

УДК 65.011.56:630*812.14

UDK УДК 65.011.56:630*812.14

**ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА
КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ ТЕРМОХИМИ-
ЧЕСКИ ОБРАБОТАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

**BASES OF MODELLING OF PROCESS OF
CONVECTIVE DRYING OF THERMOCHEM-
ICAL PROCESSED WOOD**

Платонов Алексей Дмитриевич
д.т.н., доцент
*Воронежская государственная лесотехническая
академия, Воронеж, Россия*

Platonov Aleksey Dmitrievich
Dr.Sci.Tech., associate professor
*Voronezh State Academy of Forestry and Technolo-
gies, Voronezh, Russia*

Рассмотрены процессы тепломассообмена термо-
химически обработанной древесины, как объекта
для моделирования технологии конвективной
сушки древесины трудносохнущих пород

Processes of heat-mass exchange the thermo chemical
processed wood, as object for modeling technology of
convectonal dryings of difficultly drying breeds of
wood are considered

Ключевые слова: МОДЕЛИРОВАНИЕ, СУШКА
ДРЕВЕСИНЫ, ПРОЦЕССЫ ТЕПЛОМАССО-
ОБМЕНА, ОБЪЕКТ, ТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ
ОБРАБОТКА

Keywords: MODELLING, DRYING OF WOOD,
PROCESSES HEAT-MASS EXCHANGE, OBJECT,
THERMOCHEMICAL PROCESSING

Сушка древесины представляет собой очень сложный процесс, закономерности которого определяются одновременным протеканием ряда физических явлений, принадлежащих к классу явлений переноса. Главнейшие из них: поглощение тепла поверхностью материала (теплообмен); перемещение тепла по материалу (теплопроводность); перемещение влаги по материалу (влагоперенос) испарение влаги с поверхности материала (влагообмен).

Конвективная сушка характеризуется различной интенсивностью перемещения влаги внутри материала (влагопроводность) и последующего ее испарения с поверхности (влагообмен). Главная трудность сушильного процесса заключается в перемещении влаги из средней зоны сортимента.

Эффективность конвективной сушки во многом определяется возможностью оперативного управления этим процессом и поддержания режимных параметров на заданном уровне. В основе любой системы управления лежит математическое описание процесса. Рассмотрим процесс конвективной сушки, как объект возможного моделирования и математического описания сложных физических явлений тепломассопереноса.

Единственный используемый в настоящее время технический прием, стимулирующий ток влаги к поверхности материала заключается в дополнительном прогреве материала. С повышением температуры диффузия влаги в древесине ускоряется. Температура относится к факторам, влияние которых на влагопроводность наиболее существенно.

Подвод к материалу тепла в процессе конвективной сушки осуществляется влажным воздухом при $\varphi < 1$ и коэффициенте теплообмена $\alpha < \infty$. При этом температура поверхности материала будет ниже температуры среды на величину Δt (рис. 1, а), которая и определяет интенсивность теплообмена между средой и телом.

При конвективной сушке поверхностные слои древесины пересыхают и довольно быстро достигают равновесной влажности. Температура поверхности материала все время повышается и при испарении гигроскопической влаги постепенно приближается к температуре среды. Величина Δt уменьшается и, соответственно, интенсивность теплообмена снижается (кривая 2, рис. 1, а) и соответственно возрастает продолжительность сушки. Очевидно, чтобы сократить общую продолжительность сушки, необходимо избавиться от пассивных периодов, соответствующих минимальным значениям Δt [2]. Для этого необходимо уменьшить интенсивность испарения влаги с поверхности материала и, тем самым, поддерживать более высокую влажность поверхности материала в процессе сушки. Более высокая влажность поверхности будет иметь температуру близкую к температуре смоченного термометра. Поэтому на протяжении всего процесса сушки будет сохраняться большой перепад температур, а, следовательно, и более интенсивный теплообмен. Для достижения большего перепада температур, сохранения более интенсивного теплообмена при конвективной сушке можно путем предварительной химической обработки древесины растворами гигроскопических веществ [3].

