

УДК 674.04.047.3

О. Г. Рудак, аспирант (БГТУ); В. Б. Снопков, канд. техн. наук, доцент (БГТУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛАГОПРОВОДНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ В РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУРНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ

Первой технологической операцией процесса сушки древесины является начальный прогрев. В статье рассмотрены результаты исследования влагопроводности древесины сосны при различных температуре и степени насыщенности воздуха. Определены коэффициенты влагопроводности древесины сосны. Сделан вывод о том, что с увеличением температуры увеличивается коэффициент влагопроводности.

The first technological operation of process of drying of wood is initial warming up. In article results of research the coefficient of conducting of a moisture of pine wood are considered at various to temperature and degree of a saturation of air. Rate of coefficient of conducting of a moisture of wood of a pine is defined. With increase in temperature the coefficient of conducting of a moisture increases.

Введение. Первой технологической операцией процесса сушки пиломатериалов является начальный прогрев. Он проводится с целью доведения температуры высушиваемого материала до уровня температуры сушильного агента и создания внутри его равномерного температурного поля [1]. Сушка древесины во время прогрева недопустима. Проводят операцию начального прогрева путем выдержки пиломатериалов в обрабатывающей среде повышенной температуры и высокой степени насыщенности. Высокая температура обеспечивает быстрое нагревание древесины, а высокая влажность воздуха препятствует испарению из нее влаги. Реализуют начальный прогрев путем подачи в камеру через увлажнительные трубы водяного пара. Психрометрическая разность обрабатывающей среды при этом становится равной $\Delta t = 0,5-1,5^\circ\text{C}$, что соответствует степени насыщенности среды $\phi \approx 1$.

В последние годы на деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь все шире применяют сушильные камеры, теплоносителем в которых является не пар, а горячая вода [2]. Операцию начального прогрева в них проводят по иному: нагрев воздуха происходит в калориферах, а степень его насыщенности увеличивают путем диспергирования (распыления) холодной воды. Неизбежным следствием такой технологии является увеличение продолжительности операции начального прогрева и уменьшение степени насыщенности обрабатывающей среды до $\phi = 0,80-0,85$, что соответствует психрометрической разности $\Delta t = 2,5-3,5^\circ\text{C}$. В таких условиях прогрев древесины будет сопровождаться испарением влаги с ее поверхности. Возникающий при этом перепад влажности по толщине пиломатериалов приведет к появлению внутренних напряжений в древесине и даже может вызвать их растрескивание. В то же время градиент влагосодержания явится причиной перемещения влаги внутри древесины вследствие влагопроводности.

Сможет ли влагопроводность компенсировать потерю влаги с поверхности древесины вследствие испарения зависит от величины коэффициента влагопроводности.

Таким образом, целью выполненных нами экспериментальных исследований была количественная оценка коэффициента влагопроводности древесины в температурных и влажностных условиях, соответствующих технологической операции начального прогрева.

Методика проведения исследований. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

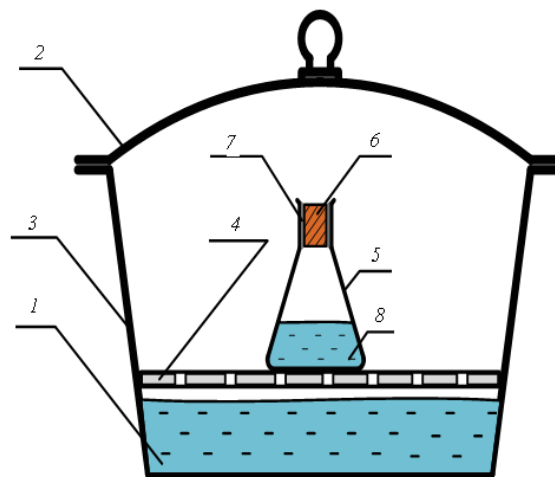


Рис. 1. Схема эксперимента:

