

4. Управление качеством продукции: справочник / под. ред. В.В. Бойцова, А.В. Гличева. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 464 с.
5. ГОСТ 4.208-79. Система показателей качества продукции. Строительство. Конструкции деревянные клееные. Номенклатура показателей.
6. ГОСТ 4.226-83. Система показателей качества продукции. Строительство. Окна, двери и ворота деревянные. Номенклатура показателей.
7. ГОСТ 20850-84. Конструкции деревянные клееные. Общие технические условия.
8. ГОСТ 4.223-83. Система показателей качества продукции Строительство. Изделия паркетные. Номенклатура показателей.
9. СНиП II-25-80. Строительные нормы и правила. Деревянные конструкции.
10. ГОСТ 475-78. Двери деревянные. Общие технические условия.
11. ГОСТ 23166-99. Блоки оконные. Общие технические условия.
12. ГОСТ 11047-90. Детали и изделия деревянные для малоэтажных жилых и общественных зданий. Технические условия.
13. Деревянные клееные и цельнодеревянные конструкции. Методы проектирования и расчета. Стандарт организации СТО 36554501-002-2006. — М.: ФГУП НИЦ «Строительство», 2006.
14. Деревянные клееные конструкции несущие. Общие технические требования. Стандарт организации СТО 36554501-003-2006. — М.: ФГУП НИЦ «Строительство», 2006.
15. Деревянные клееные конструкции. Методы испытаний клеевых соединений при изготовлении. Стандарт организации СТО 36554501-004-2006. — М.: ФГУП НИЦ «Строительство», 2006.
16. ГОСТ 15613.1-84. Древесина клееная массивная. Методы определения предела прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон.
17. ГОСТ 15613.5-79. Древесина клееная массивная. Метод определения предела прочности зубчатых клеевых соединений при растяжении.
18. ГОСТ 15613.4-78. Древесина клееная массивная. Метод определения предела прочности зубчатых клеевых соединений при статическом изгибе.
19. Руководство по изготовлению и контролю качества деревянных клееных конструкций / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1982. – 92 с.

О.Г. Рудак, В.Б. Снопков
БГТУ, Минск, РБ
pima.legno@inbox.ru

**ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ В ПЕРИОД
ПРОГРЕВА В НЕНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ**
(CHANGE OF THERMAL PROPERTIES OF WOOD DURING HEATING IN
AN UNSATURATED ENVIRONMENT)

Получены зависимости изменения температуры на поверхности и внутри древесины во времени. Определены закономерности изменения тепловых коэффициентов древесины во времени при прогреве.

Dependences of change of temperature on a surface and in wood in time are received. Regularities of change of thermal factors of wood in time are defined at heating up.

Первой технологической операцией процесса сушки пиломатериалов является начальный прогрев, который проводится с целью доведения температуры высушиваемого материала до уровня температуры сушильного агента.

В современных сушильных камерах операцию прогрева проводят при степени насыщенности обрабатывающей среды меньше 1, т. е. в ненасыщенной среде. В таких условиях прогрев древесины сопровождается испарением влаги с ее поверхности и, как следствие, уровнем температуры поверхностных слоев меньше температуры обрабатывающей среды. Данный факт можно объяснить тем, что при прогреве в ненасыщенной среде в древесине возникают два совместно протекающих процесса явления переноса тепла: теплопроводность, направленная от поверхностных слоев сортамента к внутренним, и влагопроводность во встречном направлении. Таким образом, при начальном прогреве будут изменяться как температура, так и влажность древесины, что повлечет за собой изменение и других физических свойств древесины. В этой связи исследования, направленные на измерение текущих значений теплоемкости, теплопроводности и температуропроводности, представляют несомненный практический интерес.

Существующие методы исследования тепловых свойств древесины дают возможность их определения лишь в определенных стационарных условиях, т. е. в условиях, когда тепловой поток, проходящий через древесину, сохраняется постоянным во времени. Начальный прогрев древесины относится к нестационарным процессам, поскольку имеет место изменяющаяся во времени и по сечению температура самого сортамента и температура агента обработки, поэтому авторами был применен метод исследования, основанный на способе комплексного определения теплофизических характеристик при теплообмене тел в среде с линейно изменяющейся температурой. Один из способов комплексного определения теплофизических характеристик в режиме линейного нагрева состоит в использовании системы тел, одно из которых имеет известные теплофизические свойства. Этот метод был впервые реализован Е.П. Шурыгиной [1].