Целью исследования было изучение распределения температурных полей в материале при нестационарном теплообмене после химической обработки позволит реально с достаточной точностью производить расчет затрат тепловой энергии на сушку, а также произвести корректировку существующих режимов.

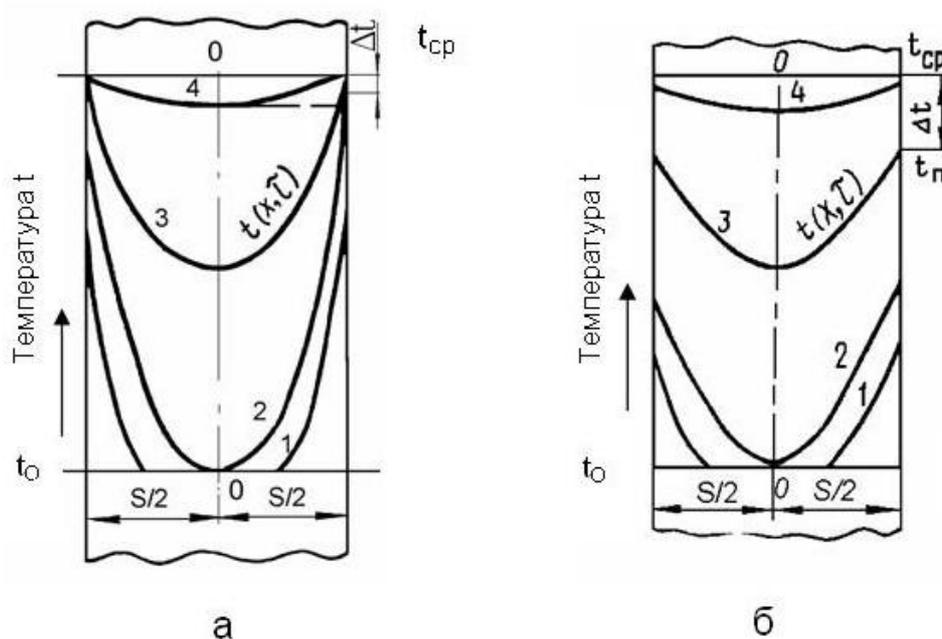


Рисунок 1. Характер кривых последовательного распределения температур при теплообмене плоского тела в условиях регулярного режима: а – конвективная сушка; б – конвективная сушка после предварительной химической обработки; 1, 2 – кривые распределения температур при удалении свободной влаги; 3, 4 – кривые распределения температур при удалении связанной влаги

Процесс конвективной сушки после предварительной химической обработки, характеризуется кривыми сушки и температуры. Исследование этих кривых проводилось на свежесрубленной древесине дуба, ясеня, бука и лиственницы. Начальная влажность древесины 55–80 %, размер заготовок 40x100x400 мм и 50x100x400 мм. Каждая заготовка была подвергнута химической обработке в течение 3 часов. После обработки торцы загото-

вок были покрыты двойным слоем нитроцеллюлозного лака, что позволило исключить испарение влаги с торцов.

Далее заготовки высушивали в сушильной камере низкотемпературным режимом в интервале температур 60–80 °С. Определение текущей влажности древесины в процессе сушки осуществлялось весовым методом.

Температура древесины в процессе сушки измерялась хромель-копелевыми термопарами. За пределами сушильной установки термопары изолировались кембриком. В качестве вторичного прибора был использован милливольтметр ППР6.

Для обеспечения требуемой точности замеров термопары заделывались в боковые кромки образцов. Для этого в боковых кромках были просверлены отверстия диаметром 2 мм при строгой фиксации вертикального положения образцов, куда термопары вставлялись вместе с сухими пробками, в их боковых прорезях. Погрешности, связанные с жесткостью нависающих термопар, исключались тем, что последние размещались в свободном, но строго фиксированном положении, а перед каждым опытом образцы взвешивались на весах с термопарами и без них.

