

О. Г. Рудак, В. Б. Снопков, Н. В. Мазаник

(БГТУ, г. Минск, РБ) puma.legno@inbox.ru

АНАЛИЗ КИНЕТИКИ НАЧАЛЬНОГО ПРОГРЕВА ЗАМОРОЖЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

ANALYSIS OF THE KINETICS OF INITIAL WARMING OF FROZEN WOOD

Приведены результаты исследования распределения температуры по сечению пиломатериалов в процессе их начального прогрева в ненасыщенной среде. Определено влияние различных технологических факторов на продолжительность начального прогрева замороженной древесины.

The results of investigation of the temperature distribution over the cross section of lumber during their initial warming in the unsaturated environment are given. The impact of various technological factors on the duration of the initial warming of frozen wood is investigated.

Начальный прогрев является первой технологической операцией процесса сушки пиломатериалов в камерах периодического действия. Его цель – доведение температуры высушиваемого материала до уровня температуры сушильного агента.

В настоящее время на отечественных деревообрабатывающих предприятиях 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. Тем не менее, режимы сушки, предлагаемые европейскими производителями, не всегда учитывают специфику технологического процесса в условиях климата Республики Беларусь и Российской Федерации. Так, очевидно, что на участки сушки в зимний период поступает замороженная древесина. Однако в подавляющем большинстве случаев начальная температура пиломатериалов при проведении операции начального прогрева не учитывается. При отсутствии контроля текущей температуры древесины это часто приводит к завышению продолжительности прогрева и соответствующему увеличению расхода энергии. Кроме того, в современных сушильных камерах широко практикуется проведение операции прогрева материалов в ненасыщенной среде. Поэтому, в отличие от традиционных отечественных режимов, прогрев материала сопряжен с началом испарения влаги с его поверхности. В случае замороженной древесины это приводит к резкому повышению риска растрескивания поверхностных слоев.

С учетом вышесказанного, мы пришли к выводу о целесообразности исследования особенностей кинетики начального прогрева замороженной древесины в условиях ненасыщенной среды. Эксперимент был выполнен с использованием лабораторной установки, позволяющей регистрировать температуру поверхностных и центрального слоя древесины в процессе ее прогрева до заданной температуры среды (рис. 1).



Рис 1. Экспериментальная установка

Исследование проводилось на образцах сосны толщиной 25 и 40 мм с начальной влажностью 25÷45%. Начальная температура древесины варьировалась в диапазоне (-4)÷(-10)°С, температура среды – от 40 до 80°С.

На рис. 2, 3 приведены результаты измерений на образцах толщиной 40 мм с начальной температурой (-8)°С и начальной влажностью 45%.

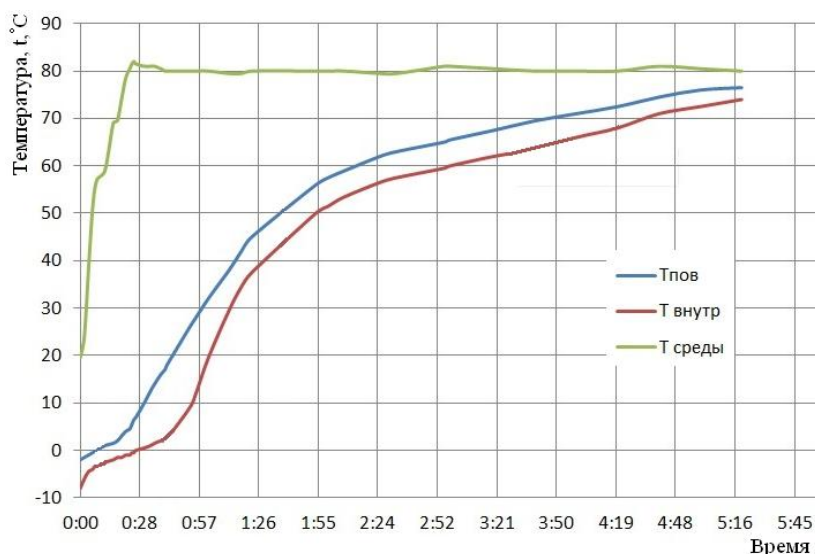


Рис 2. Изменение температуры среды, поверхностных и внутреннего слоя образца древесины в процессе прогрева в экспериментальной установке