- 1 – эксикатор; 2 – крышка эксикатора;
- 3 – водный раствор соли; 4 – решетка; 5 – колба;
- 6 – пробка из древесины сосны;
- 7 – полипропиленовый уплотнитель;
- 8 – дистиллированная вода

В нижнюю часть эксикатора (1), герметично закрываемого крышкой (2), заливали водный раствор соли или смеси солей (3), обеспечивающий внутри эксикатора требуемое значение относительной влажности воздуха или, что тоже самое, парциального давления водяного пара. На решетку (4), закрепленную над раствором,

устанавливали колбу (5), заполненную на 1/5 часть ее объема дистиллированной водой (8). Колбу герметично закрывали цилиндрической пробкой (6), которая и являлась экспериментальным образцом. Пробки были изготовлены из заболонной древесины сосны таким образом, чтобы их ось совпадала с радиальным или тангенциальным структурным направлением (рис. 2). Диаметр образцов составлял 25 мм, длина – 30 мм. Начальная влажность древесины находилась в пределах от 12,6 до 13,1%. Боковые поверхности образцов были гидроизолированы полипропиленовыми прокладками (7).

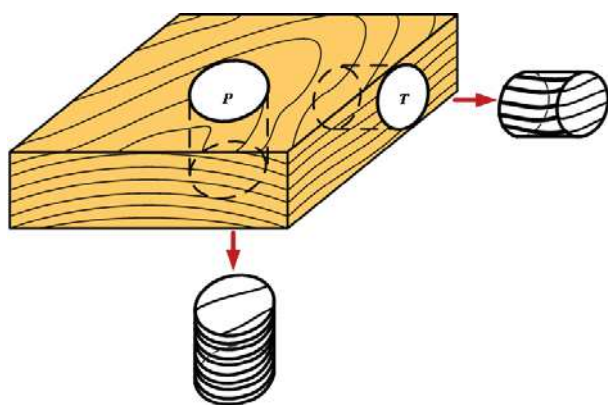


Рис. 2. Схема изготовления экспериментальных образцов

При проведении эксперимента исходили из того, что внутри герметично закрытой колбы, содержащей дистиллированную воду, парциальное давление водяного пара приближалось к давлению насыщения. Вне колбы величина парциального давления определялась раствором соли и отличалась от давления насыщения. Таким образом, по обе стороны сосновой пробки создавался градиент парциального давления водяного пара, который и являлся движущей силой, инициирующей перемещение влаги внутри древесины, т. е. влагопроводности. Перемещение влаги должно происходить из колбы наружу. Оценив изменение массы колбы во времени, можно рассчитать величину коэффициента влагопроводности.

Описанный эксперимент проводили при комнатной температуре, которая в этот период составляла 18°C, а также при температуре 52°C. Для достижения повышенной температуры эксикатор помещали в термощкаф.

Взвешивание колбы проводили один раз в сутки с точностью до 1 мг. Эксперимент продолжался до тех пор, пока зависимость массы от времени не становилась убывающей по линейному закону. Такая зависимость свидетельствовала об установлении стационарного процесса перемещения влаги внутри древесины и

позволяла рассчитать коэффициент влагопроводности. Продолжительность опытов при температуре 52°C составляла 128–160 ч, при температуре 18°C – от 550 до 580 ч.

Условия проведения эксперимента обобщены в табл. 1.

Расчет коэффициента влагопроводности производим по формуле

$$a' = \frac{m_{\text{вл}} \cdot l}{\tau \cdot S \cdot \Delta c} \cdot 10^6, \text{ см}^2/\text{с},$$

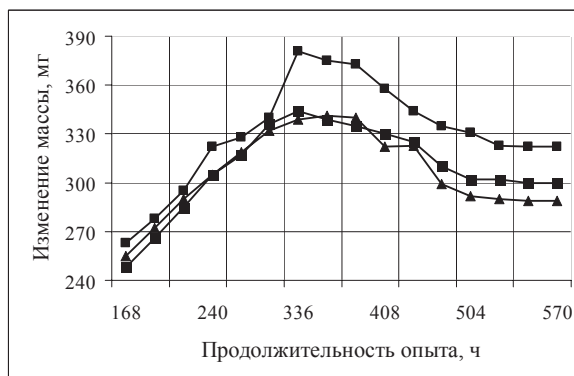
где $m_{\text{вл}}$ – масса влаги, прошедшей через образец, г; l – длина образца, см; τ – продолжительность выдержки, с; S – площадь поперечного сечения образца, см²; Δc – градиент влагосодержания, г/см³

