

А. И. Юхновец, соискатель, В. Б. Снопков, канд. техн. наук, доцент, БГТУ;  
И. М. Грошев, канд. техн. наук, доцент, ОАО «Витебскдрев»

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА СКОРОСТЬ НАГРЕВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Researches of influence of parametres of the treating medium for speed of heating of wood are executed. It is installed, that to the greatest degree speed of heating depends on air relative humidity. The temperature of the treating medium influences intensity of heating of wood to a lesser degree. Process of heating of wood during a tempering can be cleft for two periods: fast and slow heating.

**Введение.** С 2005 г. Европейский Союз внес изменения в действующие положения, регулирующие импорт и передвижение в его пределах древесины и продукции из древесины. Сделано это в соответствии с рекомендациями Международной Конвенции по защите растений, Организации ООН по вопросам продовольствия и сельского хозяйства. Особое внимание обращено на древесные упаковочные материалы (тару), изготовленные из необработанной древесины. К ним могут быть отнесены поддоны, ящики и коробки, средства компактной укладки, крепления и защиты груза при транспортировке [1, 2]. Обусловлено это тем, что необработанная древесина может явиться средством распространения вредителей, представляющих угрозу для растительности стран Сообщества. Для сокращения риска распространения вредных насекомых экспортерам продукции в страны Сообщества предложено изготавливать упаковочные материалы из древесины, подвергнутой санитарной обработке, эффективной по отношению к вредителям. Способами обработки, одобренными национальными организациями по защите растений всех стран Европейского Союза, являются термообработка и дезинфекция метилбромидом. Термообработка древесины считается достаточной, если внутри сортимента была достигнута температура не менее 56°C, а выдержка древесины при этой температуре составила не менее 30 мин. Указанные параметры термообработки могут быть обеспечены при проведении различных технологических процессов, используемых в деревообработке. В частности, ими могут быть обработка древесины горячей водой и паром в бассейнах, парильных ямах и автоклавах, автоклавная пропитка. Могут быть использованы для проведения термообработки и конвективные сушильные камеры, имеющиеся на большинстве деревообрабатывающих предприятий Республики Беларусь.

Цель настоящих исследований – определение влияния параметров обрабатываемой среды на скорость нагревания древесины с последующей разработкой технологических режимов термической обработки древесины, используемой для изготовления упаковочных материалов.

**Методика проведения исследований.** Состояние воздуха, используемого в качестве обрабатываемой среды, принято характеризовать температурой и относительной влажностью [3]. Второй из названных параметров, при необходимости, может быть заменен температурой смоченного термометра или психрометрической разностью. Существенное влияние на эффективность нагревания древесины оказывает скорость перемещения обрабатываемой среды относительно нагреваемого материала.

Для проведения опытов была выбрана сосновая древесина в виде досок, имеющих размеры поперечного сечения 40×200 мм. Начальная влажность всех сортиментов составляла около 40% (37,9–41,2%), плотность – 578–592 кг/м<sup>3</sup>, средняя базисная плотность – 419 кг/м<sup>3</sup>. Для нагревания древесины использовали лабораторную установку, описанную в [4]. Температуру обрабатываемой среды во время опытов поддерживали на уровнях 95, 85 и 70°C. Для каждой температуры относительная влажность воздуха могла принимать четыре значения: 97, 75, 50 и 20%. Скорость циркуляции обрабатываемого агента составляла 1 м/с.

**Результаты исследований.** На рис. 1 представлены графические зависимости, показывающие изменения температуры внутри сосновой доски толщиной 40 мм при обработке ее воздухом, температура которого составляет 95°C при различных значениях относительной влажности. Аналогичные кривые, полученные при нагревании древесины в среде с температурой 85 и 70°C, показаны на рис. 2 и 3.

