШКИ ДРЕВЕСНЫХ ВКЛАДЫШЕЙ

Введение

Среди большого количества антифрикционных материалов прессованная древесина является одним из перспективных благодаря таким преимуществам, как высокая работоспособность, недефицитность, технологичность, экономичность и воспроизводимость. Разработанный в БелГУТе способ торцово-прессового деформирования древесины с последующей пропиткой ее модифицированной смазкой, позволяет изготавливать износостойкие подшипники скольжения самосмазывающиеся (ПСС), надежно работающие в режиме самосмазки.

Для придания стабильных размеров подшипникам вкладыши подвергаются специальной обработке, заключающейся в высокотемпературной пропитке с одновременным удалением связанной влаги. При этом в стыке сторон вкладыша образуется зазор, который устраняется установкой компенсатора [1, 2].

Нами предложен наиболее эффективный способ сушки древесины с применением электромагнитной энергии сверхвысокой частоты (ЭМЭ СВЧ). Этот способ перспективен по ско-

дования показали необходимость создания расширенной классификации показателей качества продукции (таблица 1).

Их численное значение можно определить одним из известных в квалитетрии методов [5]. Для определения показателей экологии и безопасности рекомендуется использование в долгосрочном периоде расчетного метода и метода экспертных оценок, а в краткосрочном – измерительного и регистрационного. Предпочтение должно отдаваться измерительному методу, который позволяет оценить качество в реальных величинах.

Вывод. Проведенные исследования позволили определить приоритетную направленность мероприятий менеджмента при производстве ПСС, сформировать методику реализации ИСМ, сформулировать новый подход в понимании качества продукции в ракурсе ее экологической безопасности, который позволит улучшить результативность мероприятий менеджмента, реально внедрить ИСМ, конкретизировать политику в области качества в направлении требований общества, повысить ответственность производителя за качество продукции, уточнить методику квалитетических исследований и т.д.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Василевская С.В. TQM – основа интегральной системы менеджмента // Методы менеджмента качества. – 2005, №1. – С.32-38.
2. Кусакин Н.А., Назаренко В.В., Осмола И.И. Интегрированные системы менеджмента на основе международных стандартов // Новости. Стандартизация и сертификация. - 2005, №1. - С. 49 – 53.
3. Ситченко В.М., Стоякин Е.А. Интегрированная система менеджмента – основа устойчивого развития предприятия // Методы менеджмента качества. – 2004 №8. - С. 4 – 8.
4. Новый энциклопедический словарь. – М.: Большая советская энциклопедия, 2000. – 1456 с.: ил.
5. Стандартизация и управление качеством продукции: Учебник для вузов / В.А. Швандар, В.П. Панов, Е.М. Купряков и др.; Под ред. проф. В.А. Швандара. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999. – 487 с.

рости и качеству сушки древесины. Однако процессы, происходящие при этом, практически не изучены и зачастую от необоснованного применения излучателей СВЧ происходит перегрев древесины и ее возгорание. Поэтому необходимо теоретически более подробно исследовать происходящие явления.

Для совершенствования технологии и улучшения качества ПСС необходимо исключение компенсатора из конструкции подшипника. Это возможно осуществить путем использования промежуточного корпуса большего диаметра в процессе сушки заготовки. После сушки вкладыш перепрессовывается в корпус подшипника. Однако для того, что бы древесину влажность $W = 0\%$ сделать более пластичной необходимо повысить ее температуру до 130–140 °С, при этом необходим равномерный объемный нагрев, который достигается только при использовании СВЧ-излучения. Применяя данный способ сушки можно обеспечить нулевую влажность заготовки и температуру в заданных пределах. Преимущество абсолютно сухого вкладыша состоит в том, что сухая древесина имеет

Врублевская Валентина Ивановна, докт. техн. наук, профессор каф. "ДМиПТМ" Белорусского государственного университета транспорта.

Матусевич Вячеслав Олегович, аспирант каф. "ДМиПТМ" Белорусского государственного университета транспорта. Беларусь, БелГУТ, 246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.

наибольшую механическую прочность и пропитывается значительно быстрее. Если температура вкладыша равна и выше температуры, при которой вязкость масла, модифицированного высокомолекулярными соединениями, наименьшая, то оно не будет загустеть от соприкосновения с древесиной и пропитка будет осуществлена наиболее полно.

Основными преимуществами применения СВЧ-энергии для сушки древесины являются: возможность равномерного объемного бесконтактного нагрева; высокая степень поглощения древесиной энергии электромагнитного поля СВЧ; практически 100 %-ое преобразование СВЧ-энергии в тепловую, выделяемую в нагреваемом материале.

Однако до настоящего времени СВЧ-сушка не находит применения, т.к. ни специалисты по деревообработке, ни

производители СВЧ-оборудования не учитывают сложностей этого процесса. Необоснованное применение излучателей различной частоты и мощности приводит к неравномерному объемному нагреву, локальным перегревам и возгоранию материала. До настоящего времени ни в СНГ, ни за рубежом рынка СВЧ-сушилок не существует [3].

