



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.047

П.В. Билей, И.А. Соколовский

Национальный лесотехнический университет (НЛТУ) Украины

Билей Петр Васильевич родился в 1940 г., окончил в 1969 г. Львовский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий сушки и защиты древесины НЛТУ Украины, заслуженный деятель науки и техники Украины, академик Лесной академии наук Украины. Имеет 290 печатных работ в области лесоведения, тепловой обработки, сушки и защиты древесины.

E-mail: tf_nltu@ukr.net



Соколовский Игорь Андреевич родился в 1976 г., окончил Украинский государственный лесотехнический университет в 1998 г., кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности НЛТУ Украины. Имеет 60 печатных работ в области тепловой обработки и сушки древесины и безопасности жизнедеятельности.

E-mail: tf_nltu@ukr.net



НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЯ, ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ И СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ, ПРОВОДИМЫХ В НЛТУ УКРАИНЫ

Приведены результаты экспериментальных исследований физических свойств древесины: плотности, усушки, распределения влажности. На примере буковой древесины показан весь комплекс проведенных исследований от свойств древесины до качества изделий из нее. Результаты исследований обработаны в виде критериальной зависимости. Описан энергетический аспект тепловой обработки и сушки древесины.

Ключевые слова: лесоведение, влажность, плотность, усушка древесины, тепловая обработка, сушка, коэффициенты влагообмена, влагопроводимости, расход тепла.

Тепловая обработка и сушка древесины являются сложными энергоемкими теплообменными процессами, которые характеризуются внешним тепло- и влагообменом, внутренним тепло- и влагопереносом. Эти процессы непосредственно зависят от анатомического строения и физико-механических свойств древесины, а также от параметров окружающей среды. Прежде чем приступить к исследованию процессов тепловой обработки и сушки, необходимо изучить свойства древесины, которые, в свою очередь, зависят (для каждой отдельно взятой породы) от условий произрастания (ареал, высота над уровнем моря), возраста, класса бонитета и других таксационных характеристик. При этом, во время тепловой обработки и сушки изменяются как физико-механические свойства древесины, так и параметры (свойства) обрабатываемой среды. Таким образом, исследования процессов тепловой обработки и сушки древесины должны сопровождаться и исследованиями в области технического лесоведения, а также аэродинамических и температурно-влажностных характеристик обрабатываемой среды.

Актуальность поставленной выше проблемы рассмотрим на примере буковой древесины. Как известно [1–4], древесина бука имеет значительный диапазон колебаний показателей физико-механических свойств даже в свежесрубленном состоянии. Бук относится к древесным породам со средней плотностью от 540 до 740 кг/м³. (К этой же категории отнесены такие породы, как дуб, ильм, берест, вяз, явор, клен, ясень, лиственница). По результатам исследований, проведенных в НЛТУ Украины, установлено, что условная (базисная) плотность древесины бука колеблется от 540 до 730 кг/м³, что охватывает почти весь диапазон древесных пород со средней плотностью. Твердость бука изменяется в пределах от 36,3 до 51,8 МПа, влажность, измеренная по диаметру и высоте ствола, свежесрубленного дерева – от 54 до 129 %. Если учесть, что в свежесрубленном стволе есть накопившиеся в процессе роста внутренние напряжения, то можно утверждать, что

перед проведением исследований процессов тепловой обработки и сушки необходимо изучить физико-механические свойства, а именно: распределение влажности и наличие внутренних напряжений, плотность, усушку (объемная, в тангенциальном и радиальном направлениях относительно волокон). Все эти данные нужны для создания физико-математических моделей процессов нагревания и сушки, проведения инженерных расчетов продолжительности процессов и расхода различных видов энергий на их осуществление.

За последнее десятилетие наиболее полно были исследованы различные аспекты технологии буковой древесины: режимы и технологии пропаривания буковых пиломатериалов и заготовок в целях их тепловой стерилизации или изменения цвета в широком диапазоне (от бежевого до темно-красно-коричневого); напряженно-деформативное состояние древесины бука в процессе сушки с учетом анизотропии; анализ результатов экспериментальных исследований технологических операций процесса сушки для их идентификации с физико-механическими моделями; закономерности влияния параметров процесса сушки на качество пиломатериалов и мебельных заготовок из древесины бука.

