

Гороховский А.Г., Шишкина Е.Е., Гороховский А.А.
Петров М.С., Баженов А.А. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)
elenashishkina@yandex.ru

ЭФФЕКТИВНЫЕ РЕЖИМЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

EFFECTIVE WAYS OF LOW TEMPERATURE TIMBER DRYING

В промышленности до настоящего времени используются режимы, регламентированные «Руководящими техническими материалами по технологии камерной сушки древесины» (РТМ) 1985 года издания [1]. Они подразделяются на режимы низкотемпературного процесса (мягкие, нормальные и форсированные), а также высокотемпературные режимы. Высокотемпературные и форсированные режимы крайне негативно влияют на физико-механические свойства древесины и в настоящее время не рекомендованы к применению [2, 3]. Режимы предусматривают ступенчатое изменение параметров воздуха в камере. Влажность древесины, при которой переходят со ступени на ступень, называют переходной. Построение режимов различно для древесины хвойных и лиственных пород. Для хвойных пород регламентируются значения переходной влажности 35% и 25% (для мягких режимов 35% и 20%), для лиственных пород 30% и 20%.

Интенсивность испарения влаги при сушке в среде заданного состояния характеризуется жесткостью режима. Жесткость режима возрастает с увеличением психрометрической разности.

Структура нормативного режима, соответствующая РТМ, приведена на рис.1.

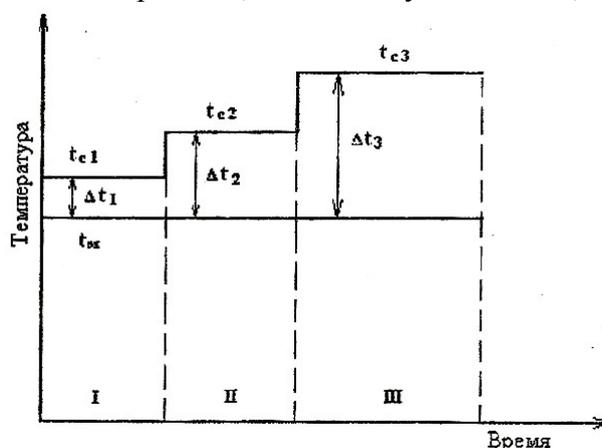


Рисунок 1 – Структура нормативных режимов сушки пиломатериалов:

I, II, III – ступени процесса сушки;

t_{c1} , t_{c2} , t_{c3} – температура по сухому термометру на соответствующей ступени;

t_m – температура по смоченному термометру

Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 – психрометрическая разность на соответствующей ступени.

Л.Н.Кротов [4] пишет, что анализ нормативных режимов сушки пиломатериалов в камерах как периодического, так и непрерывного действия дает основания считать, что с точки зрения продолжительности процесса, сохранения целостности материала и

энергетических затрат эти режимы не являются оптимальными. В этой связи им была предложена другая структура режима, при которой температура агента сушки по сухому термометру не изменяется на протяжении всего процесса, а температура по смоченному термометру постоянно снижается, и к концу сушки психрометрическая разность достигает наибольшей величины. Структура режимов сушки Л.Н.Кротова приведена на рисунке 2.