Целью настоящей работы было определение характера изменения тепловых свойств древесины во времени в период начального прогрева, а также определение скорости изменения температуры на поверхности и внутри древесины.

Принципиальная схема экспериментальной установки тепловых свойств древесины в период начального прогрева в ненасыщенной среде представлена на рис. 1.

Пластина из древесины сосны толщиной $2l_1$ соприкасается с двумя стальными пластинами, каждая из которых имеет толщину l_2 . Теплофизические свойства крайних пластин тождественны, но отличны от свойств средней пластины.

Для определения температуры внутри и на поверхности древесины применяли измерительную систему, имеющую четыре температурных датчика DS18S20. На металлическую пластину, поверхность которой контактирует с воздухом, устанавливается термодатчик T_1 , а на поверхность, граничащую с древесиной, – термодатчик T_2 . На глубине, соответствующей половине толщины образца из древесины располагается термодатчик T_3 , а на поверхности древесины, соприкасающейся с другой металлической пластиной – термодатчик T_4 . Все датчики были изолированы пастой КПП-8 во избежание влияния обрабатывающего агента на результаты измерений. Начальная температура всех элементов системы была одинаковой и равной температуре окружающей среды $t_0 = 15\text{--}20\text{ }^\circ\text{C}$.

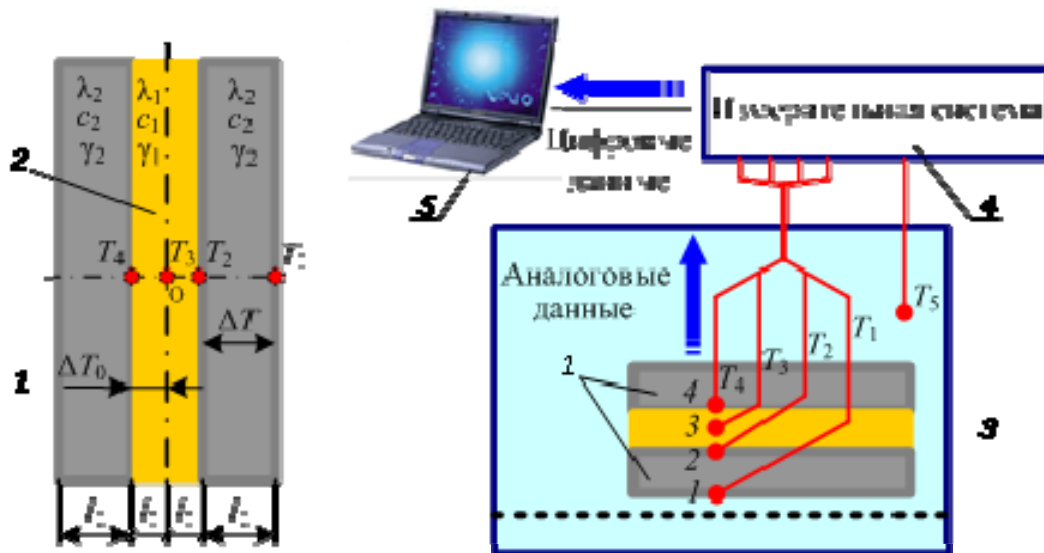


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки:
 1 – металлические пластины (сталь 20); 2 – образец из древесины сосны;
 3 – термощкаф; 4 – измерительная система; 5 – компьютер

Для обеспечения нагрева образца древесины вышеописанную систему пластин помещали в термощкаф (рис. 2, б). Температуру обрабатывающего воздуха контролировали с помощью термодатчика T_5 . Показания всех датчиков фиксировали с точностью $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ с периодичностью 5 минут в начале и 20 минут в конце процесса прогрева. Прогрев проводили до тех пор, пока разница температур между поверхностью и внутренним содержанием древесины не составляла $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Влажность образцов определяли с помощью влагомера марки GANN HT 85. Условия проведения экспериментальных исследований и характеристика образцов из древесины и металлических пластин представлена в табл. 1 и 2 соответственно.



а

б

Рис. 2. Общий вид измерительной системы:
 а – система пластин; б – измерительная установка

Таблица 1

Условия проведения эксперимента (древесина – сосна)

Характеристика экспериментальных образцов сосны					Температура прогрева t , °С
Размеры, мм			Влажность W , %	Направление волокон	
Толщина	Ширина	Длина			
20	100	200	30, 53	Рад.	40
20	100	200		Танген.	
40	100	200		Рад.	
40	100	200		Танген.	
20	100	200	30, 53	Рад.	60
20	100	200		Танген.	
40	100	200		Рад.	
40	100	200		Танген.	
20	100	200	30, 53	Рад.	80
20	100	200		Танген.	
40	100	200		Рад.	
40	100	200		Танген.	

