

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

ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ НАГРЕВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ОТ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Influence of parametres of treated saw-timbers on speed of heating of wood is investigated. The most significant factor defining duration of a tempering, the sizes of a cross section of logs are. Speed of heating depends also on humidity and specie of wood.

Введение. ОАО «Витебскдрев» экспортирует в страны Европейского Союза (ЕС) пиломатериалы, древесноволокнистые плиты (ДВП), заготовки для европоддонов. Для упаковки этой продукции используются древесные упаковочные материалы, различающиеся как формой, так и размерами поперечного сечения. Так, для вертикальных стоек, предназначенных для погрузки в полуваагоны, применяются круглые сортименты диаметром от 100 до 120 мм, длина которых варьируется от 2000 до 3280 мм. Толщина пиломатериалов, предназначенных для упаковки и погрузки ДВП и заготовок для европоддонов, колеблется от 19 до 130 мм, ширина – от 32 до 250 мм, длина – от 800 до 6000 мм.

В 2005 г. ЕС ввел обязательное требование для экспортёров всех видов продукции: упаковочные материалы должны изготавливаться из древесины, подвергнутой санитарной обработки [1]. Разрешенными способами обработки являются термообработка и дезинфекция метилбромидом. Термообработка древесины считается достаточной, если внутри сортиментов достигается температура не менее 56°C, а выдержка древесины при этой температуре составляет не менее 30 мин. С учетом новых требований ЕС в ОАО «Витебскдрев» был разработан, испытан и внедрен в практику способ термической обработки упаковочных материалов из древесины [2]. Выбор именно этого способа санитарной обработки был продиктован тем, что на предприятии имеются сушильные камеры, способные обеспечить требуемый температурный режим обработки.

Целью настоящих исследований было определение влияния параметров обрабатываемых пиломатериалов на скорость нагревания древесины с последующей разработкой технологических режимов термообработки древесины, используемой для изготовления упаковочных материалов.

Методика проведения исследований. Для проведения исследований использовали древесину сосны, поскольку для производства упаковочных материалов применяют, главным образом, пиломатериалы именно этой породы. В отдельных опытах использовали еловую и березовую древесину. Отбор материала для изготовления образцов производили из свеже-

распиленных досок и оцилиндрованной древесины на складе пиломатериалов лесопильного цеха ОАО «Витебскдрев». В большинстве случаев отбираемые доски имели размеры 40×200×6000 мм, оцилиндрованная древесина – Ø100×5000 мм. Если того требовала программа эксперимента, то размеры поперечного сечения сортиментов могли быть другими. В частности, применялись доски толщиной 22, 32 и 60 мм, брусы с размерами поперечного сечения 100×200 мм, оцилиндрованная древесина диаметром 80 и 120 мм. Отобранные сортименты раскраивали на отрезки длиной 1000 мм. При этом вытесняли пороки и дефектные участки, а рядом с отрезками выпиливали секции влажности. Пример схемы раскroя доски на отрезки показан на рис. 1.

На боковые и торцевые грани отрезков досок наклеивали листовой теплоизоляционный материал (пенопласт) толщиной 10 мм. Таким образом имитировали условия термической обработки, характерные для промышленного оборудования. Изолирование боковых граней создавало эффект плотной укладки досок в ряду штабеля (укладка без шпаций), а торцов – устраняло погрешность, возникающую из-за небольшой длины образцов. Следовательно, нагрев образцов при проведении термической обработки происходил за счет поступления теплоты только через его пласти. У отрезков оцилиндрованной древесины теплоизолировали только торцы. Это также соответствует особенностям их укладки в штабеля.

Для нагревания древесины использовали лабораторную установку, описанную в [3].

Результаты исследований. Основными параметрами древесины, влияющими на скорость ее нагревания, являются форма и размеры поперечного сечения нагреваемых сортиментов, влажность, начальная температура и порода.

На рис. 2 представлены графические зависимости температуры древесины в середине сосновых пиломатериалов от времени нагревания, полученные в опытах с досками, имеющими толщину 22, 40, 60 мм, а также с бруском толщиной 100 мм. Во всех случаях температура обрабатывающей среды составляла 85°C, относительная влажность – 75%, что соответствует психрометрической разности 7°C.