Таблица 1
Условия проведения эксперимента

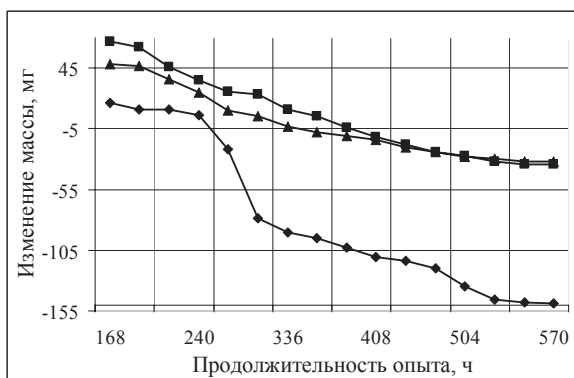
№ опыта	Структурное направление древесины	Температура, °C	Относительная влажность воздуха, %		Парциальное давление водяного пара, Па	
			в экс-ре	в колбе	в экс-ре	в колбе
1	Радиальное	18	87	98,3	2 460	3 000
2	Тангенциальное					
3	Радиальное	52	87	99,6	12 480	14 120
4	Тангенциальное					
5	Радиальное	18	72	98,3	2 100	3 000
6	Тангенциальное					
7	Радиальное	52	72	99,6	10 480	14 120
8	Тангенциальное					

Результаты исследований. На рис. 3 показано изменение массы колб во времени при температуре опыта $t = 18^\circ\text{C}$. Движение влаги по образцу древесины проходило в радиальном направлении. При этом графические зависимости рис. 3, а получены при влажности воздуха в эксикаторе с $\varphi = 88\%$ (опыт № 1), а рис. 3, б – при $\varphi = 72\%$ (опыт № 5).

Анализ графиков, представленных на рис. 3, показывает, что в начале опытов масса колб, выдерживаемых в эксикаторе, возрастает. Особенно это хорошо видно в случае, когда влажность воздуха, окружающего колбу, составляет $\varphi = 88\%$ (рис. 3, а). И только по прошествии определенного, довольно большого периода времени (150–350 ч) масса колб начинает уменьшаться. Авторы статьи объясняют установленный факт следующим образом.



а

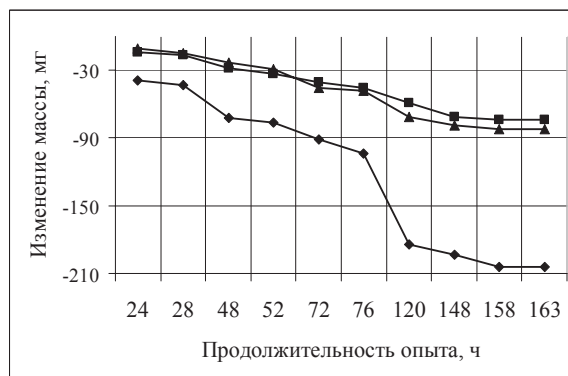


б

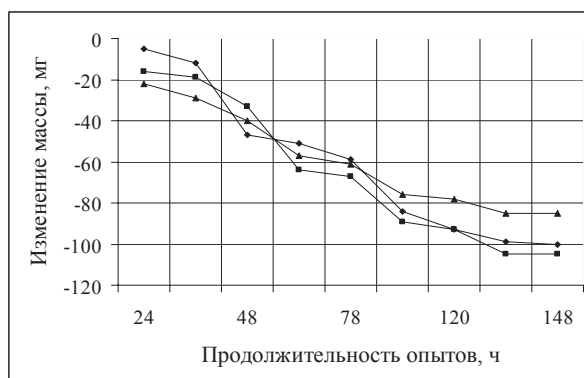
Рис. 3. Изменение массы колб во времени ($t = 18^{\circ}\text{C}$, радиальное направление):
а – при $\varphi = 88\%$; б – при $\varphi = 72\%$