Для автоматизации производства и обеспечения наилучших эксплуатационных характеристик подшипникам скольжения необходимы дальнейшие теоретические исследования процессов происходящих при сушке древесины, в том числе и с применением ЭМЭ СВЧ.

Свойства древесины

При изготовлении изделий из древесины, в том числе и при изготовлении подшипников скольжения, сушка ее неизбежна. Это обусловлено исключительным ее природным свойством –

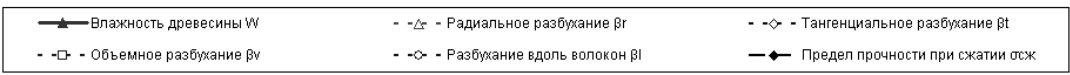
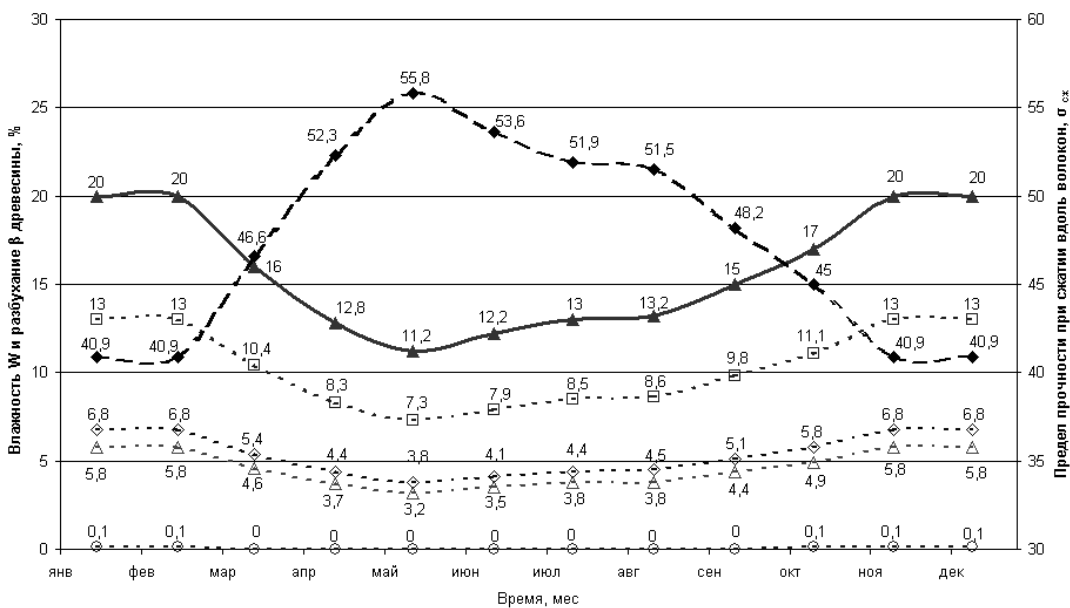
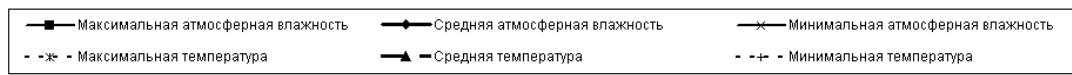
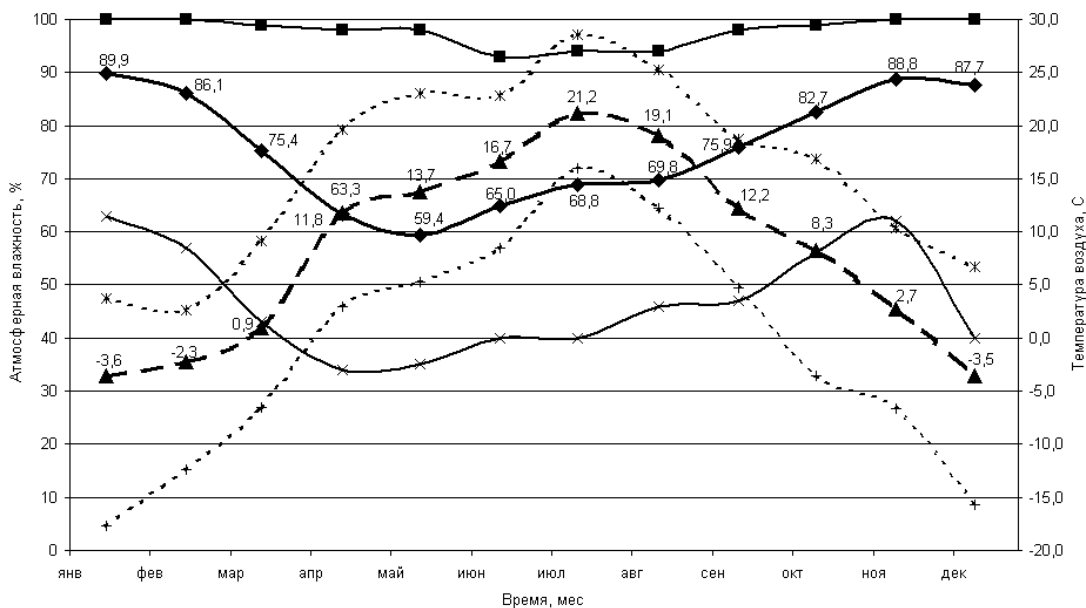


Рис. 1. Зависимости влажности древесины, ее разбухания и предела прочности от влажности воздуха и времени года за 5 лет (2000 – 2004 г.г.) по Гомельской области.