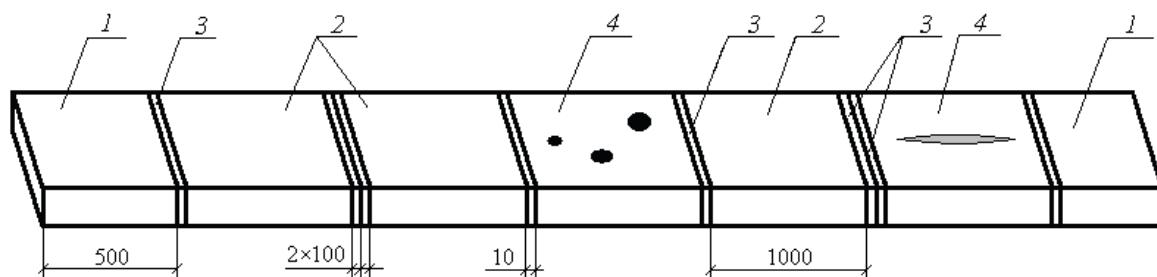


Рис. 1. Схема раскряя сортиментов:
1 – торцовые отрезки (в опытах не использовали); 2 – кондиционные отрезки;
3 – секции влажности; 4 – отрезки, содержащие пороки и дефекты

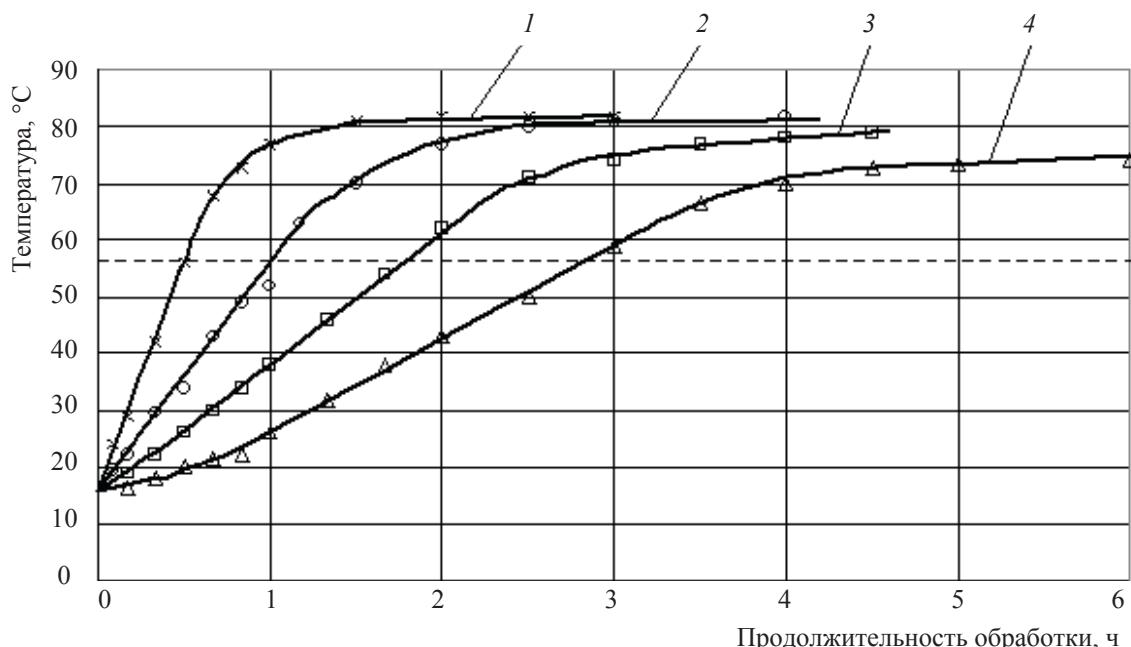


Рис. 2. Изменение температуры в середине сосновых досок различной толщины:
1 – толщина досок $S = 22$ мм; 2 – $S = 40$ мм; 3 – $S = 60$ мм; 4 – $S = 100$ мм

В табл. 1 приведены значения скорости нагревания внутренних слоев сортиментов и продолжительности их нагревания до температуры 56°C, полученные при обработке экспериментальных данных.