Анализируя результаты, представленные на рис. 1, отметим следующее. Во всех рассматриваемых опытах температура внутри сортиментов увеличивается на протяжении всего периода обработки. Однако она возрастает неравномерно. Вначале прогрев древесины происходит быстро: при влажности обрабатываемой среды 97% – 60,8°C/ч, 75% – 39,4°C/ч, 50% – 22,4°C/ч, 20% – 10,3°C/ч. Впоследствии скорость нагревания резко снижается и составляет для разных случаев от 0,2 до 1,4°C/ч. Переход от периода быстрого нагревания к медленному начинается при достижении внутренними слоями нагреваемых сортиментов температуры, отличающейся от температуры смоченного термометра на 5°C,

т. е.  $t = t_M - 5$ . Когда температура внутренних слоев становится равной температуре смоченного термометра ( $t = t_M$ ), дальнейшее нагревание древесины происходит медленно.

Объяснить подобный ход кривых можно следующим образом. На первом этапе поверхностные слои сортиментов быстро прогреваются и имеют более высокую температуру, чем внутренние слои. Одновременно они теряют часть влаги, и их влажность становится меньше влажности древесины внутри сортиментов. В результате возникают противоположно направленные градиенты: градиент температуры, направленный от оси сортиментов к поверхности, и градиент влажности, направленный от поверхности к середине сортимента. В первый период времени температурный градиент компенсирует действие влажностного градиента и препятствует продвижению влаги от середины сортиментов к поверхности, т. е. препятствует их сушке. Вся теплота, сообщаемая обрабатывающим агентом древесине, расходуется, главным образом, на ее нагревание, которое происходит быстро.

По мере прогревания сортиментов температура внутренних слоев увеличивается, а температурный градиент, как следствие этого, уменьшается. Градиент влажности, напротив, растет и начинает доминировать в противоборстве. Начинается движение влаги к поверхности со все возрастающей интенсивностью, откуда она испаряется в обрабатывающую среду. В этой ситуации большая часть энергии, поглощаемой древесиной, расходуется на сушку и лишь незначительное ее количество идет на нагревание древесины. Как следствие этого – рост температуры внутренних слоев сортиментов во втором периоде происходит гораздо медленнее.

Анализ графических зависимостей, представленных на рис. 2 и 3, показывает, что описанный характер изменения температуры во времени сохраняется и при других температурах обрабатывающей среды. При температуре воздуха 85°C (рис. 2) и 70°C (рис. 3) также легко различимы периоды быстрого и медленного прогревания древесины.

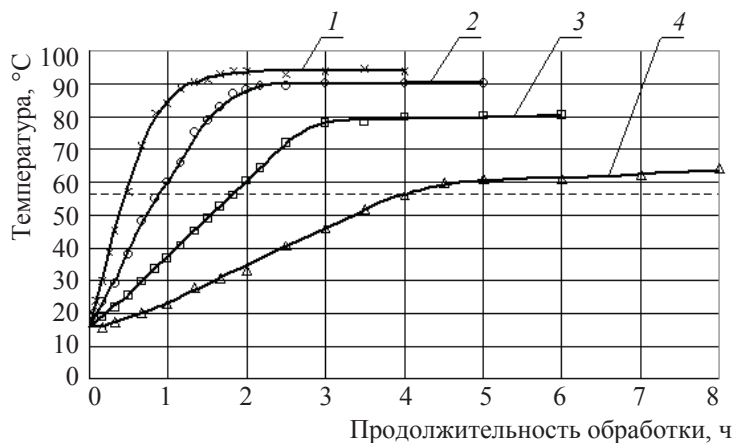


Рис. 1. Изменение температуры в середине сосновых досок ( $S \times b = 40 \times 200$  мм) при температуре обрабатывающей среды 95°C:

1 – относительная влажность агента обработки  $\varphi = 97\%$  (температура смоченного термометра  $t_M = 94^\circ\text{C}$ ); 2 –  $\varphi = 75\%$  ( $t_M = 88^\circ\text{C}$ ); 3 –  $\varphi = 50\%$  ( $t_M = 78^\circ\text{C}$ ); 4 –  $\varphi = 20\%$  ( $t_M = 60^\circ\text{C}$ )