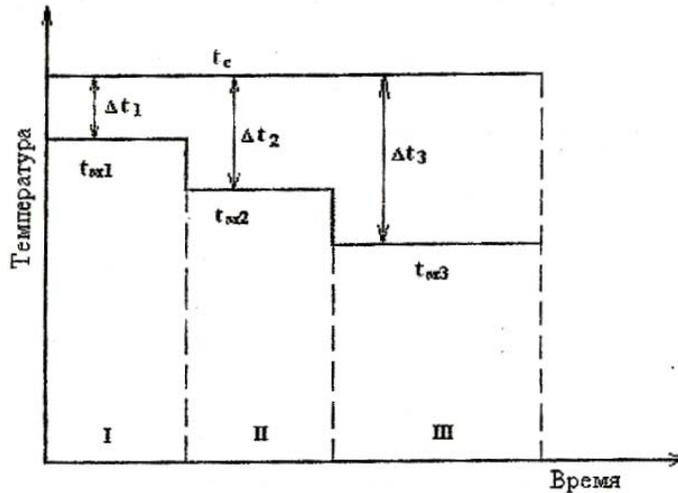


Рисунок 2 – Структура эффективных режимов сушки Л.Н.Кротова

Известно, что для конвективной сушки основным действующим фактором является влагопроводность. Порода древесины существенно влияет на ее влагопроводность. Объясняется это тем, что древесина разных пород имеет различную плотность. При повышении плотности древесины ее влагопроводность уменьшается в результате уменьшения в материале относительного объема капилляров. Температура еще более существенно влияет на влагопроводность древесины. При повышении температуры коэффициент влагопроводности резко возрастает. Это объясняется, с одной стороны, увеличением коэффициента диффузии водяного пара, а с другой стороны, снижением вязкости жидкой влаги в капиллярах. Такое влияние требует поддерживать температуру по сухому термометру, максимально возможную для данной категории режимов.

Эксперименты подтвердили высокую эффективность структуры режима сушки Л.Н. Кротова. Так, продолжительность процесса сушки лиственных пиломатериалов по сравнению с таковой при традиционных режимах снижается для тонких сортиментов на 10-15 %, а для более толстых на 10-25 %. Во всех случаях уменьшаются трещины и коробление [4].

В настоящее время, в период разукрупнения деревообрабатывающей промышленности, на предприятиях в качестве теплоносителя все чаще стали применять горячую воду при атмосферном давлении, применение которой делает ограниченным использование существующих режимов сушки пиломатериалов, так как они построены с учетом применения пара в качестве теплоносителя. Из низкотемпературных режимов сушки только мягкие предусматривают температуру ниже 80 °С на протяжении процесса, а уже в нормальных режимах температура агента сушки доходит до 100, а иногда даже превышает 100 °С. Применение форсированных, а тем более высокотемпературных режимов сушки не представляется возможным. В связи с этим все более остро сто-

ит проблема разработки новых эффективных низкотемпературных режимов сушки пиломатериалов.

Для управления сушильной камерой в процессе сушки, как правило, применяются автоматические регуляторы процесса, которые способны изменять параметры агента сушки по любому плавному закону.

Нами были исследованы режимы сушки бесступенчатой структуры, построенные на основе теории влагопроводности древесины и влагообмена ее с окружающей средой.

Вычислительный эксперимент проводился с использованием специально разработанного программного обеспечения (ПО) в вычислительной среде Mathcad [5]. Данное ПО позволяет решать уравнение влагопроводности древесины при изотермических условиях и ГУ III рода для влагообмена на поверхности древесины [6].

Исходными данными для расчета во времени полей влагосодержания у данной программы являются:

- порода древесины;
- толщина доски;
- параметры закона изменения равновесной влажности в функции средней влажности пиломатериалов;
- шаг по толщине пиломатериала;
- шаг по времени;
- температура агента сушки;
- характеристика массопереноса:
 - коэффициент влагопроводности a_m ;
 - коэффициент влагообмена, α_m .

Выходными параметрами программы являются:

- расчетные значения влажности древесины в каждой из n -точек по сечению доски в любой интересующий нас момент времени;
- средняя влажность по сечению доски (также в функции времени);
- равновесная влажность агента сушки в заданный момент времени.

В конкретной версии программы количество точек по сечению, в которых определялась влажность древесины, принималось $n = 9$, что предполагает дифференциацию сечения доски на 8 интервалов.

По результатам расчетов построены двухмерные графики (с использованием встроенных процедур Mathcad – 14).