Таблица 1. Взаимосвязанное состояние древесины с окружающей средой

Наименования	Показатели						
	7	20	55	75	85	92	100
Влажность воздуха, %	7	20	55	75	85	92	100
Влажность древесины, %	1	5	10	15	20	25	30
Разбухание (усушка), %:							
	радиальное	0,26	1,3	2,6	3,9	5,2	7,8
	тангенциальное	0,31	1,55	3,1	4,65	6,2	7,75
	объемное	0,54	2,7	5,4	8,1	10,8	16,2
Предел прочности при сжатии, МПа	106	85	65	50	38	29	22
Снижение прочности, %	50		28		22		

гигроскопичностью, находящейся в равновесном состоянии с окружающей средой (воздухом) и заключающейся в спонтанном поглощении влаги при увеличении влажности воздуха и удалении влаги из древесины при уменьшении влажности, при этом происходит ее разбухание или усушка (рис. 1).

Это свойство древесины является недостатком при ее использовании, так как не сохраняется стабильность размеров изделий. Предельное содержание гигроскопической влаги в древесине – 28–32 %. При этом ее объемное разбухание составляет 12–15 %. Прессованная древесина, находясь во влажной среде, распрессовывается.

С уменьшением гигроскопичности уменьшаются геометрические размеры и увеличивается прочность древесины, и наоборот (таблица 1) [2].

Для средней части Европы, где расположена Республика Беларусь, влажность воздушно-сухой древесины составляет 15–20 %, для южной – 10–15 %, в зависимости от времени года [3].

Торцово-прессовое деформирование древесных заготовок в цилиндрические оболочки вкладышей ПСС производится при их влажности $W = 20\text{--}25\%$ с последующей сушкой до абсолютно сухого состояния. Ранее этот процесс производился в сушильных камерах. В настоящее время исследуются возможности СВЧ-сушки.

Многие специалисты по сушке древесины применяют к СВЧ-сушке тот же подход, что и конвективной, т.е. рассматривают древесину как пассивный материал. Однако в процессе СВЧ-сушки древесина проявляет свойства активного мате-

риала, исполняющего роль диэлектрического волновода, представляющего собой упорядоченную взаимосвязь на молекулярном уровне компонентов древесины и молекул воды.

Для разработки технологии сушки нами изучалась гигроскопичность древесины на наноуровне с использованием сферической пространственной модели молекул.

Молекулярное моделирование гигроскопичности древесины

Сферическая модель состоит из соприкасающихся друг с другом сфер, которые рассчитываются таким образом, чтобы радиусы атомов и расстояния между ядрами были прямо пропорциональны действительным размерам. Эта модель дает примерно правильную картину объема молекулы.

Исследования взаимодействия древесины с водой базируются на различных подходах, и многие из них до настоящего времени остаются недостаточно разработанными и дискуссионными. Это обусловлено особенностью физической системы древесина-вода.

Исследование гигроскопичности древесины на молекулярном уровне было проведено на наиболее изученном ее компоненте – целлюлозе, макромолекула которой представляет собой линейный полимер $(C_6H_{10}O_5)_n$, сильно вытянутый, но не жесткий. Степень полимеризации колеблется от 50–200 до 5000–10000 и более. На рисунке 2 представлено три элементарных звена (глюкозных остатков) молекулы целлюлозы. Глюкозный остаток содержит три свободные гидроксильные группы OH [4, 5].

