

УДК 674.04.047.3

О. Г. Рудак, младший научный сотрудник (БГТУ); **В. В. Дорожко**, магистрант (БГТУ);
Н. В. Мазаник, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ)

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ НАЧАЛЬНОГО ПРОГРЕВА ЗАМОРОЖЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Исследовано влияние различных технологических факторов на продолжительность начального прогрева замороженной древесины. Получены уравнения, связывающие продолжительность прогрева с показателями базисной плотности, влажности и размерными характеристиками обрабатываемых пиломатериалов, их начальной и конечной температурой.

The impact of various technological factors on the duration of the initial heating of frozen wood is investigated. The equations which relate the duration of heating to the baseline density, moisture content and size characteristics of treated lumber, their initial and final temperatures are obtained.

Введение. Процесс сушки пиломатериалов в камерах периодического действия проходит в несколько этапов. Начальный прогрев является первой технологической операцией процесса сушки пиломатериалов. Прогрев проводится с целью доведения температуры высушиваемого материала до уровня температуры сушильного агента.

В настоящее время на территории Республики Беларусь широко используются сушильные камеры зарубежных производителей. Технологические режимы, применяемые в программном обеспечении систем автоматизации данных камер, позволяют производить сушку пиломатериалов при условии минимизации энергозатрат и вероятности возникновения брака в процессе сушки. Однако в связи с тем, что технологические режимы для данных камер разрабатывались на территории стран, климат в которых, в той или иной степени, отличается от климатических условий Республики Беларусь, при разработке данных режимов не были учтены некоторые факторы, характерные для белорусских деревообрабатывающих предприятий. В частности, при разработке режимов используется такая характеристика древесины, как ее удельный вес, который различается для разных условий произрастания дерева. Кроме того, при разработке режимов начального прогрева не учтены характерные условия работы белорусских предприятий в зимний период, когда на участок сушки поступают замороженные пиломатериалы. Учет начальной температуры пиломатериалов особенно важен при назначении режимов начального прогрева.

Вышеуказанные факты позволяют предположить, что используемые в настоящее время режимы начального прогрева древесины не соответствуют реальным производственным условиям в Республике Беларусь, что негативно сказывается на рациональном использовании энергоресурсов предприятиями и качестве получаемой продукции.

Целью настоящей работы было определение характера влияния различных технологических факторов на продолжительность начального прогрева замороженной древесины.

Методика проведения расчетов. Процесс сушки древесины нагретым воздухом состоит из трех последовательных этапов: нагревания влажных пиломатериалов (2–6% от общей продолжительности сушки), собственно сушки с испарением влаги (95–85%) и охлаждения, высушенной древесины (2–6%).

Как известно, тепловой поток q внутри твердого тела прямопропорционален градиенту температуры dt/dx в направлении x потока и коэффициенту теплопроводности λ :

$$q = -\lambda \frac{dx}{dt}. \quad (1)$$

Знак минус показывает, что поток направлен в сторону понижения температуры тела.

В наших исследованиях в целях упрощения были приняты некоторые допущения и ограничения. В отношении распространения тепла по поперечному сечению доски древесину можно приравнять к изотропному телу, за исключением случаев, когда predetermined достаточно ориентированное направление теплового потока в радиальном или в тангенциальном направлениях. Начальная температура древесины считалась одинаковой по всему объему, температура среды постоянной, как над всей поверхностью материала, так и во времени. Было принято, что тепло распространяется лишь в направлении по толщине материала, имеющего форму бесконечной пластины.

Выражения, определяющие температуру той или иной точки одномерного тела в зависимости от ее координаты и времени, получены в результате интегрирования дифференциального уравнения Фурье. Оно описывает закон распределения температур по толщине пластины при нестационарном тепловом режиме применительно

к одномерной задаче и отражает зависимость между скоростью нагревания, тепловыми свойствами тела и градиентами температур в теле:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \quad (2)$$

где a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; τ – время, ч; x – координата в направлении теплового потока, м.

По выражениям, полученным при граничных условиях (3), установлено, что количество тепла, переносимого в единицу времени посредством теплопроводности с поверхности внутрь тела, равно количеству тепла, воспринимаемого за это же время поверхностью из окружающей среды:

$$-\lambda \left[\frac{dt}{dx} \right] = \alpha (t_c - t_{\text{пов}}), \quad (3)$$

где λ – коэффициент теплопроводности древесины, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$; α – коэффициент теплообмена, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$; t_c – температура среды, °C ; $t_{\text{пов}}$ – температура поверхности образца, °C .

Искомое решение представляет собой в общем виде функцию, которую можно после пре-

образования использовать для вычисления продолжительности начального прогрева при различных начальных условиях:

$$\theta = f \left(\frac{x}{R}; F_0; Bi \right), \quad (4)$$

где R – половина толщины или радиус тела, м; F_0 – безразмерный критерий Фурье; Bi – безразмерный критерий Био ($0 < Bi < \infty$); θ – безразмерная температура.

Для определения величины безразмерного критерия Bi необходимо использовать следующую формулу:

$$Bi = \frac{\alpha R}{\lambda}, \quad (5)$$

где λ – коэффициент теплопроводности древесины, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$; α – коэффициент теплообмена, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$; R – половина толщины, или радиус тела, м.