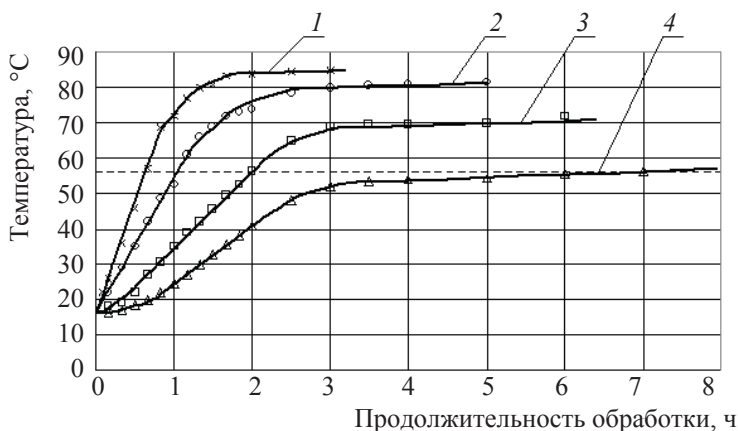


Рис. 2. Изменение температуры в середине сосновых досок ( $S \times b = 40 \times 200$  мм) при температуре обрабатывающей среды 85°C:

5 – относительная влажность агента обработки  $\varphi = 97\%$  (температура смоченного термометра  $t_M = 84^\circ\text{C}$ ); 6 –  $\varphi = 75\%$  ( $t_M = 78^\circ\text{C}$ ); 7 –  $\varphi = 50\%$  ( $t_M = 69^\circ\text{C}$ ); 8 –  $\varphi = 20\%$  ( $t_M = 53^\circ\text{C}$ )

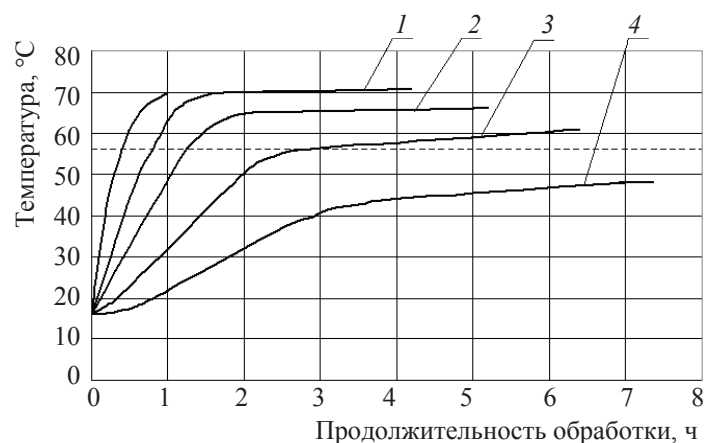


Рис. 3. Изменение температуры в середине сосновых досок ( $S \times b = 40 \times 200$  мм) при температуре обрабатывающей среды  $70^\circ\text{C}$ :

9 – относительная влажность агента обработки  $\varphi = 97\%$  (температура смоченного термометра  $t_m = 69^\circ\text{C}$ ); 10 –  $\varphi = 75\%$  ( $t_m = 64^\circ\text{C}$ ); 11 –  $\varphi = 50\%$  ( $t_m = 56^\circ\text{C}$ ); 12 –  $\varphi = 20\%$  ( $t_m = 42^\circ\text{C}$ )

Рассмотрим теперь, каким образом влияют на интенсивность прогрева параметры обрабатывающей среды. В табл. 1 обобщены результаты расчета скорости, с которой происходило нагревание внутренних слоев сортиментов при различных значениях температуры и относительной влажности воздуха в камере, а также указано время, за которое в центре сортимента достигалась температура  $56^\circ\text{C}$ .