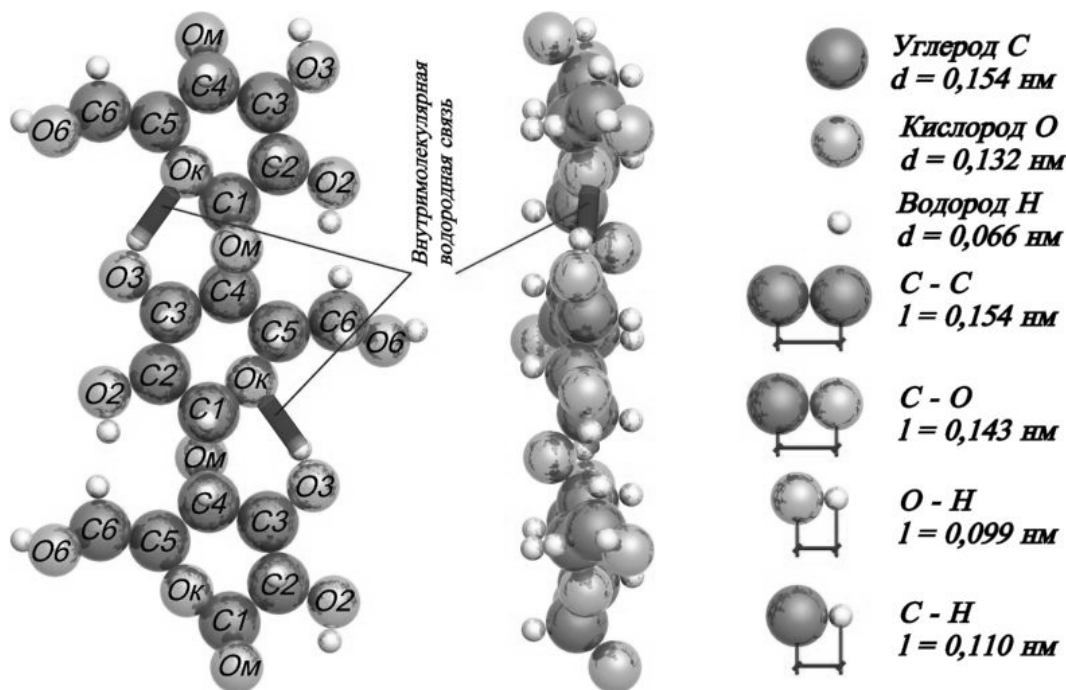


Рис. 2. Три элементарных звена макромолекулы целлюлозы.

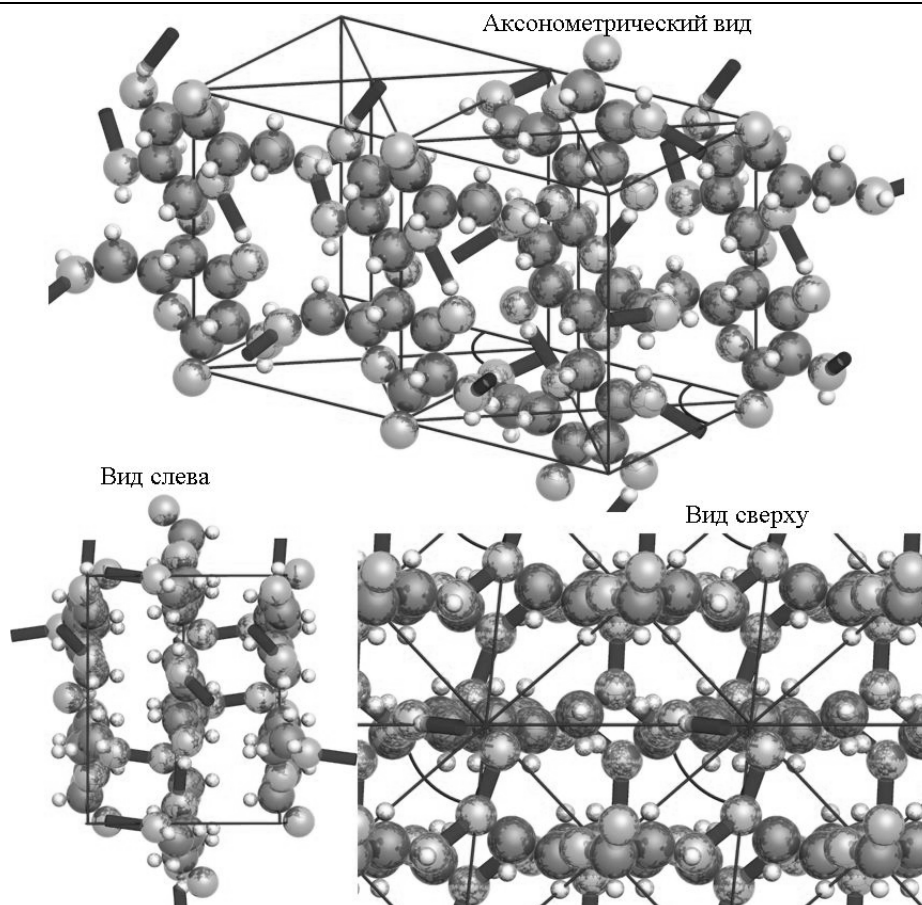


Рис. 3. Межмолекулярные водородные связи в сухой целлюлозе.

Никаких разветвлений в макромолекуле нет, поэтому имеет место интенсивное межмолекулярное взаимодействие, которое осуществляется водородными связями полярных групп ОН, расположенных в строго определенном порядке и обуславливающих высокую реакционную способность целлюлозы.

В абсолютно сухой древесине связь между молекулами компонентов древесины осуществляется при помощи межмолекулярных сил, в частности водородными связями гидроксильных (полярных спиртовых) групп ОН, энергия которых составляет 42 кДж/моль (рис. 3).