Результаты исследования температурных полей и кривых влажности на примере древесины лиственницы представлены на рисунках 2–5. На рисунке 2 приведены кривые, характеризующие режим сушки на первой ступени: температура агента сушки t_c , температура смоченного термометра t_m , а также характер изменения температуры на поверхности натуральной древесины и пропитанной хлоридом натрия.

Установлено, что температура древесины в процессе сушки постоянно повышается. Температурный перепад между температурой среды и поверхностью не пропитанных заготовок к концу первой ступени оказался равным 0,2 °С (кривая 2, рис. 2). При таком небольшом перепаде температур интенсивность теплообмена мала, внутрь древесины подводится недостаточно тепла и процесс сушки замедляется, несмотря на то, что влаж-

ность внутри материала еще довольно высокая (рис. 3, а). Температурный перепад между температурой среды и поверхностью заготовок пропитанных хлоридом натрия к концу первой ступени составил 0,4 °С (кривая 3, рис. 2). Такая же закономерность распределения температур наблюдается на второй и третьей ступени, а также при сушке пиломатериалов других пород и толщин.

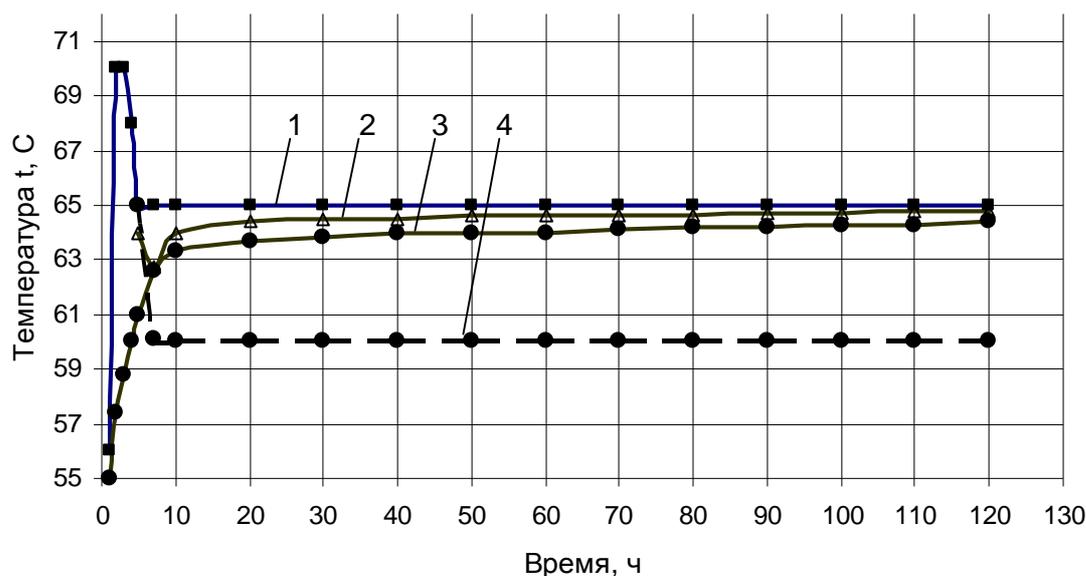


Рисунок 2. Температурные кривые конвективной сушки пиломатериалов из древесины лиственницы толщиной 40 мм на первой ступени:

1 – температура агента сушки t_c ; 2 – температура поверхности натуральной древесины; 3 – температура поверхности древесины пропитанной хлоридом натрия; 4 – температура смоченного термометра t_M

По данным Кротова [1], в процессе сушки максимальный перепад температуры по сечению доски, отмечается в начале каждой ступени и составляет 2–3 °С. В это время происходит интенсивное испарение влаги из материала. Указанный перепад сохраняется не продолжительное время. Затем он быстро уменьшается и к концу каждой ступени составляет 0,1–0,4 °С. В конце каждой ступени процесс сушки замедляется и испаре-

ние влаги происходит настолько медленно, что в отдельных случаях не фиксируется убыль веса пиломатериалов, несмотря на наличие психрометрической разности и градиента влажности.