При исследовании полей влагосодержания во время сушки была использована структура режимов, рекомендованная Л.Н. Кротовым (рис.2), со следующими изменениями:

- температура агента сушки по сухому термометру принималась равной $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $75\text{ }^{\circ}\text{C}$, что связано с применением в качестве теплоносителя горячей воды.
- степень насыщенности обрабатываемой среды изменяется не ступенчато, а плавно, что в большей степени соответствует современным принципам управления сушкой. Кроме того, для такого инерционного объекта как лесосушильная камера ступенчатое изменение какого-либо параметра возможно лишь чисто теоретически, так как на месте гипотетической ступени возникает масштабный переходный процесс, продолжающийся, как правило, несколько часов;

• зависимость равновесной влажности агента сушки от влажности древесины описывается выражением [7]:

$$W_p = W_{pk} + (W_{pn} - W_{pk}) \cdot e^{-e^{b_0 + b_1 W_{dp}}}, \quad (1)$$

где W_{pk} – равновесная влажность среды в конце сушки (соответствует III ступени нормативного режима);

W_{pn} – равновесная влажность в начале сушки (соответствует I ступени нормативного режима);

b_0, b_1 – коэффициенты уравнения.

Выражение (1) представляет собой уравнение на базе функции желательности [7, 8].

Некоторые результаты вычислительного эксперимента графически интерпретированы рис. 3 – 6.

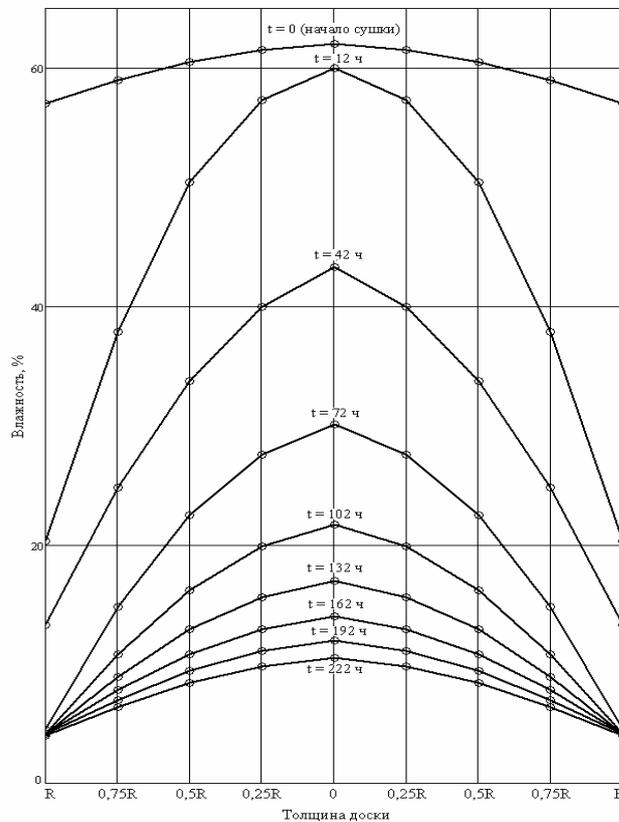


Рисунок 3 – Распределение влажности по толщине доски в различные моменты времени сушки (порода древесины – сосна; толщина доски – 40 мм; температура – 70 °С; начальная влажность (W_n) – 60%; конечная влажность (W_k) – 8%; равновесная влажность: начальная – 15%, конечная – 4%)

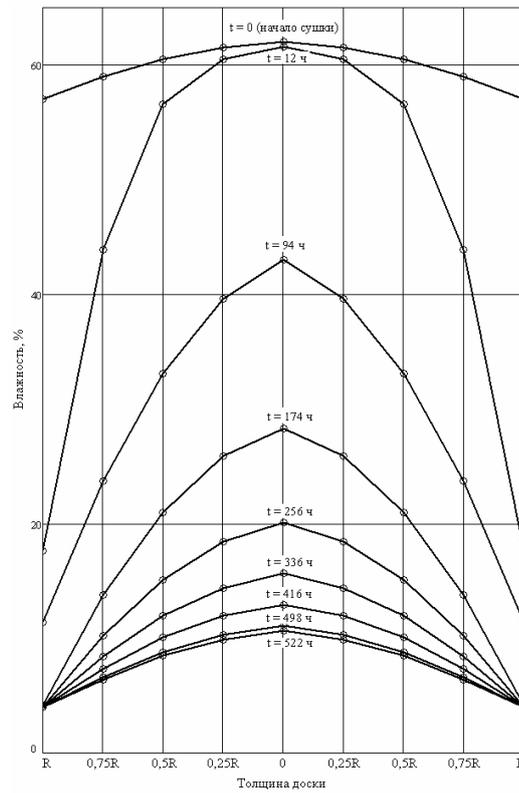


Рисунок 4 – Распределение влажности по толщине доски в различные моменты времени сушки (порода древесины – лиственница; толщина доски – 40 мм; температура – 70°C; начальная влажность (W_n) – 60%; конечная влажность (W_k) – 8%; равновесная влажность: начальная – 15%, конечная – 4%)