Во влажных условиях они разрываются и образуют водородную связь с молекулами воды, энергия связи которых равна 8,4 кДж/моль. При влажности воздуха $W = 100\%$ в эти связи вовлекаются все гидроксильные группы (рис. 4).

Молекулы воды, внедряясь в водородные связи целлюлозы увеличивают расстояния между макромолекулами – происходит разбухание древесины. В такой набухший кристалл вода проникает беспрепятственно и связывает все существующие водородные связи компонентов древесины, которая достигает высшей точки насыщения.

Расчет гигроскопичности при полном насыщении волокон древесины влагой

Расчет был произведен через атомные массы элементарных звеньев макромолекул компонентов древесины. Т.к. каждое элементарное звено природного полимера может присоединять конечное число молекул воды, то количество всей связанной воды в компонентах древесины будет пропорционально суммарному количеству воды, присоединенной одной единицей каждого компонента. Расчет процента влажности древесины при максимальном насыщении приведен в таблице 2.

Каждое глюкозное кольцо целлюлозы может образовать 3 водородные связи с помощью гидроксильных ОН2, ОН3 и ОН6, следовательно может присоединить 3 молекулы воды (таблицу 2).

Клеточные стенки соединяются в единый каркас межклеточным веществом – лигнином, который представляет собой сложный полимер. Единица лигнина может связать 2 молекулы воды. Целлюлоза и лигнин в клеточных стенках тесно связаны с гемицеллюлозами, представляющими собой смесь полисахаридов. Они окутывают целлюлозные нити и придают монолитность и прочность клеточным стенкам. Гемицеллюлоза так же как и целлюлоза содержит 3 свободные гидроксильные группы. Степень полимеризации гемицеллюлоз в среднем 100–200.

Полученный результат соответствует многочисленным экспериментальным данным и свидетельствует о том, что только связанная вода влияет на изменение ее физико-механических свойств.

Расчет необходимой энергии для сушки древесины

Для предотвращения деструкции древесины необходимо определить количество подводимой энергии, при которой температура выделяемого в древесине тепла не превышала бы 150°C , т.к. при этом сушка сопровождается только удалением связанной влаги. При температуре древесины свыше 150°C начинается разложение древесины [5, 6].

По нашим исследованиям при СВЧ-сушке древесины, ее температура не превышает 100°C до тех пор, пока возможен отвод тепла с помощью удаляемой влаги. Т.е. до тех пор, пока влажность в центре заготовки не станет близкой 0 %.

Для удаления влаги из древесины необходимо затратить определенное количество энергии. Данная энергия расходуется на нагрев влажной древесины, на отрыв от ее компонентов молекул воды и транспортировку последних в окружающую

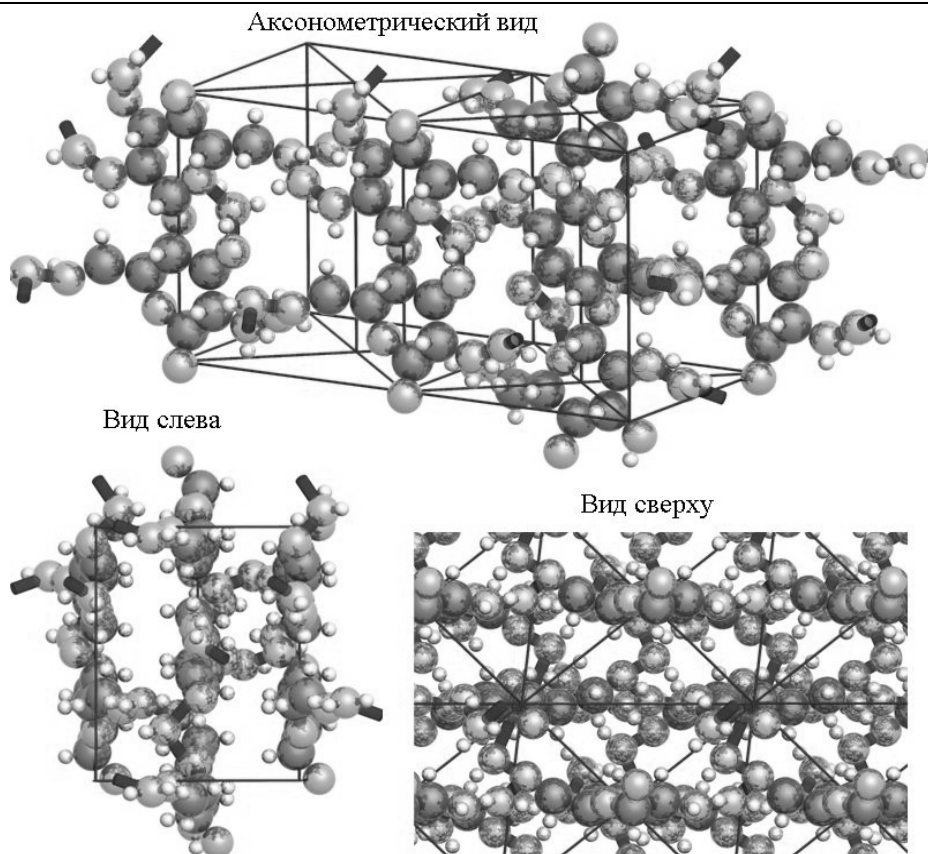


Рис. 4. Межмолекулярные водородные связи в насыщенной целлюлозе.