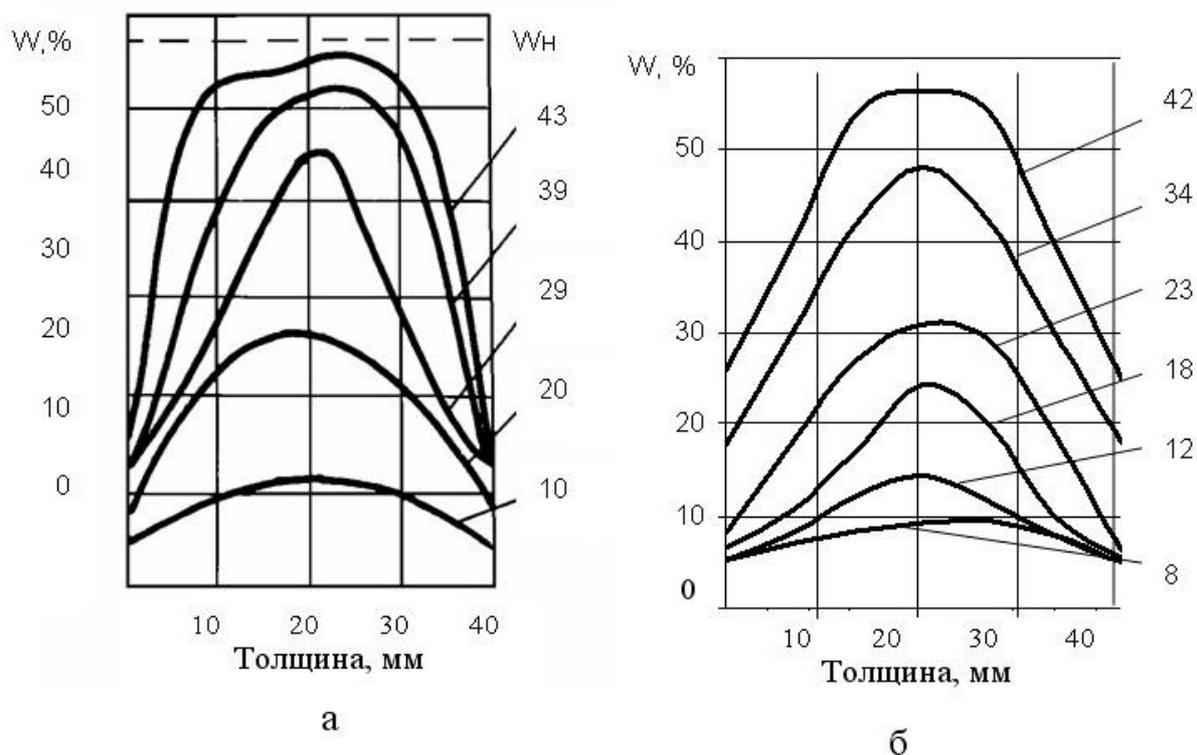


Рисунок 3. Кривые влажности конвективной сушки пиломатериалов из древесины лиственницы толщиной 40 мм:

а – необработанная древесина: б – обработанная древесина

На рисунке 3 представлены кривые влажности в процессе конвективной сушки натуральной древесины и после химической обработки. Древесина, обработанная гигроскопическим раствором, имеет более равномерное распределение влаги по сечению материала в процессе сушки. Это объясняется снижением интенсивности испарения влаги с поверхности пропитанной древесины. Что способствует более длительному сохранению перепада температур Δt между температурой поверхности материала и температурой среды по сравнению с натуральной древесиной.

Температурные кривые в древесине лиственницы в конце первой ступени представлены на рисунке 4. Из рисунка 4 хорошо видно, что в конце

первой ступени температурный перепад Δt между температурой среды и поверхностью пропитанной древесины составил $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, а с поверхностью непропитанной древесины $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Кроме того, пропитанный слой еще дополнительно понижает температуру древесины на $0,2\text{--}0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

«Оболочка», в отличие от натуральной древесины, содержит раствор хлорида натрия. Теплопроводность хлорида натрия примерно в два раза выше теплопроводности натуральной древесины. Поэтому «оболочка» обладает лучшей тепловой проводимостью, а, следовательно, и меньшим термическим сопротивлением R , чем натуральная древесина.

