

УДК 674.04

Анизотропия разбухания и усушки древесины сосны

Скуратов Николай Владимирович

skuratov@bmstu.ru

МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Московская обл., Мытищи, Россия

Приведены результаты исследований динамики разбухания и усушки древесины сосны. Полученные в результате экспериментов зависимости разбухания и усушки от влажности в диапазоне ее изменения от 0 до 25,5 %, были близки к линейным. Определены максимальные размеры образцов, которые они приобрели после длительного вымачивания в дистиллированной воде. С помощью экстраполяции полученных графических зависимостей установлено, что максимальной величины разбухание в радиальном направлении достигает уже при влажности 26,2 %, а в тангенциальном лишь при влажности 30,3 %. Показано, что из-за этой разницы зависимости объемного разбухания и усушки от влажности имеют выраженный нелинейный характер. Отмечено, что в дальнейшем целесообразно провести аналогичные исследования разбухания и усушки других древесных пород.

Ключевые слова: древесина, сосна, влажность, разбухание, усушка, предел насыщения клеточных стенок

Введение. В растущем дереве содержится большое количество воды, благодаря которой питательные вещества в виде растворов перемещаются по стволу. Влажность свежесрубленной древесины может достигать до 100 % и даже более [1]. Высокое содержание воды в древесине затрудняет ее практическое использование, поэтому выпиленные из сырых бревен пиломатериалы подвергают сушке до низкой эксплуатационной влажности, величина которой зависит от назначения высушенного материала.

Древесина представляет собой гигроскопичный материал, обладающий способностью взаимодействовать с водяным паром, содержащимся в воздухе. При нахождении в сыром воздухе древесина увлажняется, а в сухом воздухе она подсыхает. Кроме того, при изменении относительной влажности окружающего воздуха древесина может усыхать или разбухать. Благодаря анизотропии строения изменение размеров древесины в различных анатомических направлениях (радиальном, тангенциальном, вдоль волокон) существенно отличаются друг от друга [2]. Минимальные изменения размеров происходит вдоль волокон. В направлениях поперек волокон изменения размеров наиболее значительны. При этом тангенциальные усушка и разбухание примерно в 1,5–2 раза больше, чем радиальные.

Знание характеристик усушки и разбухания древесины требуется при проектировании изделий, строительных конструкций и зданий, а также при разработке различных технологических процессов в деревообработке [3]. Численные значения усушки используют в расчетах при определении объема высушенных пиломатериалов после атмосферной или камерной сушки [4].

Также усушку древесины различных пород учитывают при разработке и модифицировании режимов ее сушки [5].

Сосна является одной из самых распространенных древесных пород в нашей стране [6]. Ее древесина широко используется в строительстве и для изготовления различных изделий. В настоящей работе приведены результаты исследований процессов разбухания и усушки древесины сосны с целью выявления их особенностей.

Материалы и методы. Для проведения экспериментов из древесины сосны с базисной плотностью 402 кг/м^3 было подготовлено 20 образцов размером $20 \times 20 \times 10 \text{ мм}$ (ГОСТ 16483.35–88 Древесина. Метод определения разбухания). Угол наклона годичных слоев к граням образцов не превышал 10° .

С целью достижения заданных значений устойчивой влажности образцов было подготовлено 6 эксикаторов с насыщенными растворами разных солей, в которых при температуре $22\text{--}23$ градуса поддерживалась относительная влажность воздуха на уровне 43, 54, 75, 85, 93, 97 %. Эксикаторы с более сухим воздухом не использовались, поскольку массивная древесина с влажностью менее 7 % практически не применяется.

Перед экспериментом образцы были помещены в сушильный шкаф и при температуре $102\text{--}104$ градуса были высушены до абсолютно сухого состояния. Образцы были сразу же взвешены на электронных весах с погрешностью не более 0,001 г. С помощью микрометра типа ММ-0-25, имеющего погрешность не более 0,01 мм, были определены их размеры.

При исследовании процесса разбухания была использована технология ступенчатого увлажнения [7], при которой образцы последовательно помещались в эксикаторы с более высокой относительной влажностью воздуха. Процесс увлажнения контролировали путем взвешивания трех случайно выбранных образцов. После стабилизации массы контрольных образцов все образцы взвешивали и определяли их размеры. Далее образцы перемещали в эксикатор с более высокой относительной влажностью воздуха. Все последующие взвешивания и измерения размеров образцов, перемещаемых в эксикаторы с более влажным воздухом, проводились аналогично. После обработки данных, полученных по всем эксикаторам были построены кривые сорбции, а также зависимости радиального и тангенциального разбухания от влажности. Для определения характеристик полного разбухания образцы были помещены в эксикатор с дистиллированной водой для достижения влажности выше предела насыщения клеточных стенок $W_{\text{п.н.}}$.