Таблица 2. Влажность древесины при максимальном насыщении

Компоненты древесины	Атомная масса единицы (глюкозного остатка)	Количество водородных связей на единицу	Доля присоединенной воды в единице, %	Содержание компонента в древесине, %	Содержание воды в компоненте, %
Целлюлоза $[C_6H_{10}O_5]_n$	162,135	3	33,3	41	13,7
Лигнин $[C_9H_{13}O_3]_n$	169,191	2	21,3	21	4,5
Гемичеселлюлоза:					
– гексозаны $[C_6H_{10}O_5]_n$	162,135	3	33,3	3	1,0
– пентозаны $[C_5H_8O_4]_n$	132,110	3	40,9	28	11,5
Всего:					30,6
<i>Примечание.</i> Атомные массы: углерода (С) – 12,01; кислорода (О) – 15,999; водорода (Н) – 1,008; молекулы воды (H ₂ O) – 18,015					

среду. Транспортировка влаги по капиллярам к торцам древесной заготовки (вкладыша) осуществляется под действием внутреннего давления, являющегося результатом интенсивного удаления (испарения) влаги из стенок в полости сосудов и капилляров древесины. Соответственно, на удаление влаги из древесины в окружающую среду затрачивается количество энергии равное энергии парообразования воды.

Количество энергии, требуемое на нагрев 1 м³ древесины березы влажностью $W = 30\%$ и на испарение влаги, определяется по формуле:

$$Q = \Delta T (c_e m_e + c_o m_o) + r_e m_e, \quad (1)$$

где $\Delta T = 80^\circ\text{C}$ – разность конечной (100°C) и начальной (20°C) температур;

m_o – масса абсолютно сухой древесины, кг;

m_e – масса связанной воды в древесине влажностью 30 %, кг;

$c_e = 4190 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ – удельная теплоемкость воды;

$c_o = 1675 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ – удельная теплоемкость древесины;

$r_e = 2260000 \text{ Дж}/\text{кг}$ – удельная теплота парообразования воды при 100°C .

Количество энергии, Дж, требуемое на разрыв всех связей с молекулами воды, определяется по формуле:

$$Q_p = W_p \cdot N, \quad (2)$$

где W_p – энергия разрыва водородных связей в насыщенном волокне, Дж/моль;

N – количество вещества, моль, расчет приведен в таблице 3.

Данные расчеты применимы для случая равномерного объемного нагрева. Такой нагрев возможен при двустороннем облучении блока заготовок СВЧ-излучением.

Время, с, затраченное на сушку, рассчитывается в зависимости от мощности W источника тепла (излучения) по формуле:

$$t_c = \frac{Q + Q_p}{W}. \quad (3)$$

Таблица 3. Расчет количества вещества в 1 м³ древесины при заданной влажности

Наименование компонента	На единицу компонента			Процентный состав в древесине	Масса компонента в древесине, г	Количество вещества, моль
	Молярная масса, г/моль	Количество присоединенных молекул воды	Общая молярная масса, г/моль			
Целлюлоза [C ₆ H ₁₀ O ₅] _n	162,135	3	216,180	41%	277160	1282,08
Лигнин [C ₉ H ₁₃ O ₃] _n	169,191	2	205,221	21%	141960	691,74
Гексозаны [C ₆ H ₁₀ O ₅] _n	162,135	3	216,180	3%	20280	93,81
Пентозаны [C ₅ H ₈ O ₄] _n	132,110	3	186,155	28%	189280	1016,79
Экстрактивные вещества				7%	47320	
Всего:				100%	676000	3084,42
Вода [H ₂ O]	18,015					

Таблица 4. Расчет количества энергии

Параметр	Значение
Энергия разрыва водородных связей, Дж/моль	8 400
Необходимая энергия для разрыва всех водородных связей, Дж	25 909 125
Необходимая энергия для нагрева древесины, Дж	64 480 000
Необходимая энергия для нагрева воды, Дж	52 291 200
Необходимая энергия для испарения воды, Дж	352 560 000
Всего энергии, Дж	495 240 325
Необходимые затраты энергии, Вт·ч	137 567
Принимаемая мощность источника СВЧ-излучения, Вт	100 000
КПД СВЧ-источника, %	60
Мощность СВЧ-источника с учетом КПД, Вт	60 000
Время, затрачиваемое на сушку, ч	2,4