Начальная влажность образцов древесины (пробок, закрывающих колбы) составляла, как уже указывалось, $W_0 = 12,6\text{--}13,1\%$. Древесина с такой влажностью, контактируя с воздухом, имеющим относительную влажность 72, 88, 98 или 99%, должна поглощать пары воды. И если сорбция водяного пара из внутреннего объема колбы не скажется на ее массе, то с поглощением паров воды, присутствующих в объеме эксикатора, колба должна становиться тяжелее. Именно это мы и видим на рис. 3 в начале опытов. После приобретения образцами равновесной влажности изменение массы происходит только за счет перемещения влаги через пробку из внутреннего объема колб наружу вследствие влагопроводности. В результате мы наблюдаем, что в конце опытов масса колб начинает уменьшаться, причем делает это с постоянной скоростью. Именно эти участки кривых и были использованы при выполнении расчетов коэффициента влагопроводности по вышеприведенной формуле.

Совсем по-другому выглядят зависимости, полученные при температуре $t = 52^{\circ}\text{C}$ (рис. 4). На рис. 4, а показано изменение массы колб во времени при влажности воздуха в эксикаторе с $\varphi = 88\%$ (опыт № 4), а на рис. 4, б – при $\varphi = 72\%$ (опыт № 8).



а



б

Рис. 4. Изменение массы колб во времени $t = 52^{\circ}\text{C}$ (тангенциальное направление):
а – при $\varphi = 88\%$; б – при $\varphi = 72\%$

В этом случае в течение всего рассматриваемого периода времени (148–158 ч) колбы становятся легче, при этом скорость, с которой происходит уменьшение их массы, остается примерно одинаковой. Установленный факт не должен вызывать удивления. Дело в том, что равновесные значения влажности древесины, соответствующие параметрам воздуха в эксикаторе (для опыта № 4 – 16,4%, для опыта № 5 – 12,5%), мало отличаются от начальной влажности. Следовательно, поглощение пробками паров воды со стороны эксикатора происходить не должно. С учетом сказанного расчет коэффициента влагопроводности древесины производим по графикам на всем их протяжении.

Правильность выбора периодов времени для расчета коэффициента влагопроводности подтверждается графическими зависимостями, представленными на рис. 5. Здесь показано изменение влажности древесины по длине образцов радиального направления после завершения опытов. Для тангенциального направления зависимости выглядят аналогично.

На рис. 5 хорошо видно, что влажность древесины от стороны образца, которая контактировала с воздухом, находившимся внутри колбы ($l = 0$ мм), до его противоположной стороны,

граничившей с воздухом эксикатора ($l = 30$ мм), изменяется по линейному закону. Это однозначно свидетельствует о том, что в конце всех опытов имел место установившийся, т. е. стационарный, процесс влагопроводности. Таким образом, выполнение расчетов коэффициента влагопроводности по описанной выше методике было правомерным. Результаты выполненных расчетов сведены в табл. 2.