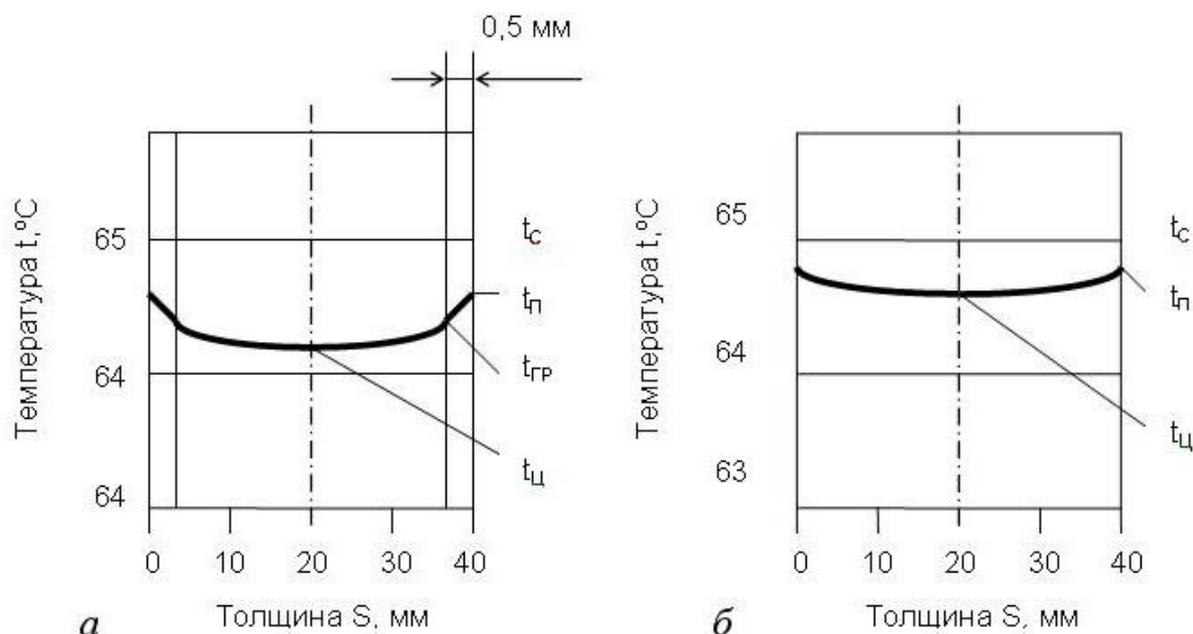


Рисунок 4. Температурный перепад по сечению пиломатериалов из древесины лиственницы в конце первой ступени:

a – с химической обработкой; *б* – без химической обработки; t_c – температура агента сушки; t_n – температура поверхности древесины; $t_{\text{ц}}$ – температура центра древесины; $t_{\text{ГР}}$ – температура на границе «оболочки» и натуральной древесины

Древесина является анизотропным материалом, т. е. обладает неодинаковыми свойствами в различных направлениях. Поэтому ее термическое сопротивление зависит также и от направления теплового потока. Обу-

словлено это тем, что 75–90 % клеточных стенок всех анатомических элементов ориентированы вдоль оси ствола дерева. Наибольшее термическое сопротивление древесины имеет в тангенциальном направлении, несколько меньшее в радиальном и самое малое вдоль волокон.

У лиственных пород с хорошо развитыми сердцевинными лучами различие термического сопротивления в радиальном и тангенциальном направлении достигает 12–15 %. Практически не наблюдается различий термического сопротивления в тангенциальном и радиальном направлении у древесины хвойных пород. Поскольку имеющиеся сердцевинные лучи узкие и однорядные.

На рисунке 5 показаны кривые термического сопротивления древесины пропитанной раствором хлорида натрия и без пропитки. Большое влияние на термическое сопротивление «оболочки» оказывает влажность.