Экспериментальные данные, представленные на рис. 1–3 и в табл. 1, убедительно свидетельствуют, что наиболее быстро древесина прогревается в среде, у которой степень насыщенности водяным паром приближается к единице ( $\varphi = 0,97$ ). В этом случае температура  $56^\circ\text{C}$  в середине сортиментов, установленная странами ЕЭС как минимально достаточная для проведения термической фитосанитарной обработки древесины, достигается при температуре обрабатывающей среды  $95^\circ\text{C}$  через 0,5 ч,  $85^\circ\text{C}$  – 0,6 ч,  $70^\circ\text{C}$  – 0,8 ч. Уменьшение влажности воздуха, используемого в качестве обрабатывающей среды, очень сильно замедляет процесс нагревания древесины. Так, например, при температуре среды  $95^\circ\text{C}$  и степени насыщенности 97% древесина прогревается со скоростью  $60,8^\circ\text{C}/\text{ч}$ . Уменьшение относительной влажности до 50% при той же температуре приводит к снижению скорости до  $22,4^\circ\text{C}/\text{ч}$ . Соответственно увеличивается время, необходимое для достижения требуемой температуры ( $56^\circ\text{C}$ ) с 0,5 до 1,8 ч.

Описанное явление нетрудно объяснить. Воздух, насыщенный водяным паром, не способен воспринимать дополнительное количество воды, т. е. может осуществлять сушку древесины. Контактывая с древесиной, он расходует свой энергетический ресурс только на ее нагревание. По мере уменьшения влажности воздуха его способность испарять влагу возрастает. В результате при контакте обрабатывающей среды с поверхностью древесины имеют место

два параллельно протекающих процесса: нагревание и сушка древесины. Чем меньше относительная влажность воздуха, тем большая часть его энергии расходуется на испарение влаги, тем медленнее происходит нагревание древесины, находящейся в его среде.

Таблица 1

**Скорость нагревания древесины**

Номер опыта	Параметры обрабатывающей среды		Скорость нагревания, $^\circ\text{C}/\text{ч}$	Время достижения температуры $56^\circ\text{C}$ , ч
	температура, $^\circ\text{C}$	относительная влажность, %		
1	95	97	60,8	0,5
2		75	39,4	0,9
3		50	22,4	1,8
4		20	10,3	3,9
5	85	97	50,4	0,6
6		75	33,5	1,0
7		50	19,6	2,0
8		20	12,8	6,1
9	70	97	43,6	0,8
10		75	30,7	1,3
11		50	16,1	2,9
12		20	8,1	14,3

Температура также влияет на скорость нагревания древесины, хотя это влияние менее значительно по сравнению со степенью насыщенности обрабатывающей среды. Проанализируем, например, опыты 2, 6 и 10 (рис. 1–3, табл. 1), в которых нагревание сосновых досок происходило при температуре 95, 85 и  $70^\circ\text{C}$ , но относительная влажность обрабатывающей среды была одинаковой и составила 75%. Нетрудно видеть, что снижение температуры воздуха приводит к некоторому уменьшению скорости нагревания, которая соответственно составляет 39,4; 33,5 и  $30,7^\circ\text{C}/\text{ч}$ . Таким образом, с падением

температуры на 25°C процесс нагревания замедлился на 22,1%. Соответственно увеличилось время, необходимое для достижения на оси сортиментов температуры 56°C: 0,9; 1,0 и 1,3 ч.

Обратим теперь внимание на очень интересный факт. В опытах 8, 11 и, особенно, 12 время нагревания сортиментов до температуры 56°C непропорционально велико. При температуре обрабатывающей среды 70°C и влажности 20% прогреть доску толщиной 40 мм до нужной температуры удалось лишь за 14,3 ч. В чем причина этого? Обратимся к рис. 2 и 3. Температурные кривые, полученные в опытах 8, 11 и 12, пересекают ординату 56°C в области периода медленного нагревания древесины. В это время процесс сушки доминирует над процессом нагревания, и скорость роста температуры внутри сортиментов составляет лишь 1,0–1,4°C/ч.