Полученные в ходе данные позволили получить зависимости разбухания от влажности в диапазоне ее изменения от 0 до 25,5 %, т. е. устойчивой влажности образцов при их нахождении в воздухе с относительной влажностью 97 %.

Для определения максимальной влажности древесины сосны, при достижении которой прекращается разбухание, зависимости разбухания в поперечном направлении от влажности были экстраполированы до значений максимальных размеров, достигнутых после вымачивания в воде.

Для исследования процесса усушки были использованы те же образцы, которые после вымачивания имели влажность существенно выше $W_{п.н.}$. После измерения размеров образцы последовательно помещали в эксикаторы с более низкой относительной влажностью воздуха. Взвешивание и определение размеров образцов проводили, как описано выше. По результатам измерений были построены зависимости радиальной и тангенциальной усушки от влажности.

Результаты. Как и предполагалось, увеличение размеров образцов при повышении их влажности протекало по линейному закону (рис. 1). Оказалось, что максимальное разбухание в тангенциальном направлении наблюдается, когда влажность древесины достигает до 30,3 %, что близко к общепринятому значению $W_{п.н.} = 30\%$ [8]. В тоже время выяснилось, что рост размеров образцов в радиальном направлении прекращается уже при влажности 26,2 %, что существенно ниже $W_{п.н.} = 30\%$. Разность между значениями влажности, при которых тангенциальное и радиальное разбухание становятся максимальными, составляет величину равную $30,3 - 26,2 = 4,1\%$.

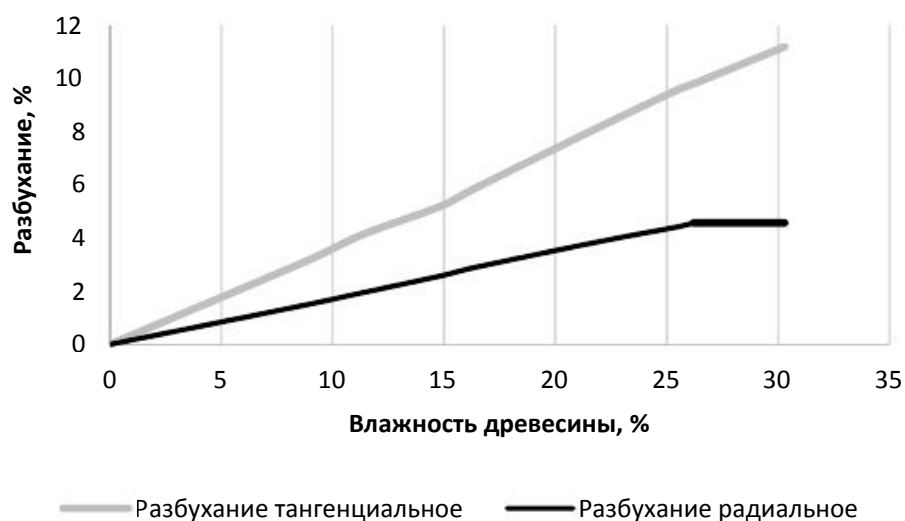


Рис. 1. Разбухание древесины сосны

Как и при разбухании, между усушкой и влажностью существует устойчивая связь, близкая к линейной (рис. 2). Однако на начальном участке усушки наблюдается большой разброс измеренных значений по образцам. Это связано с тем, что в начале усушки уменьшение размеров образцов составляет лишь несколько сотых долей миллиметра, что с учетом высокой податливости увлажненной древесины сложно точно зафиксировать даже с помощью микрометра. При таком разбросе экспериментальных данных не представляется возможным точно определить максимальные значения влажности, при которых еще не происходит усушка в радиальном и тангенциальном направлениях.