Таблица 1
Скорость нагревания сортиментов
различной толщины

Номер опыта	Толщина сортиментов, мм	Скорость нагревания, °C/ч	Время достижения температуры 56°C, ч
1	22	71,3	0,5
2	40	33,5	1,0
3	60	22,1	1,7
4	100	13,7	2,8

Как и следовало ожидать, чем значительнее толщина сортиментов, тем больше времени требуется для того, что их прогреть до нужной температуры. При увеличении толщины от 22 до 100 мм скорость нагревания

уменьшается более чем в 5 раз: от 71,3 до 13,7°C/ч. Закономерно увеличивается время, необходимое для достижения на оси сортиментов температуры 56°C. Оно составляет 0,5 и 2,8 ч соответственно.

Примерно такую же картину мы наблюдаем на рис. 3, где изображены температурные кривые нагревания сосновых сортиментов с круглым поперечным сечением. При диаметре последних 80, 100 и 120 мм скорость нагревания внутренних слоев соответственно составляет 28,5; 17,8 и 13,0°C/ч. Температура 56°C в середине указанных сортиментов зафиксирована через 1,3; 2,0 и 2,8 ч.

Влияние влажности древесины на интенсивность ее нагревания значительно меньше, чем влияние геометрических размеров поперечного сечения. Чтобы убедиться в этом, обратимся к рис. 4, где показаны кривые изменения температуры в середине сосновых досок толщиной 40 мм при различных значениях влажности древесины: 21,2; 40,4 и 58,8%. Зависимости, как и в предыдущих опытах, получены

при нагревании сортиментов в газообразной среде, имеющей температуру 85°C и относительную влажность 75%. Нетрудно заметить, что кривые очень близко расположены по отношению друг к другу. При достаточно больших отличиях во влажности значения скорости нагревания сортиментов очень близки между собой и составляют 43,8; 35,6 и 30,8°C/ч. Внутренние слои рассматриваемых сортиментов прогреваются до температуры 56°C за 0,7; 1,0 и 1,2 ч соответственно.

Столь незначительные различия в скорости прогревания древесины, имеющей различную влажность, становятся понятными, если проанализировать ее физические свойства. Значения плотности, удельной теплоемкости и коэффициента теплопроводности сосновой древесины

различной влажности приведены в табл. 2. В этой же таблице даны значения коэффициента температуропроводности, который, главным образом, и определяет способность древесины к нагреванию.

Таблица 2
Физические свойства древесины сосны

Влажность, %	Плотность, кг/м ³	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·°C)	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)	Коэффициент температуропроводности, (м ² /с)·10 ⁷
21,2	530	2280	0,220	1,82
40,4	590	2670	0,286	1,82
58,8	660	2900	0,340	1,78