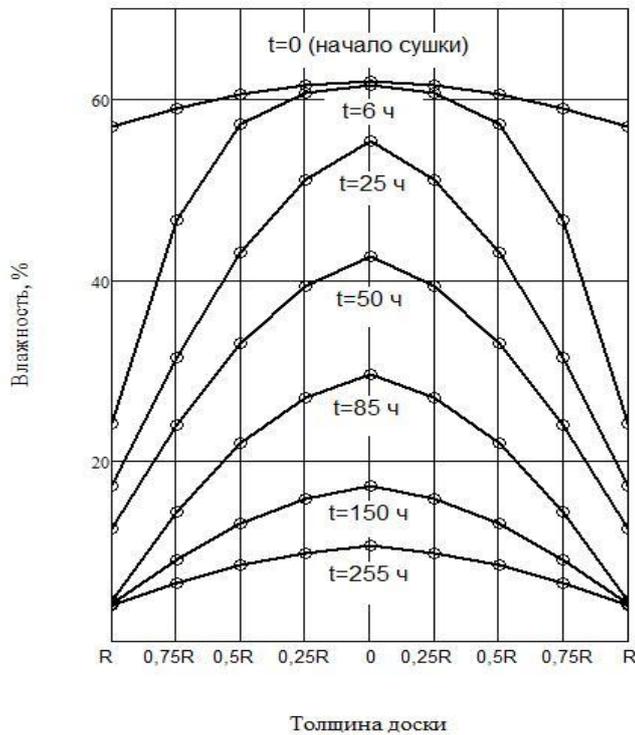


Рисунок 5 – Распределение влажности по толщине доски в различные моменты времени сушки (порода древесины – береза; толщина доски – 40 мм; температура - 75°C; начальная влажность (W_n) – 60%; конечная влажность (W_k) – 8%; равновесная влажность: начальная – 15%; конечная – 4%)

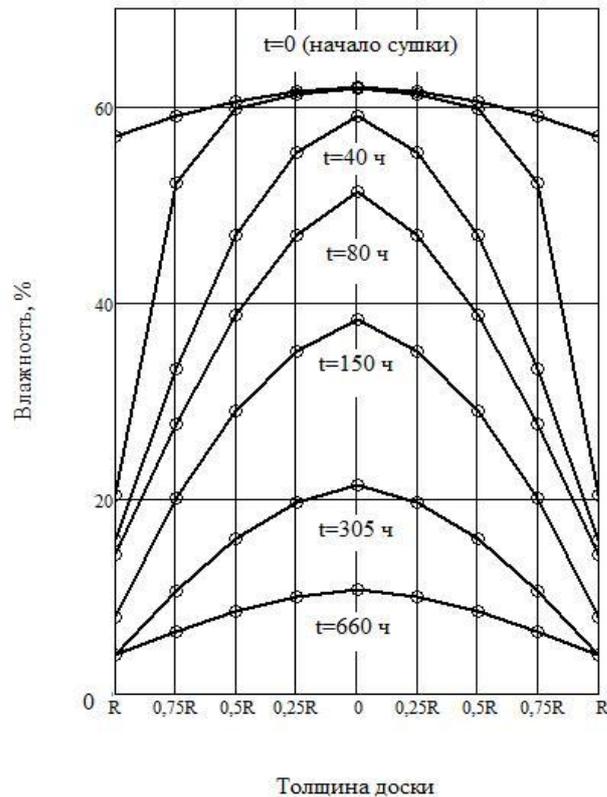


Рисунок 6 – Распределение влажности по толщине доски в различные моменты времени сушки (порода древесины – дуб; толщина доски – 40 мм; температура - 70°C; начальная влажность (W_n) – 60%; конечная влажность (W_k) – 8%; равновесная влажность: начальная – 15%; конечная – 4%)

На основании проведенного вычислительного эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. Регулирование параметров агента сушки по плавному закону изменения равновесной влажности на базе функции желательности позволяет высушивать древесину при использовании современных средств автоматизации процесса сушки.