Таблица 2

Характеристика металлических пластин

Материал	Размеры, мм			Плотность γ , кг/м ³	Кэф. теплопроводн. λ , Вт/(м · °С)	Удельная теплоемкость c , кДж/(кг · °С)
	Толщ.	Ширина	Длина			
Сталь 20	20	100	200	7853 при 40 °С, 7847 при 60 °С	51,65 при 40 °С 51,2 при 60 °С	0,486

Описанная экспериментальная установка позволяет определить в любой выбранный момент времени перепады температур по толщине металлических пластин $\Delta T = T_1(l_1, \tau) - T_2(0, \tau)$ и образца из древесины $\Delta T_0 = T_4(l_1 + l_2, \tau) - T_3(l_1, \tau)$. Используя результаты измерений, по нижеприведенным формулам можно рассчитать тепловые характеристики древесины и установить характер их изменения во времени.

$$a_1 = \frac{bl_1^2}{2\Delta T_0}, \quad c_1\gamma_1 = K_{c\lambda} \frac{\Delta T}{b} - h, \text{ где}$$

$$K_{c\lambda} = \frac{\lambda_2 10^{-2}}{l_1 l_2}, \quad h = \frac{c_2 \gamma_2 l_2}{2l_1},$$

$$\lambda_1 = \frac{l_1^2}{2\Delta T_0} (K_{c\lambda} \Delta T - bh),$$

где b – скорость нагревания поверхности металлических пластин, °С/ч; λ_1 , λ_2 – коэффициент теплопроводности металла и древесины соответственно, Вт/(м · °С); a_1 – коэффициент температуропроводности древесины, м²/с; c_1, c_2 – удельная теплоемкость металла и древесины, Дж/(кг · °С); γ_1, γ_2 – плотность металла и древесины, кг/м³ [1].

В ходе проведенных экспериментальных исследований был определен характер изменения температуры поверхностных и внутренних слоев древесины во времени.

На рис. 3 приведены графические зависимости, полученные для образцов из древесины сосны толщиной 40 мм, начальной влажностью $W_{\text{нач}} = 30\%$, прогреваемых при температуре среды $t_c = 40, 60$ и $80\text{ }^\circ\text{C}$. Нагрев осуществлялся в радиальном направлении.