Последний аспект охватывал весь комплекс вопросов, от свойств древесины до качества изделий из нее. Была разработана методика исследования некоторых свойств (влажность, плотность, усушка) древесины бука, для чего были заложены пробные площади, определены их таксационные характеристики и сортиментная структура. У древесины, заготовленной из модельных деревьев, были определены перечисленные выше свойства. Затем из пиловочника были изготовлены пиломатериалы и заготовки, которые подвергали пропариванию и сушке. После сушки производили вторичную машинную обработку и проверяли качество заготовок для изделий из древесины бука. По результатам экспериментов получена физико-математическая модель – критериальное уравнение, которое связало условия проведения процесса сушки (режимные параметры агента сушки) и кинетические параметры этого процесса:

$$Nu' = f(Fo', Pe', Re, Fr), \quad (1)$$

где Nu' – массообменный критерий Нуссельта, $Nu' = \beta R / a'$;

β – коэффициент поверхностного влагообмена, см/с;

R – характерный размер – половина толщины пиломатериалов, см;

a' – коэффициент влагопроводности древесины, см²/с;

Fo' – массообменный критерий Фурье, $Fo' = a'\tau / R^2$;

τ – длительность процесса сушки, с;

Pe' – массообменный критерий Пекле, $Pe' = \nu R / a'$;

ν – скорость циркуляции агента сушки по штабелю пиломатериалов, м/с;

Re – критерий Рейнольдса, $Re = \nu l / \nu$;

l – характерный линейный размер, м;

ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с;

Fr – критерий Фруда, $Fr = \nu^2 / (lg)$;

g – ускорение, м/с².

В связи с тем, что влияние сил тяжести на процесс циркуляции очень мало, то критерий Фруда можно исключить из уравнения (1). Кроме того, можно исключить и массообменный критерий Пекле, значение которого очень велико ($Pe' = 2,15 \cdot 10^8$). Тогда уравнение (1) можно записать следующим образом:

$$Nu' = f(Fo', Re) \quad (2)$$

или

$$\frac{\beta R}{a'} = A \left[\left(\frac{a'\tau}{R^2} \right)^n \left(\frac{\nu l}{\nu} \right)^m \right]. \quad (3)$$

Коэффициент влагообмена β находится из экспериментальных данных, когда известна скорость сушки $dW/d\tau$ и градиент поверхностной влажности, т. е. распределение влажности древесины в поверхностной зоне ($W_{пов} - W_p$). Коэффициент влагопроводности a' тоже вычисляется из экспериментальных данных при известной скорости сушки $dW/d\tau$ и распределении влажности по толщине материала dW/dx . Коэффициент кинематической вязкости ν определяется параметрами агента сушки, его температурой t_c и относительной влажностью ϕ . Таким образом, решив уравнение (3) для заданных характеристик

процесса сушки, можно определить влияние на процесс сушки кинетических параметров и условий его проведения.

Режимы сушки проверяли на безопасность с помощью массообменного критерия Кирпичева:

$$K i'_m = \frac{dW}{d\tau} \frac{R^2}{a'W_{\max}}, \quad (4)$$

где W_{\max} – максимальная влажность древесины, % абс.

В результате проведенного исследования получены следующие данные для древесины бука: плотность в свежесрубленном состоянии $\rho_w = 932 \text{ кг/м}^3$, в абс. сухом состоянии $\rho_0 = 656 \text{ кг/м}^3$, условная (базисная) плотность $\rho_y = 545 \text{ кг/м}^3$; средняя влажность по высоте ствола возрасла на 19 %; незначительно увеличилась (до 5 %) влажность древесины при изменении высоты над уровнем моря от 350 до 550 м.

Получены также средние значения кинетических параметров процесса сушки: коэффициент влагопроводности $\bar{a}' = 2,92 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$, коэффициент влагоотдачи $\bar{\beta} = 11,75 \text{ см}^2/\text{с}$, коэффициент сушки $\bar{K} = 0,81 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$, а также массообменные критерии Фурье, Нуссельта, Пекле и Кирпичева.

Таким образом, на примере буковых пиломатериалов в критериальном уравнении обобщены результаты исследования закономерностей влияния условий проведения процесса сушки на его интенсивность.

Перед проведением исследования процессов тепловой обработки и сушки были определены физические свойства сосны и дуба. Для опытных образцов древесины сосны, заготовленной в Украине, получены следующие данные: плотность в свежесрубленном состоянии $\rho_w = 687 \text{ кг/м}^3$, в абс. сухом состоянии $\rho_0 = 483 \text{ кг/м}^3$, условная (базисная) плотность $\rho_y = 413 \text{ кг/м}^3$; полная усушка: объемная $\beta_v = 13,65 \%$, в тангенциальном направлении относительно волокон $\beta_t = 9,1 \%$, в радиальном направлении $\beta_r = 4,25 \%$. Аналогично была изучена древесина дуба: $\rho_w = 961 \text{ кг/м}^3$, $\rho_0 = 642 \text{ кг/м}^3$, $\rho_y = 553 \text{ кг/м}^3$, $\beta_v = 14,73 \%$, $\beta_t = 9,3 \%$, $\beta_r = 5,3 \%$. Эти данные используются в производстве пиломатериалов и заготовок, в процессах нагревания и сушки.