2. Кривые распределения влажности по толщине доски в различные моменты времени сушки показывают, что незначительное увеличение температуры с 70 до 75 при прочих равных условиях дает сокращение времени сушки порядка 20 %, при этом конечное распределение влажности по сечению доски примерно одинаково в обоих случаях.

3. Для выяснения влияния интенсивности испарения влаги с поверхности сортамента и необходимости проведения промежуточных влаготеплообработок необходимо провести дополнительные исследования развития внутренних напряжений в доске во время сушки.

4. Применение бесступенчатых режимов дает возможность эффективно управлять равновесной влажностью древесины во время сушки путем регулирования относительной влажности воздуха в камере при постоянной его температуре, что более благоприятно сказывается на физико-механических свойствах древесины, тем более, когда речь идет о сушке ценных пород древесины [2].

Библиографический список

1. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки древесины [Текст] / ЦНИИМОД. Архангельск: «Правда Севера», 1985.

2. Кречетов, И. В. Сушка древесины [Текст] / И. В. Кречетов / М.: Лесная промышленность, 1977.
3. Гороховский, А. Г. Качество сушки пиломатериалов [Текст] / А. Г. Гороховский, Е. Е. Шишкина / Екатеринбург: УГЛТУ, 2008.
4. Кротов, Л. Н. Рациональная структура режимов сушки пиломатериалов [Текст] / Л. Н. Кротов / Деревообрабатывающая промышленность, 1987. № 12. С. 14 – 15.
5. Кирьянов, Д.В. Mathcad – 12 [Текст] / Д.В. Кирьянов. СПб.: БХВ – Петербург, 2005.
6. Шубин, Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины [Текст] / Г.С Шубин. М.: Лесн. пром-сть, 1990.
7. Гороховский, А.Г. Технология сушки пиломатериалов на основе моделирования и оптимизации процессов тепломассопереноса в древесине [Текст]: автореф. ... д-ра техн. наук / Гороховский Александр Григорьевич. СПб, 2008.
8. Пижурин, А. А. Основы моделирования и оптимизации процессов деревообработки [Текст] / А. А. Пижурин, М. С. Розенбит / М.: Лесная промышленность, 1988.

Денисов С.В., Русаков Д.С. (БрГУ, г. Братск, РФ) tdo@brstu.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ КЛЕЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ
ACETYLATED GLUTEN COMPOSITIONS ADHESIVE
PROPERTIES RESEARCH**

Молекулярно-адсорбционная теория рассматривает адгезию как поверхностный процесс. В результате сил притяжения между поверхностными атомами и молекулами образуется прочная связь соединяемых веществ. Согласно этой теории, чем больше площадь контакта адгезива (клеящего вещества) и субстрата (подложки), тем выше прочность клеевого соединения - при условии смачивания им древесины. Известно, что древесину хорошо смачивают только те жидкости, у которых поверхностное натяжение меньше, чем у самой древесины.

Смачивание - важный момент для качественного склеивания, способствующий увеличению площади контакта взаимодействующих клеящего вещества и подложки в результате адсорбции. При склеивании древесины традиционными для деревообработки клеями наблюдается как физическая, так и химическая адсорбция.

Одно из условий получения качественного шпона – высокая влажность фанерного сырья, но изготовленный на лущильных станках шпон сразу должен быть подвергнут сушке для предотвращения биологического заражения древесины. Необходимость сушки шпона диктуется также самой технологией изготовления фанеры и предъявляемых к ней качественными характеристиками.

Влажность шпона, равно как и древесины, обусловлена наличием связанной влаги в стенках древесных клеток и свободной влаги в их полостях. Состояние древесины, при котором в ней содержится максимальное количество связанной влаги и не содержится свободной, называется точкой насыщения волокна. Для различных пород древесины это состояние отвечает практически одинаковой влажности, равной 30 %.