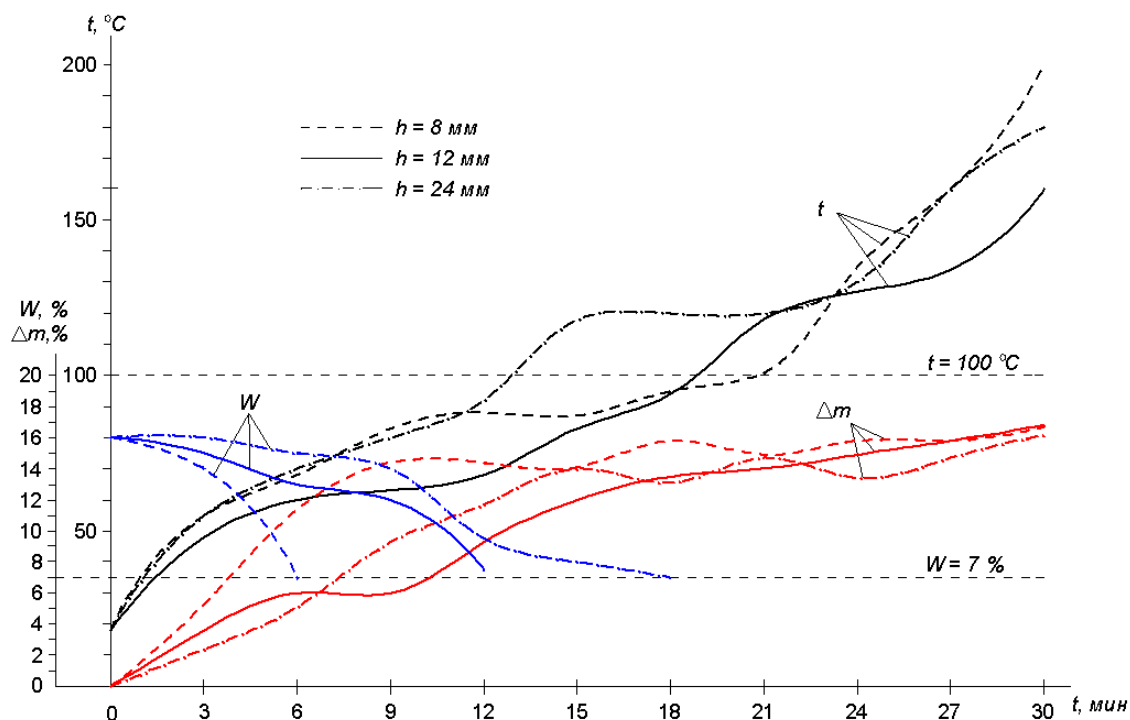


Рис. 5. Зависимость изменения температуры, влажности и массы образцов древесины от продолжительности воздействия СВЧ-излучения.

Исходными данными для расчетов являются: 1 м³ древесины березы влажностью 30%, энергия разрыва водородных связей в насыщенном волокне которой $W_p = 8,4$ кДж/моль.

Масса высушиваемой древесины $m_d = 520$ кг определяется из произведения плотности ρ_d (для абсолютно сухой древесины березы – 520 кг/м³) и ее объема V . Масса воды в древесине влажностью 30 соответственно равна $m_w = 0,3 \cdot m_d = 156$ кг.

Итого затраты энергии на сушку 1 м³ древесины березы от влажности 30 % до абсолютно-сухого состояния составляют 137,5 кВт·ч/м³.

При увеличении мощности источника СВЧ-излучения время сушки уменьшается и наоборот. При известных способах сушки продолжительность проходила в 5–7 раз дольше. Это подтверждено проведенными нами экспериментами при сушке образцов для изготовления ПСС. Заготовки геометрическими размерами 30×60×h12 мм были полностью высушены за 15 мин в СВЧ-камере мощностью 0,58 кВт, и за 180 мин в термощафу.

Экспериментальная проверка теоретических расчетов данных

При производстве подшипников скольжения самосмазывающихся на основе прессованной древесины после торцово-прессового деформирования древесных заготовок для стабилизации их размеров производится сушка СВЧ-энергией вкладывшей влажностью 17–25 % и начальной температурой 18⁰С.

Из заготовок шириной $B = 30$ мм и длиной $L = 60$ мм набирались блоки высотой H равной длине волны СВЧ-излучения $\lambda = 0,12$ м. Сушка проводилась трех блоков одновременно. Их объем составлял $V = 0,00065$ м³. Количество вещества в данном объеме – 2,02 моль.

Предварительные расчеты показали, что необходимая энергия для разрыва всех водородных связей – 16,9 кДж; для нагрева сырой древесины и испарения воды – 183,2 кДж. Всего необходимо – 200,1 кДж. Расчетная мощность необходимая для сушки – 56 Вт·ч.

При мощности источника СВЧ-излучения 580 Вт образцы влажностью 30 % должны быть полностью высушены за 10 минут. Результаты эксперимента приведены на рисунке 5. Сушка этих образцов до влажности $W = 7$ % продолжалась 6–18 минут в зависимости от толщины заготовок.

УДК 621.822.5.002.3:634.0.865:666.189.2

Екименко А.Н.