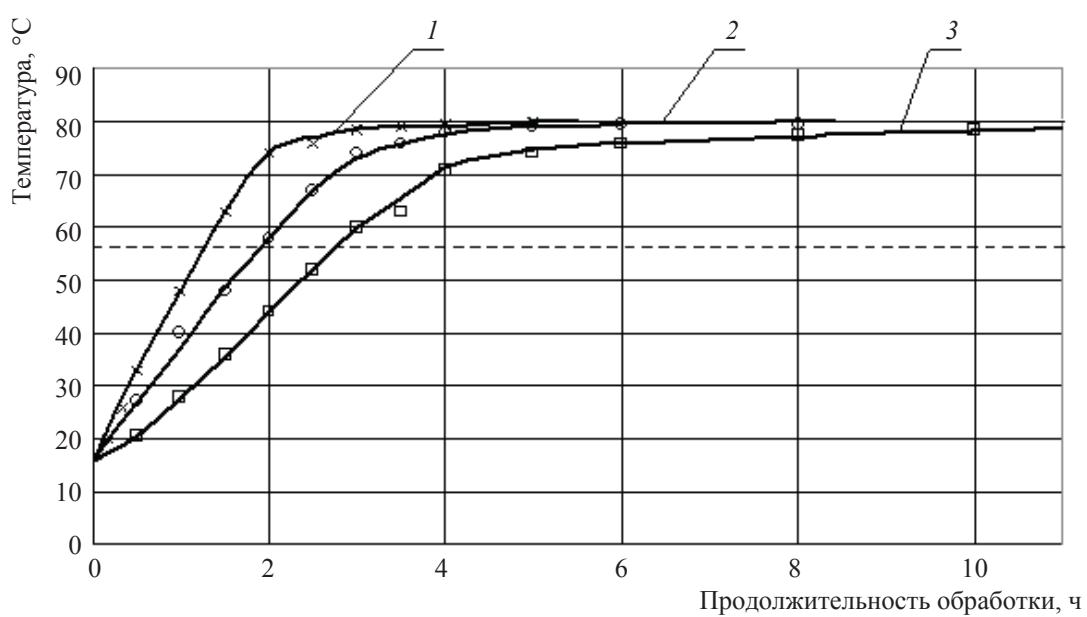


Рис. 3. Изменение температуры в середине сосновой оцилиндрованной древесины:
1 – диаметр оцилиндрованной древесины $d = 80$ мм; 2 – $d = 100$ мм; 3 – $d = 120$ мм

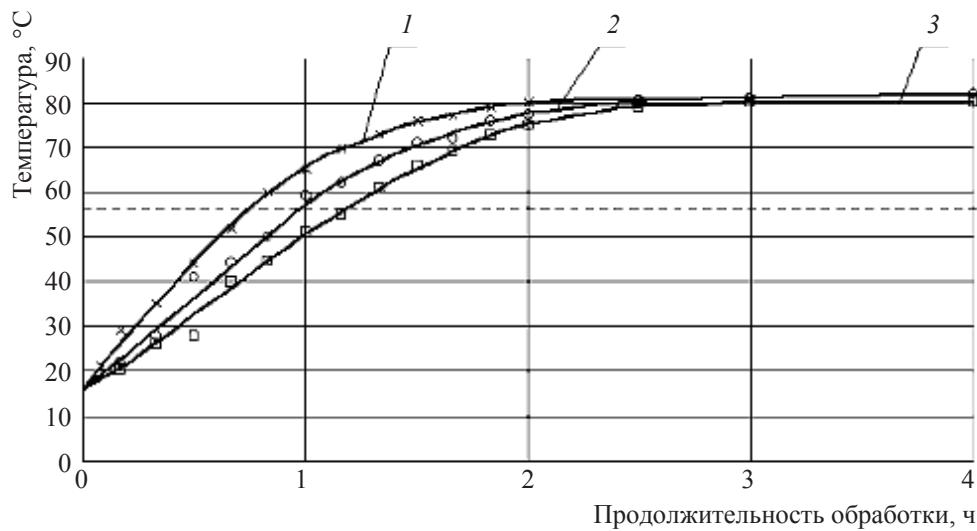


Рис. 4. Изменение температуры в середине сосновых досок ($S \times b = 40 \times 200$ мм) различной влажности:
1 – начальная влажность досок $W = 21,2\%$; 2 – $W = 40,4\%$; 3 – $W = 58,8\%$

Плотность древесины при различных значениях влажности определяли экспериментально. Удельную теплоемкость находили по диаграмме [4, с. 73, рис. 2.3] в зависимости от влажности и средней температуры древесины. Значения коэффициентов теплопроводности λ и температуропроводности a рассчитывали по формулам [5]:

$$\lambda = \lambda_n \cdot k_p \cdot k_x; \quad (1)$$

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}, \quad (2)$$

где λ_n – номинальное значение коэффициента теплопроводности, найденное по диаграмме [1, с. 73, рис. 2.4]; k_p – коэффициент, зависящий от базисной плотности древесины [1, с. 74, табл. 2.1]; k_x – коэффициент, зависящий от направления теплового потока относительно древесных волокон [4, с. 74, табл. 2.2]; c – удельная теплоемкость древесины, Дж/(кг·°C); ρ – плотность древесины, кг/м³.

