

ОСОБЕННОСТИ РАЗБУХАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ

Скуратов Н.В.

Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, Мытищи, Россия

Ключевые слова: древесина, сосна, разбухание, коэффициент разбухания, сорбция, изотерма сорбции.

Аннотация. В данной работе рассмотрены особенности разбухания древесины сосны. Установлено, что в процессе ступенчатого увлажнения максимальное разбухание в радиальном и тангенциальном направлениях достигается при различных значениях влажности древесины. Показано, что при учете этого обстоятельства существенно изменяются расчетные коэффициенты радиального и объемного разбухания.

FEATURES OF PINE WOOD SWELLING

Skuratov N.V.

Mytishchi branch of Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi, Russia

Keywords: wood, pine, swelling, swelling coefficient, sorption, sorption isotherm.

Abstract. This paper examines the swelling characteristics of pine wood. It has been established that in the process of stepwise moistening, maximum swelling in the radial and tangential directions is achieved at different values of wood moisture. It has been shown that taking this circumstance into account significantly changes the calculated coefficients of radial and volumetric swelling.

Одним из характерных физических свойств древесины является ее способность изменять свои линейные размеры и объем при изменении относительной влажности окружающего воздуха и, в частности, разбухать. Разбухание древесины происходит при ее нахождении во влажном воздухе или контакте с водой вследствие увеличения содержания в клеточных стенках связанной воды. Максимальное или полное разбухание происходит при повышении влажности от нуля до предела насыщения клеточных стенок связанной водой. Дальнейшее повышение влажности за счет увеличения содержания в полостях клеток свободной воды не ведет к росту линейных размеров и объема древесины. Способность древесины изменять свои размеры при изменении ее влажности учитывают при проектировании многих изделий и конструкций из древесины.

Количественно разбухание древесины оценивают по его максимальной относительной величине и коэффициенту разбухания. Процедура их определения для трех структурных направлений описана в ГОСТ 16483.35-88 [1]. В этом же стандарте приведены методики определения максимального объемного разбухания и коэффициента разбухания по объему. Усредненные значения коэффициентов разбухания древесины различных пород можно найти в литературе [2, 3]. Они получены путем деления максимального относительного разбухания на величину предела насыщения клеточных стенок, принятую равной 30%. В тоже время отмечается, что эта величина для древесины различных пород варьируется в достаточно широких пределах.

Целью настоящего исследования является оценка возможной погрешности определения коэффициентов линейной и объемной усушки, если реальное значение предела насыщения клеточных стенок древесины конкретной породы существенно отличается от усредненной величины равной 30%.

Для проведения экспериментов из отрезков сосновых досок радиальной распиловки, не имеющих видимых пороков, были изготовлены 20 образцов в форме прямоугольной призмы с основанием 20x20 мм и высотой вдоль волокон 10 мм. Углы наклона годовичных слоев по отношению к двум противоположным боковым граням образцов не превышали 10° [1]. Средняя базисная плотность древесины образцов была равной 402 кг/м³.

Подготовленные образцы были помещены в сушильный шкаф и высушены при температуре (103±2)°C до абсолютно сухого состояния. Высушенные образцы охлаждали до комнатной температуры в эксикаторах с силикагелем. После этого, образцы взвешивали на электронных весах с погрешностью не более 0,001 г и определяли их размеры в радиальном, тангенциальном и продольном направлениях микрометром с погрешностью не более 0,01 мм.

Для того, чтобы выявить особенности разбухания древесины образцы были подвергнуты ступенчатому увлажнению. С этой целью было подготовлено 6 эксикаторов с насыщенными растворами различных солей, что позволило создать в них искусственные паровоздушные среды, имеющие, как указано в таблице 1, относительную влажность 43%, 54%, 75%, 85%, 93% и 97%. Для выравнивания параметров воздуха внутри эксикаторов в каждом из них был установлен низковольтный малогабаритный вентилятор, который периодически включался с помощью программируемого реле времени.