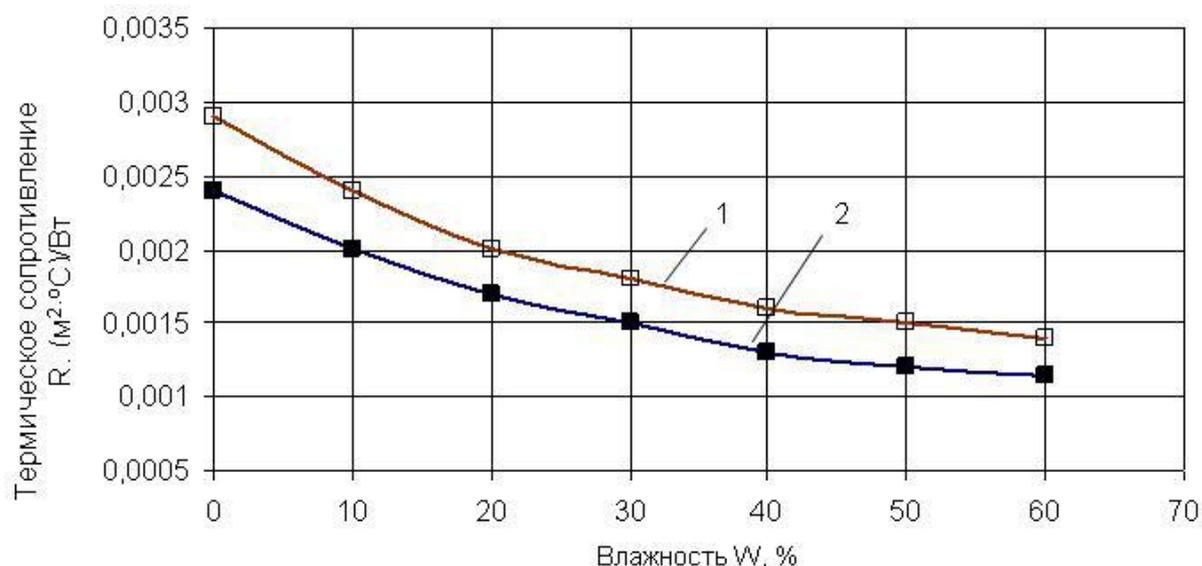


Рисунок 5. Термическое сопротивление древесины лиственницы в поперечном направлении при $t = 20 \text{ °C}$: 1 – без химической обработки; 2 – после химической обработки

Максимальное значение термическое сопротивление «оболочки» достигается в абсолютно сухом состоянии. При повышении влажности кон-

центрация соляного раствора понижается и термическое сопротивление «оболочки» уменьшается.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что предварительная термохимическая обработка растворами гигроскопических веществ оказывает большое влияние на теплофизические свойства и механизм последующей конвективной сушки древесины:

- интенсивность убыли влаги на всем протяжении процесса сушки носит более равномерный характер;
- в процессе конвективной сушки древесины понижается интенсивность испарения влаги с поверхности материала;
- характер кривых влажности в материале параболический, но с меньшим перепадом влажности между центром и поверхностью;
- более высокий перепад температур Δt между температурой среды и поверхностью материала способствует более интенсивному теплообмену и позволяет также дополнительно стимулировать ток влаги в материале.
- снижение термического сопротивления «оболочки» способствует более интенсивному перемещению тепла во внутренние слои, тем самым дополнительно стимулирует ток влаги к поверхности материала.

Установленные закономерности должны быть учтены при моделировании процессов конвективной сушки термохимически обработанной древесины.

Список использованной литературы

1. Кротов Л. Н. Отчет по теме « Исследование процесса комбинированной сушки листовых пиломатериалов» / СибТИ. – Красноярск, 1970. – 49 с.
2. Курьянова Т. К., Платонов А. Д., Петровский В.С. Эффективная химическая обработка подлежащих сушке пиломатериалов из древесины твердых пород // Деревообрабатывающая промышленность. – 2004. - № 6. – С. 22 – 24.
3. Малеев В. И., Баженов В.А. Ускоренная сушка древесины // Лесная индустрия. – 1937. – № 9. – С. 65–71.