Из полученного результата следует важный практический вывод. Термическую фитосанитарную обработку древесины следует проводить при таких параметрах обрабатывающей среды, чтобы температура на оси сортиментов, равная 56°C, была достижима в период быстрого нагревания древесины. Анализ графических зависимостей рис. 1–3 показал, что для этого температура смоченного термометра обрабатывающей среды должна превышать требуемую температуру прогрева древесины (56°C) не менее чем на 5°C и составлять не менее 61°C. Невыполнение этого условия будет приводить к замедлению процесса нагревания древесины, увеличению продолжительности термической фитосанитарной обработки и, как следствие этого, к значительному снижению производительности оборудования и увеличению расхода энергоресурсов.

Как было показано выше, процесс термической обработки в ненасыщенной среде может сопровождаться сушкой древесины. Это – крайне нежелательное явление. Дело в том, что

высыхают в первую очередь и главным образом наружные слои сортиментов. Это приводит к неизбежному возникновению внутренних напряжений в древесине и, как следствие этого, ее растрескиванию [3]. Образование трещин снижает потребительские свойства материала как с точки зрения его внешнего вида, так и с точки зрения прочностных характеристик.

С учетом сказанного, нами было изучено изменение влажности сосновых досок ( $S \times b = 40 \times 200$  мм) в процессе термической обработки. При этом сравнивали влажность до начала обработки и после ее завершения. Продолжительность термической обработки определяли путем сложения времени достижения на оси сортиментов температуры 56°C и получаса, как того требуют вновь введенные нормативы ЕС. Полученные результаты сведены в табл. 2.

Результаты эксперимента показывают, что термическая обработка в среде, близкой к насыщению ( $\phi = 97\%$ ), практически не сказывается на влажности древесины. Применение более сухого воздуха, как и следовало ожидать, приводит к снижению влажности обрабатываемых сортиментов. При этом очень четко прослеживается следующая закономерность: чем меньше относительная влажность обрабатывающей среды и чем больше продолжительность термической обработки, тем в большей степени уменьшается влажность древесины. Особенно заметно этот параметр изменился в опытах 8 и 12, в которых древесину обрабатывали воздухом с влажностью  $\phi = 20\%$ . При температуре 85°C за 6,6 ч древесина высохла от 40,2% влажности до 36,5 ( $\Delta W = 3,7\%$ ), а при температуре 70°C за 14,8 ч – от 37,9 до 29,0% ( $\Delta W = 8,9\%$ ). Установленный факт хорошо согласуется и подтверждает предложенное ранее объяснение процессов, происходящих внутри сортиментов во время термической обработки.

Таблица 2

**Влажность пиломатериалов до и после термической обработки**

Номер опыта	Параметры обрабатывающей среды			Продолжительность обработки, ч	Влажность древесины, %	
	температура, °C	психрометрическая разность, °C	относительная влажность, %		начальная	конечная
1	95	1	97	1,0	41,2	41,1
2		7	75	1,4	4,6	40,2
3		17	50	2,3	40,9	40,0
4		35	20	4,4	40,0	38,7
5	85	1	97	1,1	38,8	39,2
6		7	75	1,5	40,4	40,0
7		16	50	2,5	40,9	39,6
8		32	20	6,6	40,2	36,5
9	70	1	97	1,3	39,2	39,1
10		6	75	1,8	40,0	38,8
11		14	50	3,4	39,5	37,5
12		28	20	14,8	37,9	29,0



В случаях, когда температура смоченного термометра обрабатывающей среды оказывается меньше 56°C и прогрев древесины завершается в период медленного нагревания, активно идет процесс сушки древесины, что и приводит к заметному уменьшению ее влажности.