Табл. 1. Относительная влажность воздуха над насыщенными растворами солей

Соль в насыщенном водном растворе	Относительная влажность воздуха, %
Карбонат калия ($K_2CO_3 \cdot 2H_2O$)	43
Бихромат натрия ($Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$)	54
Хлорид натрия (NaCl)	75
Хлорид калия (KCl)	85
Нитрат калия (KNO_3)	93
Сульфат калия (K_2SO_4)	97

Сначала образцы были помещены в эксикатор, в котором относительная влажность воздуха поддерживалась на уровне 43%. Процесс сорбции контролировали путем периодического взвешивания трех случайно выбранных контрольных образцов. После достижения образцами устойчивой сорбционной влажности образцы взвешивали и определяли их размеры. Далее по полученным данным рассчитывали влажность и относительную деформацию образцов в радиальном, тангенциальном и продольном

направлениях [1]. Затем образцы помещали в следующий эксикатор с более высокой относительной влажностью воздуха и проводили те же измерения и расчеты. В результате были получены зависимости относительного разбухания от влажности для каждого из 20 образцов.

Для определения максимального относительного разбухания образцы были помещены в дистиллированную воду и выдерживались в ней до стабилизации их размеров.

Величину разбухания образцов на каждом этапе увлажнения определяли в трех направлениях по формуле [4]

$$\alpha_n = ((L_{nw} - L_{n0}) / L_{n0}) \cdot 100\%,$$

где n – анатомическое направление: тангенциальное (t), радиальное (r), продольное (l); L_{nw} – размер (объем) образца при влажности W в момент измерения, мм; L_{n0} – размер (объем) образца в абсолютно-сухом состоянии, мм.

Поскольку зависимость между разбуханием и изменением содержания связанной воды близка к линейной, коэффициент разбухания (%/% влажности) может быть определен следующим образом [1]

$$K_{an} = \alpha_n / W,$$

Представленная на рисунке 1 изотерма сорбции иллюстрирует изменение влажности образцов при повышении относительной влажности воздуха в эксикаторах от 43% до 97%. Максимальная влажность образцов оказалась равной 25,5%, что немного ниже равновесной влажности, определенной по соответствующей диаграмме [3] при том же состоянии воздуха. По всей видимости, это связано с наличием гистерезиса сорбции.

После вымачивания в воде максимальное разбухание в радиальном направлении $\alpha_{r\max}$ составило 4,57%, а в тангенциальном $\alpha_{t\max} = 11,2\%$.

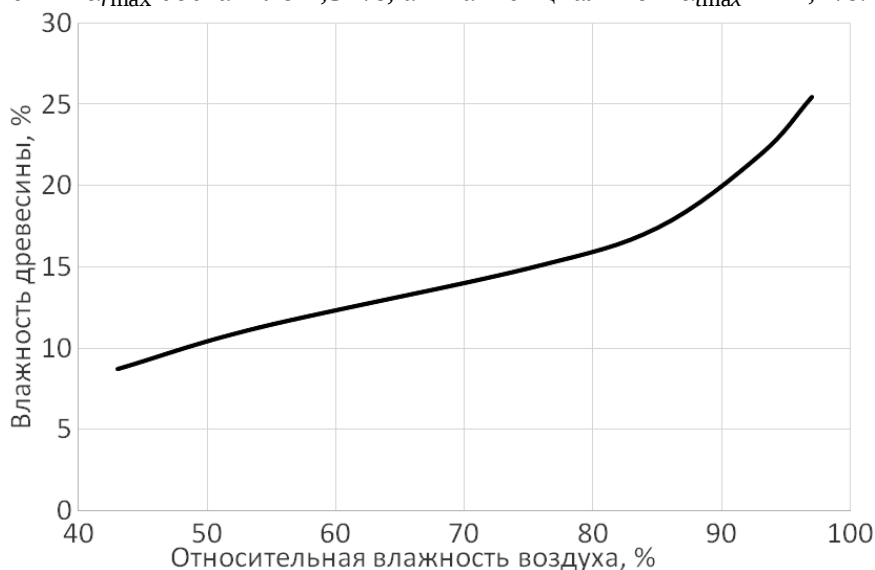


Рис. 1. Изотерма сорбции древесины сосны

Как и ожидалось, разбухание образцов при ступенчатом увеличении их влажности проходило практически по линейному закону, что отражает

рисунок 2. При относительной влажности воздуха в шестом эксикаторе равной 97% разбухание образцов в радиальном направлении α_r оказалось равным 4,42%, а тангенциальном $\alpha_t = 9,51\%$. Влажность древесины, при которой разбухание достигнет максимума, можно определить с помощью экстраполяции полученных зависимостей. Равенство $\alpha_r = \alpha_{r\max} = 4,57\%$ достигается при небольшом увеличении влажности образцов до 26,2%. При этой влажности величина α_t также немного увеличится до уровня 9,69%. Для того, чтобы достигнуть равенства $\alpha_t = \alpha_{t\max} = 11,2\%$ влажность образцов должна быть повышена до 30,3%.