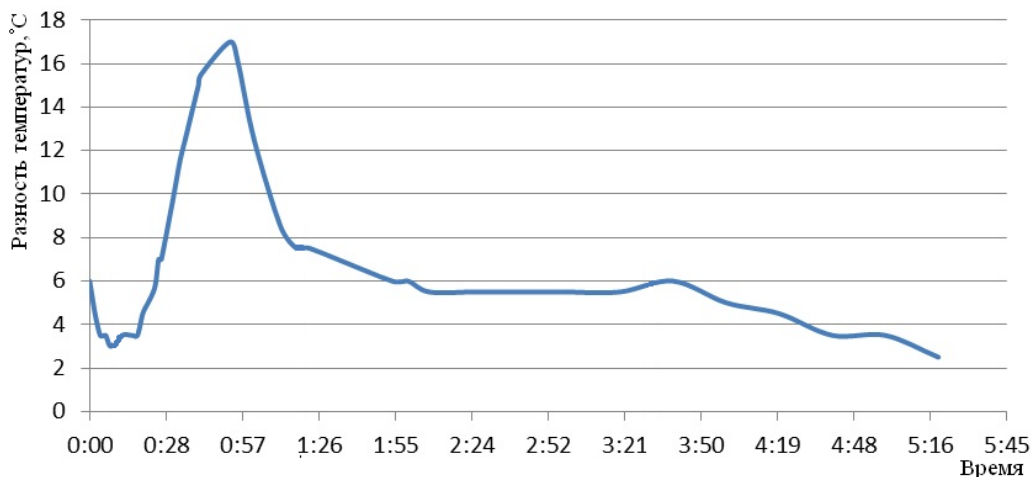


Рис 3. Изменение разности температур поверхностного и внутреннего слоя образца во времени

Исследование кинетики прогрева показало, что при нагреве замороженной древесины имеет место значительное отставание в росте температуры внутреннего слоя от повышения температуры поверхностных слоев, сохраняющееся в течение практически всего периода прогрева. Данный температурный градиент инициирует явление термо-влажнопроводности, противодействующее влажнопроводности в большей степени, чем это наблюдается в древесине с положительной начальной температурой. Тем не менее, эксперимент не выявил стабилизации температуры внутреннего слоя на отметке 0°С, что соответствовало бы плавлению свободной замороженной влаги в полостях клеток древесины. Это подтверждает теорию о том, что содержание льда в древесине с температурой до (-10) °С крайне мало ввиду того, что свободная влага представляет собой

раствор органических и минеральных веществ.

Следующим этапом исследования стал расчет теоретической продолжительности начального прогрева замороженной древесины и анализ влияния на нее различных факторов, таких как базисная плотность, толщина, начальная и конечная температура, начальная влажность образцов древесины.

В расчетах в целях упрощения были приняты некоторые допущения и ограничения. Так, в отношении распространения тепла по поперечному сечению доски, древесину можно приравнять к изотропному телу, за исключением случаев, когда предусмотрено достаточно ориентированное направление теплового потока в радиальном или в тангенциальном направлении. 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.

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

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

Выражения, определяющие температуру той или иной точки одномерного тела в зависимости от ее координаты и времени, могут быть 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 .

Закономерности получены при граничных условиях, устанавливающих, 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:

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

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 ; $t_{\text{нов}}$ – температура поверхности образца, °C .

Искомое решение представляет собой в функцию, которую можно после преобразования 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; θ – безразмерная температура.

Для определения безразмерного критерия Bi использовали 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 .

При расчете учитывались два возможных варианта прогрева – в насыщенной и ненасыщенной среде. Результаты определения продолжительности прогрева древесины с начальной температурой $(-10)^\circ\text{C}$ представлены в таблицах 1, 2 и 3.

Таблица 1

Продолжительность прогрева материала при начальной влажности древесины 25%

Температура среды, T_{cp} , °C	Толщина пиломатериалов, S, мм	Продолжительность начального прогрева в ненасыщенной среде, ч	Продолжительность начального прогрева в насыщенной среде, ч
40	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 2

Продолжительность прогрева материала при температуре среды 40°C

Начальная влажность древесины, W, %	Толщина пиломатериалов, S, мм	Продолжительность начального прогрева в ненасыщенной среде, ч	Продолжительность начального прогрева в насыщенной среде, ч
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 3

Сравнительная продолжительность начального прогрева при начальной температуре древесины 15 и (-10)°C

Температура среды, T_{cp} , °C	Начальная температура древесины, T_n , °C	Толщина пиломатериалов, S, мм	Продолжительность начального прогрева в ненасыщенной среде, ч	Продолжительность начального прогрева в насыщенной среде, 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 существенное влияние оказывают все переменные факторы, что подтверждает необходимость использования режимов прогрева, которые учитывают их все. Данный факт свидетельствует о необходимости адаптации существующих режимов начального прогрева к реальным условиям функционирования участков сушки в зимний период.