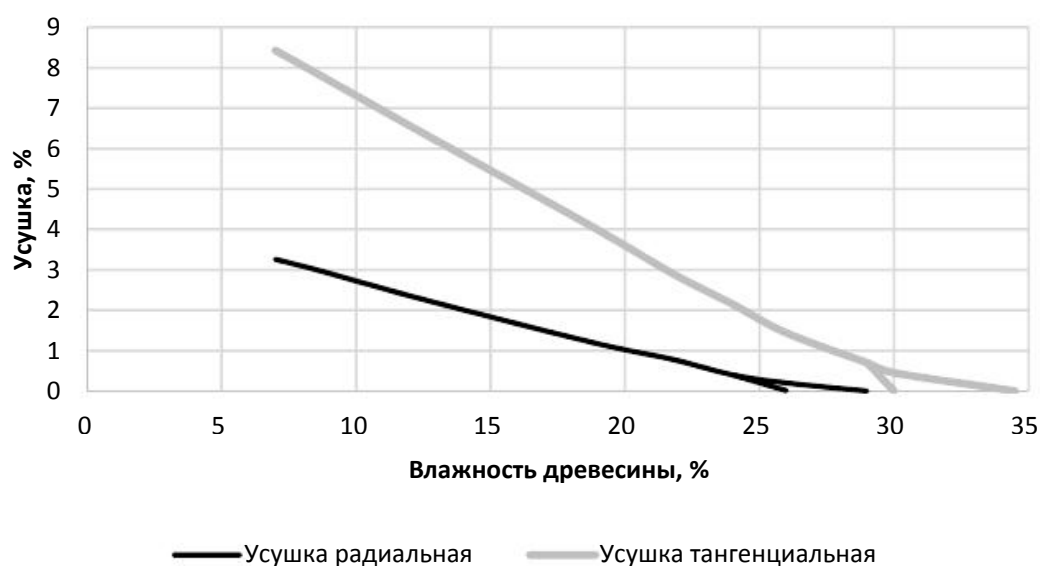


Рис. 2. Усушка древесины сосны

Обсуждение. Наличие разности между значениями влажности, при которых тангенциальное и радиальное разбухание становятся максимальными является одним из проявлений анизотропии свойств древесины. Полученные экспериментальные данные позволяют заключить, что рост объемного разбухания в действительности проходит неравномерно. Это связано с тем, что в процессе увлажнения радиальное разбухание прекращается раньше, чем тангенциальное. Графически процесс объемного разбухания древесины сосны может быть изображен двумя отрезками с разными углами наклона в диапазоне изменения влажности 0–26,2 и 26,2–30,3 %.

Заключение. Результаты могут быть использованы при уточнении методик расчета разбухания и усушки древесины сосны. Очевидно, что неравномерное разбухание и усушка древесины сосны происходят благодаря особенностям ее макростроения, которые в ближайшее время предстоит детально изучить. Отсутствие аналогичных результатов не только в отечественной, но и в зарубежной литературе [9, 10] подчеркивает актуальность проведения исследований динамики разбухания и усушки древесины других пород.

Литература

- [1] Богданов Е.С., Козлов В.А., Пейч Н.Н. *Справочник по сушке древесины*. Москва, Лесная промышленность, 1981, 192 с.
- [2] Боровиков А.М., Уголев Б.Н. *Справочник по древесине*. Москва, Лесная промышленность, 1989, 296 с.
- [3] Кабанов В.А., Масалов А.В. Трещиностойкость элементов деревянных клееных конструкций при длительном нагружении. *Известия Юго-западного государственного университета*, 2016, № 4, с. 96–102.
- [4] Серговский П.С., Расев А.И. *Гидротермическая обработка и консервирование древесины*. Москва, Лесная промышленность, 1987, 360 с.

- [5] Skuratov N.V. Intelligent wood drying control: problems and decisions. *Drying Technology*, 2008, vol. 26, no. 5, pp. 585–589. <https://doi.org/10.1080/07373930801944788>
- [6] Рысин Л.П., Савельева Л.И. *Сосновые леса России*. Москва, Товарищество научных изданий КМК, 2008, 289 с.
- [7] Скуратов Н.В. Особенности разбухания древесины сосны. *Journal of Advanced Research in Technical Science*, 2025, № 47, с. 105–109.
- [8] Уголев Б.Н. *Древесиноведение и лесное товароведение*. Москва, ГОУ ВПО МГУЛ, 2007, 352 с.
- [9] Niemz P., Teischinger A., Sandberg D. (Eds.). *Springer handbook of wood science and technology*. Cham, Springer, 2023, vol. 1, pp. 281–397. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81315-4_6
- [10] Shmulsky R., Jones P.D. *Forest products and wood science: an introduction*. John Wiley & Sons — Architecture, 2019, 477 p. <https://doi.org/10.1002/9780470960035>

Anisotropy of swelling and shrinkage of pine wood

Skuratov Nikolay Vladimirovich

skuratov@bmstu.ru

Mytischki Branch of BMSTU, Moscow region, Mytischki, Russia

The results of a study on the swelling and shrinkage dynamics of pine wood are presented. The experimental swelling and shrinkage curves, measured over a moisture content range from 0 to 25.5 %, were nearly linear. The maximum specimen sizes reached after prolonged soaking in distilled water were determined. Extrapolation of the obtained graphical dependences revealed that the maximum swelling in the radial direction is reached at a moisture content of 26.2 %, while in the tangential direction it is reached only at a moisture content of 30.3 %. This difference results in a pronounced nonlinearity in the volumetric swelling and shrinkage curves. It is noted that similar studies of swelling and shrinkage in other wood species would be advisable in the future.

Keywords: wood, pine, moisture content, swelling, shrinkage, cell wall saturation limit