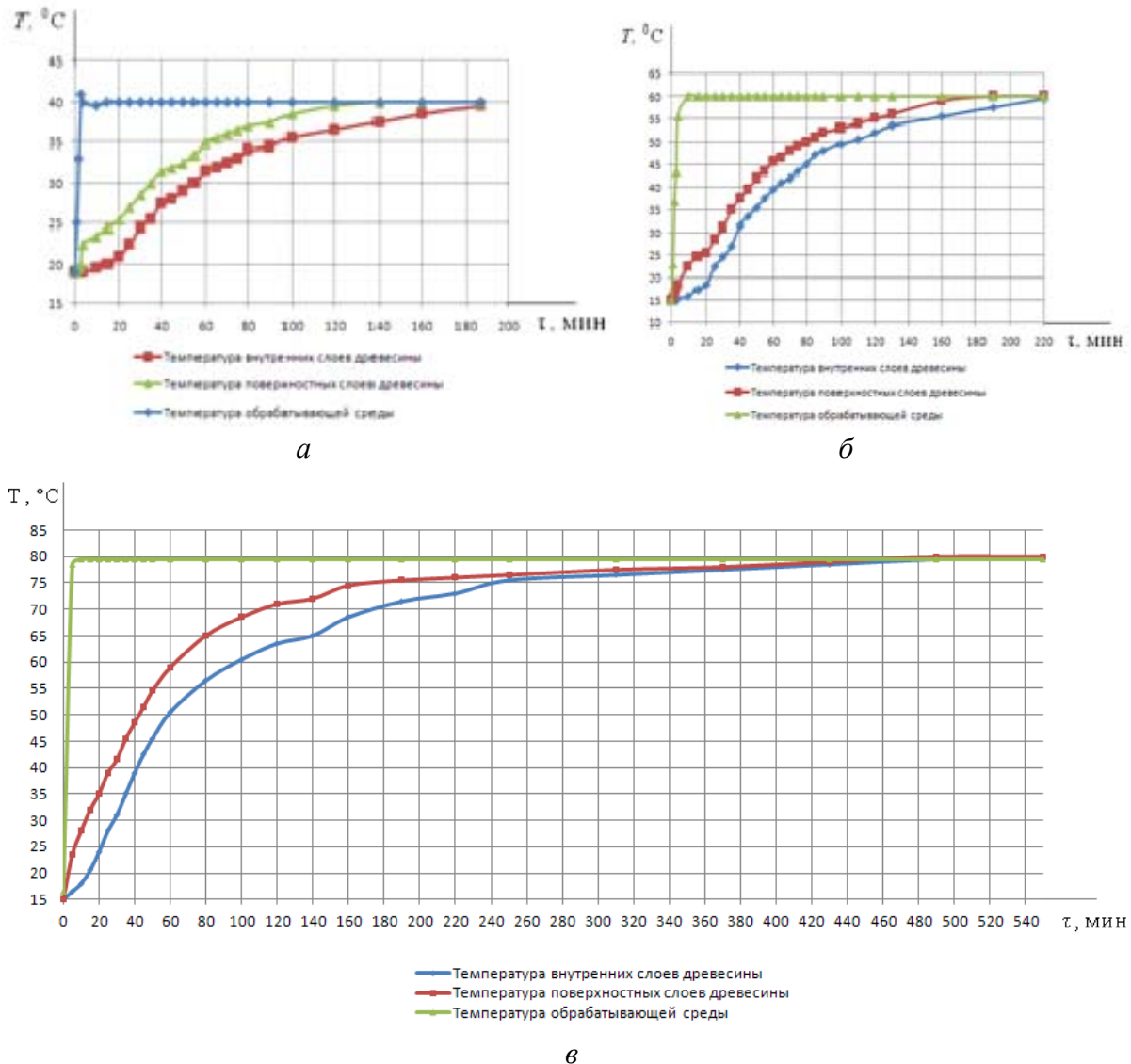


Рис. 3. Изменение температуры древесины сосны во время прогрева при температуре обрабатывающей среды: *а* – $40\text{ }^\circ\text{C}$; *б* – $60\text{ }^\circ\text{C}$; *в* – $80\text{ }^\circ\text{C}$

Анализ графиков, представленных на рис. 3, показывает, что температура воздуха в термошкафу устанавливается на требуемом уровне ($40, 60$ и $80\text{ }^\circ\text{C}$) уже через 3–10 мин после начала нагревания. После этого она остается неизменной на протяжении всего эксперимента. Таким образом, можно считать, что нагревание древесины проходит при постоянной температуре обрабатывающей среды.

Нагревание поверхностных слоев образцов древесины начинается сразу, а внутренних – с некоторым опозданием. Через 20 мин после начала процесса разница температур между поверхностями и внутренним содержанием образцов достигает максимальной величины и составляет 4, 7 и $11\text{ }^\circ\text{C}$ при температуре среды $40, 60$ и $80\text{ }^\circ\text{C}$ соответственно.

При дальнейшем нагревании различие температур поверхностных и внутренних слоев древесины остается практически постоянным вплоть до момента достижения поверхностью образца температуры обрабатывающей среды. В первом случае это произошло через 140 мин после начала процесса нагревания, во втором – через 190 мин, в третьем – через 420 мин. Далее при постоянной температуре поверхностных слоев увеличивается только температура внутри образца, что приводит к их полному выравниванию. В результате продолжительность полного прогрева образцов сосновой древесины толщиной 40 мм и начальной влажностью 30 % составила: 187 мин при температуре обрабатывающей среды 40 °С, 220 мин при температуре 60 °С и 550 мин при температуре 80 °С.

Обращает на себя внимание тот факт, что в процессе нагревания древесины возникает и длительное время поддерживается значительная разность температур среды и поверхности образца древесины. Это однозначно свидетельствует о том, что нагревание сопровождается испарением влаги с поверхности древесины, т. е. об одновременном протекании тепло- и влагопереноса.

Графические зависимости, аналогичные представленным на рис. 3, были получены и для других условий эксперимента, указанных в табл. 1. Во всех случаях характер изменения температуры поверхностных и внутренних слоев в процессе нагревания был одинаковым. Сопоставление полученных графиков между собой позволило отметить следующее:

1. С повышением температуры увеличивается продолжительность процесса прогрева, а также возрастает скорость изменения температуры на поверхности и внутри древесины.