Как следует из табл. 2, увеличение влажности древесины сосны от 21,2 до 58,8% приводит к значительному изменению плотности, удельной теплоемкости и коэффициента теплопроводности. Первый из перечисленных параметров увеличивается на 24,5%, второй – на 27,2% и, наконец, коэффициент теплопроводности возрастает на 54,5%. При всем этом коэффициент температуропроводности практически не изменяется. При влажности древесины 21,2% он составляет $1,82 \cdot 10^{-7}$ м²/с, а 58,8% – $1,78 \cdot 10^{-7}$ м²/с. Получается, что различий в темпах нагревания древесины разной влажности не должно быть вовсе. Однако они есть, и мы объясняем их следующим образом. С поверхности более влажных сортиментов испарение воды происходит активнее. На это расходуется часть энергии, получаемой древесиной от

обрабатывающей среды, что приводит к более медленному прогреванию сортиментов.

В ОАО «Витебскдрев» для изготовления упаковочных материалов применяется преимущественно сосновая древесина. Иногда используется ель и еще реже – береза. Указанные породы отличаются между собой плотностью и тепловыми свойствами. В этой связи нами была изучена сравнительная динамика нагревания сосновых, еловых и березовых пиломатериалов. В опытах использовали доски толщиной 40 мм, начальная влажность которых составляла: сосны – 40,4, ели – 39,6, березы – 42,0%. Температура обрабатывающей среды составляла 85°C, относительная влажность – 75%. Полученные в опытах зависимости температуры внутри сортиментов от продолжительности нагревания представлены на рис. 5.

Анализируя рис. 5, отметим, что на всем своем протяжении они очень близко расположены по отношению друг к другу. Особенно это касается обеих хвойных пород. Изотерму 56°C графические зависимости пересекают при продолжительности нагревания для ели 0,9 ч, сосны – 1,0 ч, березы – 1,2 ч. Согласно литературным данным [6], значения базисной плотности исследуемых пород древесины составляют: ели – 360 кг/м³, сосны – 400 кг/м³, березы – 500 кг/м³. Нетрудно заметить, что время, затрачиваемое на нагревание сортиментов, соотносится между собой почти так же, как плотность. Такая же закономерность была обнаружена и другими исследователями. Таким образом, влияние породы древесины на скорость ее нагревания может быть учтено посредством базисной плотности.

Логично предположить, что на продолжительность термической фитосанитарной обработки будет влиять начальная температура древесины.

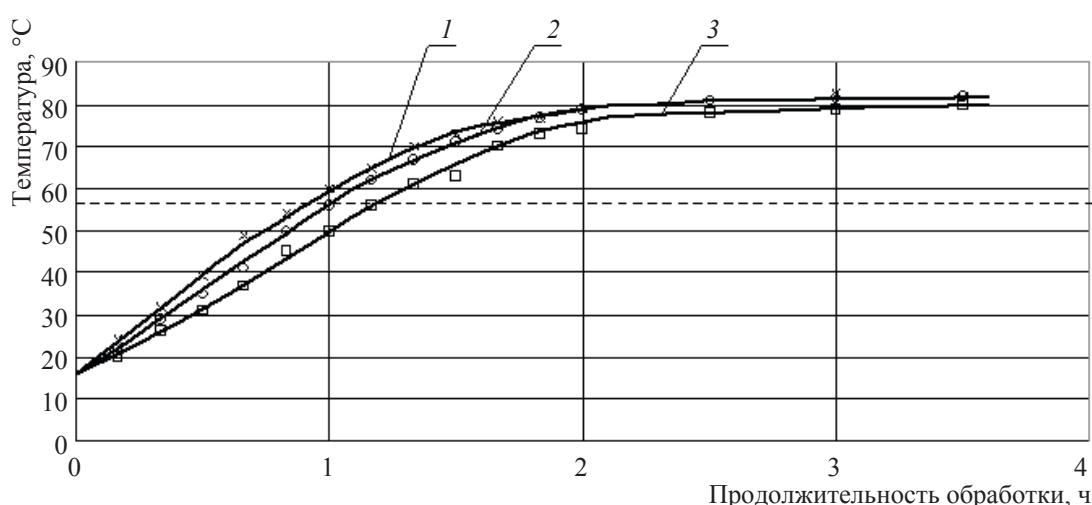


Рис. 5. Изменение температуры в середине досок различных пород древесины толщиной 40 мм:
1 – еловые; 2 – сосновые; 3 – березовые