ДЕТАЛИ ТРЕНИЯ ИЗ АРМИРОВАННЫХ ДРЕВОПЛАСТОВ

Новыми прогрессивными материалами, обладающими рядом ценных свойств, являются массы древесные прессовочные (МДП), представляющие собой измельченную древесину, импрегнированную фенолформальдегидной смолой. Простота и общедоступность изготовления материалов из местного сырья и отходов производства и низкая их стоимость создают перспективную возможность использования этих материалов в различных областях машиностроения.

Материалы МДП используются сейчас в основном для изготовления различных слабонагруженных изделий типа плиток, крышек, полочек и др. Ограниченное использование МДП для изготовления опор скольжения объясняется прежде всего низкой прочностью этого материала при работе на ударный изгиб [1]. С целью увеличения ударной вязкости МДП применяются способы армирования их металлом, специально подготовленной древесной стружкой и другими материалами. Однако применение металлической арматуры связано с определенными трудностями, вызываемыми необходимостью склеивания металла и дерева, значительными затратами на механическую обработку металлической арматуры, а также некоторыми особенностями формирования изделий в процессе их изготовления. При применении металлической арматуры нарушается монолитность изделия. В деталях и конструкциях за счет различного температурного коэффициента линейного расширения используемых составляющих, а также неравномерной усадки разнородных материалов могут возникать значительные внутренние напряжения, трещины и коробления, отрицательно сказывающиеся на работе конструкций. Таким образом, применение металлической арматуры в качестве упрочняющего средства для материалов из измельченной древесины приводит к значительному удорожанию изделий, увеличению веса, усложнению технологического процесса их производства.

В Институте инновационных исследований выполнены

Заключение

Изучение строения древесины на молекулярном уровне позволило теоретически обосновать предел гигроскопичности и рассчитать необходимое количество энергии и время воздействия СВЧ-излучения для обеспечения качественной сушки древесины без протекания деструктивных процессов.

Теоретические расчеты, подтвержденные экспериментальными исследованиями позволили разработать технологию качественной и производительной СВЧ-сушки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Врублевская В.И., Невзорова А.Б., Врублевский В.Б. Износостойкие самосмазывающиеся антифрикционные материалы и узлы трения из них. – Гомель: БелГУТ, 2000 – 324 с.
2. Невзорова А.Б. Теоретические основы и технология механо-трансформации древесины. – Гомель: БелГУТ, 2003. – 160 с.
3. Гареев Ф.Х. Проблемы и перспективы СВЧ-сушки древесины // Ж-л Лесная промышленность. ЛПИ. – 2004. - №1. - С.50-52.
4. Химия древесины / Под ред. Б.Л. Браунинга. – М.: Лесная промышленность, 1967. – 415 с.
5. Левитина Т.П. Справочник по органической химии: Учебное пособие. – СПб.: "Паритет", 2002. – 448 с.
6. Дубин. З.Ю. Смоло-скипидарное производство. – 2-е изд. М.: Лесная промышленность, 1966 – 160с.

исследования по армированию МДП стекловолокнистыми наполнителями. Введение в состав МДП 15-20% стеклянного волокна марки НСО-6/300 длиной 20-30 нм позволяет в 3-4 раза повысить его ударную вязкость [2].

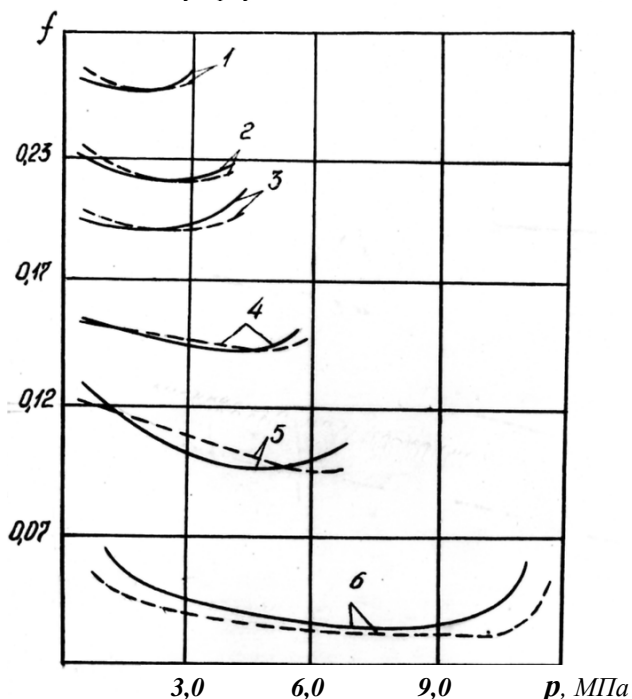


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения f АМДП и древесного шпона от удельной нагрузки p и содержания стекловолокна:

Екименко А.Н., научный сотрудник Института инновационных исследований. Беларусь, ИИИ, 246017, г. Гомель, ул. Карповича, 5/18.