2. При увеличении влажности древесины скорость изменения температуры древесины уменьшается, и, как следствие, возрастает продолжительность прогрева.

3. С увеличением толщины образца увеличивается продолжительность прогрева, а скорость изменения температуры древесины остается практически одинаковой.

Для определения характера изменения теплофизических характеристик древесины во времени при прогреве были выполнены расчеты величины удельной теплоемкости, коэффициентов теплопроводности и температуропроводности по вышеприведенным формулам.

Поскольку закономерности изменения теплофизических характеристик древесины для всех условий прогрева аналогичны, для примера в табл. 3 приведены результаты расчетов для древесины сосны толщиной 40 мм, с начальной влажностью $W_n = 30\%$, а в табл. 4 – для образцов толщиной 40 мм, начальной влажностью $W_n = 53\%$ Нагрев происходил в радиальном направлении.

Таблица 3

Теплофизические свойства сосновой древесины влажностью $W_n = 30\%$

τ, мин	T = 40 °С			T = 60 °С			T = 80 °С		
	$a \cdot 10^{-6}$	c	λ	$a \cdot 10^{-6}$	c	λ	$a \cdot 10^{-6}$	c	λ
20	0,31	2,10	0,28	0,31	2,26	0,42	0,18	2,36	0,54
40	0,17	2,22	0,21	0,22	2,38	0,26	0,18	2,60	0,30
60	0,14	2,55	0,18	0,12	2,48	0,21	0,16	2,43	0,24
80	0,12	2,70	0,16	0,11	2,6	0,18	0,14	2,70	0,23
100	-	-	-	0,10	3,0	0,15	0,15	2,71	0,22
120	-	-	-	-	-	-	0,13	2,74	0,20
160	-	-	-	-	-	-	0,13	2,75	0,19
Сред.	0,19	2,39	0,21	0,18	2,54	0,24	0,15	2,61	0,27

Таблица 4

Теплофизические свойства сосновой древесины влажностью $W_n = 53\%$

τ , мин	$T = 40\text{ }^\circ\text{C}$			$T = 60\text{ }^\circ\text{C}$			$T = 80\text{ }^\circ\text{C}$		
	$a \cdot 10^{-6}$	c	λ	$a \cdot 10^{-6}$	c	λ	$a \cdot 10^{-6}$	c	λ
20	0,35	2,60	0,55	0,4	2,47	0,54	0,41	2,54	0,65
40	0,23	2,66	0,36	0,28	2,50	0,41	0,31	2,67	0,54
60	0,17	2,74	0,28	0,23	2,54	0,35	0,29	2,74	0,45
80	0,15	2,84	0,25	0,22	2,64	0,34	0,24	2,76	0,38
100	0,11	3,16	0,20	0,22	2,74	0,37	0,24	2,79	0,34
120	-	-	-	0,19	2,85	0,32	0,22	2,80	0,34
160	-	-	-	-	-	-	0,21	2,81	0,33
220	-	-	-	-	-	-	0,19	2,81	0,33
Сред.	0,20	2,80	0,33	0,26	2,62	0,39	0,23	2,74	0,42

Анализируя данные, представленные в табл. 3 и 4, отметим прежде всего что полученные значения всех теплофизических характеристик древесины не противоречат сведениям, опубликованным у П.С. Серговского [2]. При этом удельная теплоемкость и коэффициент теплопроводности, измеренные у древесины с начальной влажностью $W_n = 53\%$, больше, чем у более сухой древесины ($W_n = 30\%$), что также согласуется с современными представлениями о свойствах древесины.

Прогрев древесины при температуре среды 40 и 60 °C сопровождается увеличением удельной теплоемкости и снижением коэффициента теплопроводности. Коэффициент температуропроводности также уменьшается.

Изменения вышеуказанных тепловых коэффициентов древесины при температуре 80 °C в период прогрева носят несколько иной характер. В начале процесса, когда перепад температур по толщине древесины достаточно велик, наблюдается увеличение удельной теплоемкости и снижение коэффициентов теплопроводности и температуропроводности.

В период прогрева, когда при постоянной температуре поверхностных слоев увеличивается только температура внутри образца, как рост удельной теплоемкости, так и снижение коэффициентов теплопроводности и температуропроводности замедляются.

Библиографический список

1. Лыков А.В. Методы определения теплопроводности и температуропроводности / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1973.
2. Серговский П.С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины / П.С. Серговский, А.И. Рассев. – М.: Лесная пром-сть, 1987.