Выяснению этого вопроса была посвящена следующая серия опытов. В эксперименте использовали образцы сосновых досок толщиной 40 мм, имеющие начальную влажность около 40%. Путем выдержки в термостате им придавали начальную температуру 2, 16, 25 и 35°C. Диапазон температур был выбран с учетом реальных условий, характерных для ОАО «Витебскдрев» и других белорусских предприятий. Образцы нагревали в среде, имеющей температуру 85°C и относительную влажность 97, 75, 50%. При проведении опытов фиксировали время достижения на оси сортиментов температуры 56°C. Результаты измерений сведены в табл. 3. В этой же таблице даны значения расчетного времени нагревания, полученные по формуле

$$\tau_h = \frac{t_y - t_0}{V}, \quad (3)$$

где t_y – температура, установленная странами ЕС как минимально достаточная для проведения термической фитосанитарной обработки древесины, $t_y = 56^\circ\text{C}$; t_0 – начальная температура древесины, °C; V – скорость нагревания древесины (табл. 2), °C/ч.

Таблица 3
Влияние начальной температуры
на продолжительность нагревания древесины

Но- мер опы- та	Параметры обрабаты- вающей среды		Ско- рость нагре- вания, °C/ч	На- чаль- ная тем- пе- ра- тура, °C	Время достижения температуры 56, °C	
	тем- пе- ра- тура, °C	относи- тельная влаж- ность, %			рас- чет- ное	экспе- римен- таль- ное
1	95	97	60,8	2	0,9	0,8
2				16	0,7	0,5
3				25	0,5	0,5
4				35	0,3	0,3
5	85	75	33,5	2	1,6	1,4
6				16	1,2	1,0
7				25	0,9	0,9
8				35	0,6	0,7
9	85	50	19,6	2	2,8	2,8
10				16	2,0	2,0
11				25	1,6	1,7
12				35	1,1	1,2

Анализ данных, представленных в табл. 3, показывает, что чем выше начальная температура древесины, тем быстрее на оси сортиментов достигается температура 56°C. При увеличении начальной температуры от 2 до 35°C сокращается продолжительность нагревания в два и более раз. Указанная закономерность сохраняется не-

зависимо от условий, в которых происходит термическая обработка древесины.

Следует отметить, что экспериментально определенное время достижения на оси сортиментов температуры 56°C хорошо совпадает с временем, рассчитанным на основании скорости нагревания. Расхождения не превышают 0,2 ч, т. е. 10–12 мин. Это дает возможность при разработке режимов термической фитосанитарной обработки учитывать возможные колебания начальной температуры древесины.

Заключение. По результатам исследования влияния параметров обрабатываемой древесины на скорость ее нагревания могут быть сделаны следующие выводы. Наиболее значимым фактором, в первую очередь определяющим продолжительность термической обработки, являются геометрические размеры поперечного сечения сортиментов: толщина – для досок и брусков, диаметр – для оцилиндрованной древесины. Чем больше толщина (диаметр) сортиментов, тем больше нужно времени для нагревания внутренних слоев сортиментов до требуемой температуры (56°C). Скорость нагревания древесины зависит также от влажности и породы древесины. Чем больше базисная плотность и выше значение влажности, тем медленнее прогреваются сортименты. При установлении продолжительности термической фитосанитарной обработки должна также учитываться начальная температура сортиментов.

Литература

- 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.
- Фитосанитарная обработка упаковочных материалов из древесины в соответствии с требованиями ЕС / А. И. Юхновец [и др.] // Новости. Стандартизация и сертификация. – 2005. – С. 56–60.
- Вилейшикова, Н. В. Лабораторная установка для сушки древесины / Н. В. Вилейшикова, Л. Ф. Донченко, В. Б. Снопков // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. промст., 2001. – Вып. IX. – С. 144–150.
- Снопков, В. Б. Гидротермическая обработка и защита древесины. Примеры и задачи / В. Б. Снопков. – Минск: БГТУ, 2005. – 240 с.
- Серговский, П. С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины / П. С. Серговский, А. И. Расев. – М.: Лесная пром-сть, 1987. – 360 с.
- Уголов, Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения / Б. Н. Уголов. – М.: Лесная пром-сть, 1975. – 384 с.