Полученный результат ясно показывает, что величины α_r и α_t достигают максимальных значений $\alpha_{r\max}$ и $\alpha_{t\max}$ при существенно различных значениях влажности древесины. Оказалось, что в процессе увлажнения разбухание древесины сосны в радиальном направлении прекращается заметно раньше, чем в тангенциальном, то есть при более низкой влажности.



Рис. 2. Зависимость разбухания в тангенциальном (Т) и радиальном (Р) направлениях древесины сосны от влажности.

На рисунке 3 представлены полученные зависимости продольного, радиального, тангенциального и объемного разбухания древесины сосны от влажности.

Из-за того, что радиальное разбухание прекращается раньше, чем тангенциальное, полученная зависимость объемного разбухания от влажности имеет вид кусочно-линейной функции. Эта особенность разбухания древесины сосны учтена при определении коэффициента разбухания в радиальном направлении K_{ar} (табл. 1).

Табл. 2. Коэффициенты разбухания древесины сосны

Разбухание	Коэффициент разбухания $K_{an}, \%/ \%$	
	эксперимент	по Б.Н. Уголеву [3]
вдоль волокон	0,013	0,02
в радиальном направлении	0,174 (0,150*)	0,18
в тангенциальном направлении	0,370	0,31
объемное	0,557 (0,553*)	0,51

* коэффициент получен, если принять $W = 30,3\%$

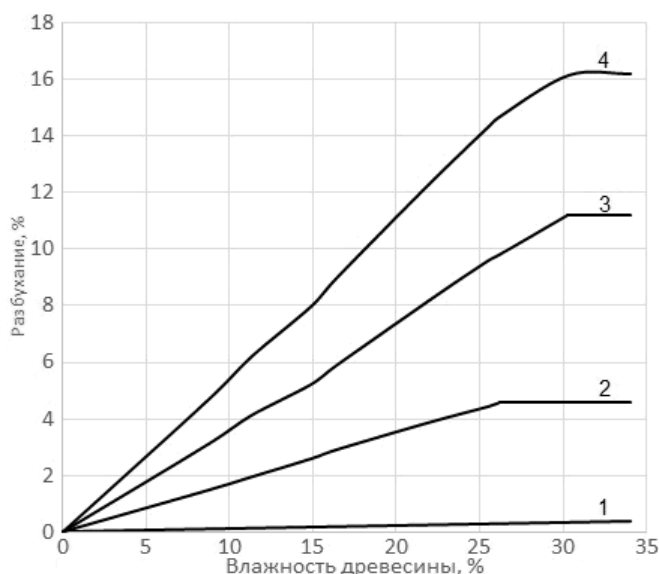


Рис. 3. Зависимость продольного (1), радиального (2), тангенциального (3) и объемного (4) разбухания древесины сосны от влажности

Полученные результаты позволяют заключить, что учет рассмотренных выше особенностей разбухания древесины сосны позволит повысить точность расчетов коэффициентов разбухания. В дальнейшем предполагается провести аналогичные исследования разбухания древесины других пород.

Список литературы

1. ГОСТ 16483.35-88 Древесина. Метод определения разбухания. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 6 с.
2. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 296 с.
3. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. – М.: МГУЛ, 2001. – 333 с.
4. Шуханьова И., Горбачева Г.А. Влияние термической обработки на плотность и разбухание древесины бука лесного (*Fagus sylvatica* L.) // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2012. – №2. – С. 154-158.

References

1. GOST 16483.35-88 Wood. Method for determining swelling. – M.: Publ. house of standards, 1999. – 6 p.
2. Borovikov A.M., Ugolev B.N. Handbook of wood. – M.: Forestry industry, 1989. – 296p.
3. Ugolev B.N. Wood science with the basics of forest commodity science. – M.: MSUF, 2001. – 333 p.
4. Shukhanyova I., Gorbacheva G.A. Effect of heat treatment on the density and swelling of forest beech wood (*Fagus sylvatica* L.) // Bulletin of the Moscow State Forest University – Forestry Bulletin. 2012, no. 2, pp. 154-158.

Скуратов Николай Владимирович –
кандидат технических наук, доцент

skuratov@bmstu.ru

Skuratov Nikolay Vladimirovich – candidate
of technical sciences, associate professor

Received 29.04.2025