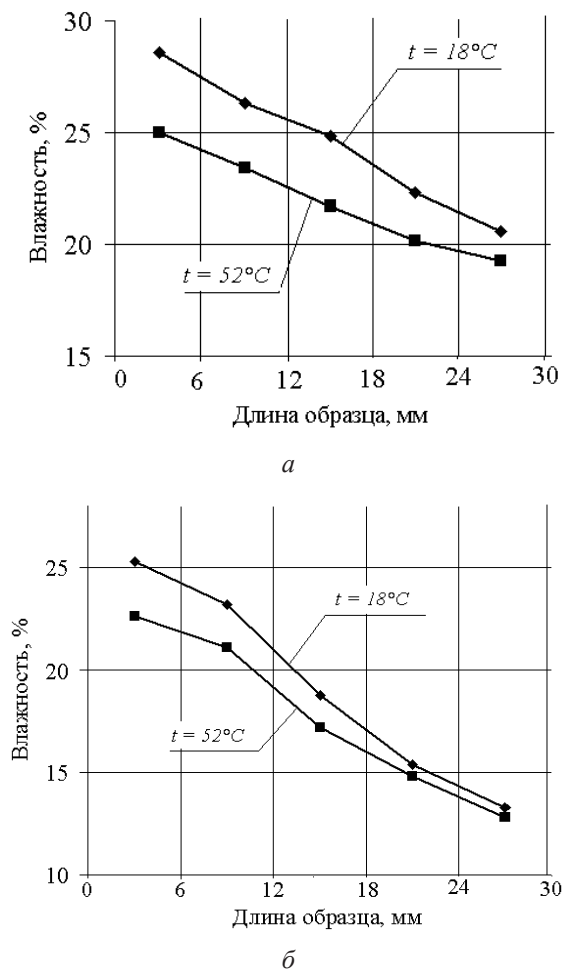


Рис. 5. Изменение влажности по длине образцов после завершения опытов в радиальном направлении:
а – при $\varphi = 88\%$; б – при $\varphi = 72\%$

Анализируя данные, представленные в табл. 2, отметим следующее. Величина коэффициента влагопроводности для различных условий эксперимента изменяется в пределах от $0,65 \cdot 10^{-6}$ до $6,33 \cdot 10^{-6}$ см²/с. Полученные значения не противоречат сведениям, имеющимся в литературе [3]. Влагопроводность древесины сосны в радиальном направлении больше, чем в тангенциальном, в 1,9–

3,2 раза. Значительное влияние на способность древесины перемещать влагу оказывает температура. Так, например, при увеличении температуры с 18°C до 52°C коэффициент влагопроводности в радиальном направлении возрастает от $(1,22–1,23) \cdot 10^{-6}$ см²/с до $(5,04–6,33) \cdot 10^{-6}$ см²/с, т. е. в 4–5 раз.

Таблица 2

Результаты расчета коэффициента влагопроводности

№ опыта	Температура $t, ^\circ\text{C}$	Относит. влажность возд. $\varphi, \%$		Структур. направл. волокон	Равнов. влажность древесины $W_p, \%$ со стороны		Коэф. влагопровод. $a' \cdot 10^6, \text{см}^2/\text{с}$
		в экс.	в колбе		экс.	колбы	
1	18	88	98,3	р	19,7	29,6	1,22
2				т	19,0	29,1	0,65
3	52	88	99,6	р	18,2	26,6	6,33
4				т	16,4	27,9	1,98
5	18	72	98,3	р	18,0	28,0	1,23
6				т	–	–	–
7	52	72	99,6	р	12,7	25,1	5,04
8				т	12,5	27,2	2,32

Закключение. Выполнены исследования влагопроводности древесины сосны при температуре и влажности среды, характерных для начального прогрева пиломатериалов перед сушкой. Определена величина коэффициента влагопроводности, которая составляет от $0,65 \cdot 10^{-6}$ до $6,33 \cdot 10^{-6}$ см²/с. Установлено, что в радиальном направлении влагопроводность сосновой древесины в 1,9–3,2 раза больше, чем в тангенциальном. С увеличением температуры коэффициент влагопроводности возрастает.

Литература

1. Кречетов, И. В. Сушка древесины / И. В. Кречетов. – М.: Лесная пром-сть, 1980. – 128–137 с.
2. Фридман, И. Н. Деревообработка. Практическое руководство / И. Н. Фридман. – СПб.: Проффикс, 2003. – 543 с.
3. Серговский, П. С. О влагопроводности древесины / П. С. Серговский // Деревообработ. пром-сть. – 1967. – № 9. – С. 12–14.

Поступила 01.04.2010