Другим направлением научных исследований в области тепловой обработки и сушки древесины является создание ресурсо- и энергосберегающих технологий этих процессов. В связи с массовым переходом котельных установок от использования газообразного (природный газ) и твердого (каменный уголь) топлива на древесные отходы большинство предприятий стали потреблять тепловую энергию от малых теплогенераторов – автономных источников тепловой энергии. Такая тенденция имеет ряд положительных аспектов: во-первых, используется сырье, для которого не нужно продумывать схемы и оплачивать его утилизацию; во-вторых, отходы древесины можно перерабатывать на топливные брикеты или топливные гранулы, которые пользуются широким спросом не только на внутреннем, но и на внешнем рынке; в-третьих, улучшается экологическая ситуация, потому что при сжигании древесного топлива количество выделяемой в атмосферу двуокиси углерода (CO_2) равно количеству CO_2 , которое поглощает древесина во время роста.

С участием ученых НЛТУ были разработаны, испытаны и прошли промышленную проверку агрегаты для производства тепловой энергии, которые включают в себя котел для сжигания топлива (отходы из древесины), искрогаситель и камеру для очистки топочных газов от сажи и дыма, смесительную камеру. Такие схемы тепловых агрегатов применяются для сушки измельченной древесины. Для сушки шпона, пиломатериалов и заготовок дополнительно устанавливаются приспособления для полной очистки дымовых газов.

В основу расчета этих агрегатов положено уравнение теплового баланса, которое является отражением закона сохранения и превращения энергии:

$$Q_{\Sigma} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (5)$$

где Q_1 – полезный расход тепловой энергии, кВт;

Q_2 – потери теплоты с основным теплоносителем, который выходит из установки (конденсат, обработанные газы и т.п.), кВт;

Q_3 – потери теплоты с промежуточным теплоносителем, в частности, в сушильных установках с отработанным агентом сушки; кВт;

Q_4 – потери теплоты от неполноты (физической и химической) сгорания топлива, кВт;

Q_5 – потери теплоты от вытекания теплоносителя в пределах балансовой зоны установки, кВт;

Q_6 – потери теплоты от ограждений установки, кВт.

Если отнесем полезный расход теплоты к суммарной тепловой мощности, то получим коэффициент полезного действия, например, сушильного комплекса – установки и ее теплового агрегата:

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_{\Sigma}}. \quad (6)$$

Зная суммарную тепловую мощность, можно также определить расход топлива сушильным комплексом:

$$B = \frac{Q_{\Sigma}}{Q_n \eta_m}, \quad (7)$$

где Q_n – нижняя теплота сгорания топлива (для древесных отходов зависит от относительной влажности древесины), кДж/кг;

η_m – коэффициент полезного действия теплового агрегата.

Таким образом, для обеспечения максимально возможной интенсивности процессов тепловой обработки и сушки древесины и высокого качества высушиваемого материала необходим комплексный подход, учитывающий энергетические затраты, требования экологии и охраны окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Білей П.В. Теоретичні основи теплової обробки і сушіння деревини: моногр. Коломия: Вік, 2005. 364 с.
2. Білей П.В., Павлюст В.М. Сушіння та захист деревини. Львів: Видавництво «Кольорове небо», 2008. 312 с.
3. Керівні технічні матеріали з технології камерного сушіння пиломатеріалів / П.В. Білей, І.А. Соколовський, В.М. Павлюст, Є.П. Кунинець / Ужгород: Карпати, 2010. 140 с.
4. Теорія теплової обробки деревини / Є.П. Кунинець, І.А. Соколовський, Л.Я. Сорока, Я.Д. Синітович: моногр. Львів: ЗУКЦ, 2012. 200 с.

Поступила 24.12.12

P.V. Bilei, I.A. Sokolovsky
National Forestry University of Ukraine

Research Trends of the National Forestry University of Ukraine Within Wood Science, Heat Treatment and Wood Drying

The article presents the experimental study results on the physical properties of wood: density, shrinkage and moisture distribution. On the example of beech wood we show the full range of studies conducted: from the properties of the wood to the quality of its products. The research results were processed in the form of criterion dependence. The energy aspect of heat treatment and wood drying is described.

Key words: wood science, moisture content, density, wood shrinkage, heat treatment, drying, moisture transfer coefficient, moisture conduction, heat consumption.