Визуальный осмотр сортиментов, прошедших термическую обработку, показал, что образцы 4, 8, 11 и 12 подверглись растрескиванию. Особенно глубокими были трещины в последнем из названных образцов. Нетрудно заметить, что растрескивание древесины произошло в опытах, относительная влажность обрабатывающей среды в которых была минимальной, а снижение влажности образцов – наибольшим. Установленный факт также говорит о том, что термическую фитосанитарную обработку следует завершить до перехода процесса в период медленного нагревания древесины, т. е. до начала ее активной сушки.

Оценку влияния интенсивности циркуляции обрабатывающей среды на продолжительность термической обработки производили по отношению к доскам толщиной 40 мм. Скорость движения обрабатывающей среды в лабораторной установке во время опытов поддерживали равной 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 и 2,9 м/с. Температура среды составляла 85°C, относительная влажность – 75%. Нагревание проводили до тех пор, пока на оси сортиментов не устанавливалась температура 56°C. Результаты выполненных исследований обобщены в табл. 3.

Таблица 3

**Влияние скорости циркуляции обрабатывающего агента на продолжительность нагревания древесины**

Номер опыта	Скорость циркуляции обрабатывающего агента, м/с	Время достижения на оси сортиментов температуры 56°C, ч
1	0,5	1,2
2	1,0	1,0
3	1,5	0,9
4	2,0	0,8
5	2,5	0,7
6	2,9	0,7

Из табл. 3 видно, что увеличение скорости циркуляции обрабатывающего агента способствует интенсификации процесса нагревания. Особенно заметен эффект в диапазоне скорости от 0,5 до 2,0 м/с. Продолжительность нагревания сортиментов с прямоугольным сечением при этом уменьшается с 1,2 до 0,8 ч, т. е. в 1,5 раза. Увеличение скорости циркуляции свыше 2,0 м/с сказывается на продолжительности нагревания гораздо меньше. Так, например, при максимальной скорости обрабатывающего

агента (2,9 м/с) сосновая доска толщиной 40 мм прогревается до 56°C за 0,7 ч, а при скорости 2,0 м/с – за 0,8 ч.

**Заключение.** Подводя итог выполненным исследованиям влияния параметров обрабатывающей среды на скорость нагревания древесины, можно сделать следующие выводы. Процесс нагревания древесины во время термической обработки может быть разделен на два периода – быстрого и медленного нагревания. Переход от одного периода к другому происходит после достижения внутренними слоями нагреваемых сортиментов температуры, отличающейся от температуры смоченного термометра агента обработки на 5°C. В наибольшей степени на скорость нагревания древесины влияет относительная влажность агента обработки. Чем она больше, тем быстрее на оси сортиментов достигается температура 56°C, необходимая для проведения фитосанитарной обработки. Температура обрабатывающей среды влияет на интенсивность нагревания древесины в меньшей степени. Для проведения термической фитосанитарной обработки в практически приемлемые сроки необходимо выполнять следующие условия: температура смоченного термометра обрабатывающей среды должна превышать требуемую температуру прогрева древесины (56°C) не менее чем на 5°C и составлять не менее 61°C. Увеличение скорости циркуляции обрабатывающего агента сокращает продолжительность нагревания древесины.

**Литература**

1. Международные стандарты на фитосанитарные меры. Система сертификации экспортной продукции / Секретариат Международной конвенции по защите растений. Организация ООН по вопросам продовольствия и сельского хозяйства. – Рим, 1997. – Публикация № 7. Ноябрь. – 18 с.
2. Международные стандарты на фитосанитарные меры. Руководство по управлению упаковочным материалом из дерева, применяемым в международной торговле / Секретариат Международной конвенции по защите растений. Организация ООН по вопросам продовольствия и сельского хозяйства. – Рим, 2002. – Публикация 15. Март. – 24 с.
3. Серговский, П. С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины / П. С. Серговский, А. И. Расев. – М.: Лесная пром-сть, 1987. – 360 с.
4. Вилейшикова, Н. В. Лабораторная установка для сушки древесины / Н. В. Вилейшикова, Л. Ф. Донченко, В. Б. Снопков // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть, 2001. – Вып. IX. – С. 144–150.