Расчеты проводились для типичных для белорусских деревообрабатывающих предприятий пород древесины (сосна, береза, дуб). Условия проведения эксперимента для каждой из пород представлены в табл. 1.

Таблица 1

Условия проведения эксперимента

Начальная температура, °C	Толщина, мм	Начальная влажность, %	Конечная температура, °C	Начальная температура, °C	Толщина, мм	Начальная влажность, %	Конечная температура, °C				
-10	32	25	40	15	32	25	40				
			60				60				
			80				80				
		50	40			50	40				
			60				60				
			80				80				
		75	40			75	40				
			60				60				
			80				80				
	40	25	25		40	40	25	25	40		
					60				60		
					80				80		
		50	50		50		40	50	50	50	40
							60				60
							80				80
		75	75		75		40	75	75	75	40
							60				60
							80				80
	50	25	25		40	50	25	25	40		
					60				60		
					80				80		
		50	50		50		40	50	50	50	40
							60				60
							80				80
75		75	75	40	75		75	75	40		
				60					60		
				80					80		

Также при расчете учитывались два возможных варианта прогрева древесины – прогрев в насыщенной и ненасыщенной среде. Таким образом, общее количество вариантов составило 162.

Результаты исследований. В ходе проведенных исследований был определен характер влияния базисной плотности, толщины, начальной и конечной температуры, а также начальной влажности древесины и параметров среды на продолжительность начального прогрева.

Результаты исследований представлены в табл. 2, 3 и 4. В данных таблицах показано, как изменяются значения продолжительности начального прогрева в зависимости от того или иного технологического фактора.

Таблица 2

Продолжительность прогрева при $W = 25\%$

$T_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	$W, \%$	$S, \text{мм}$	$\tau_{\text{ненас}}, \text{ч}$	$\tau_{\text{нас}}, \text{ч}$
40	25	32	0,31	0,76
		40	0,48	0,99
		50	0,75	1,34
60		32	0,39	1,02
		40	0,61	1,38
		50	0,95	1,91
80		32	0,47	1,27
		40	0,73	1,63
		50	1,15	2,17

Таблица 3

Продолжительность прогрева при $T_{\text{ср}} = 40^\circ\text{C}$

$T_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	$W, \%$	$S, \text{мм}$	$\tau_{\text{ненас}}, \text{ч}$	$\tau_{\text{нас}}, \text{ч}$
40	25	32	0,31	0,76
		40	0,48	0,99
		50	0,75	1,34
	50	32	0,32	0,95
		40	0,50	1,32
		50	0,77	1,62
	75	32	0,36	1,15
		40	0,57	1,62
		50	0,89	2,23

Таблица 4

Продолжительность прогрева при $T_{\text{н}} = 15^\circ\text{C}$ и -10°C

$T_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	$S, \text{мм}$	$\tau_{\text{ненас}}, \text{ч}$	$\tau_{\text{нас}}, \text{ч}$
40	15	32	0,31	0,76
		40	0,48	0,99
		50	0,75	1,34
	-10	32	0,59	1,56
		40	0,92	1,95
		50	1,36	2,12

Анализ полученных данных показал, что на продолжительность начального прогрева суще-

ственное влияние оказывают все переменные факторы, что подтверждает необходимость использования режимов сушки, которые учитывают все эти факторы. Так, в табл. 2 представлена зависимость продолжительности начального прогрева от конечной температуры древесины (температуры среды). Из полученных данных видно, что при влажности 25%, для толщин 32 мм, 40 мм, 50 мм, при возрастании температуры среды от 40 до 80°C продолжительность начального прогрева увеличивается в среднем на 30% как в насыщенной, так и ненасыщенной среде.

В табл. 3 показана зависимость продолжительности начального прогрева от начальной влажности. Можно видеть, что при конечной температуре древесины, равной 40°C, для толщин 32 мм, 40 мм, 50 мм, при возрастании начальной влажности пиломатериалов от 25 до 75°C, продолжительность начального прогрева также увеличивается в среднем на 30% как в насыщенной, так и в ненасыщенной среде.

В табл. 4 представлена зависимость продолжительности начального прогрева от начальной температуры (температуры пиломатериалов при подаче в камеру). При анализе полученных данных можно видеть, что при конечной температуре, равной 40°C, для толщин 32 мм, 40 мм, 50 мм, при возрастании начальной температуры пиломатериалов от -10°C до +15°C, продолжительность начального прогрева увеличивается в среднем в 2 раза как для насыщенной, так и ненасыщенной среды.

Заключение. В результате проведения исследования были получены зависимости, отражающие влияние различных технологических факторов на продолжительность начального прогрева замороженной древесины. Установлено, что отрицательная начальная температура пиломатериалов оказывает значительное влияние на продолжительность операции прогрева. Тем не менее данный показатель не учитывается при назначении параметров обрабатывающего агента в современных камерах импортного и отечественного производства. Данный факт свидетельствует о необходимости адаптации существующих режимов начального прогрева к условиям Республики Беларусь.

Литература

1. Лыков, А. В. Методы определения теплопроводности и температуропроводности древесины / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1973.
2. Сычевский, В. А. Процессы теплообмена, деформации и подвижные границы в дисперсных системах / В. А. Сычевский. – Минск: Ин-т тепло- и массообмена им. Лыкова НАН Беларуси, 2009.

Поступила 21.02.2013