

Е. А. Грушевская

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО ПЕРЕНОСА ВЛАГИ ПРИ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКЕ

Конвективная сушка в газовой среде — сложный теплофизический процесс, который сопровождается рядом явлений переноса: теплообменом материала с окружающей средой; перемещением тепла внутри материала; влагообменом материала с окружающей средой; перемещением влаги внутри материала.

Главным из этого ряда явлений при сушке влажных капиллярнопористых коллоидных тел, к которым относится и древесина, является перенос влаги внутри тела. Скорость перемещения влаги от центра материала к его поверхности определяет собой скорость сушки влажного тела. Теплообмен и влагообмен не лимитируют процесса [1].

Перемещение влаги внутри материала носит сложный характер и определяется законами влагопроводности и термовлагопроводности.

Закономерность перемещения влаги в материале в процессе конвективной сушки при температуре режима ниже 100°C характеризуется уравнением переноса, которое имеет вид [1]:

$$i = i_u + i_t = -a' \rho_0 \frac{du}{dx} \pm a' \rho_0 \delta \frac{dt}{dx}, \quad (1)$$

где i — общий поток влаги или количество влаги, перемещающейся в единицу времени через единицу сечения материала, $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$;

i_u — количество влаги, перемещающейся под действием градиента влажности (влагопроводность);

i_t — количество влаги, перемещающейся под действием градиента температуры (термовлагопроводность);

$\frac{du}{dx}$ — градиент влажности, $\text{кг}/\text{кг} \cdot \text{м}$;

$\frac{dt}{dx}$ — градиент температуры, $^{\circ}\text{C}/\text{м}$;

a' — коэффициент влагопроводности, $\text{м}^2/\text{ч}$;

ρ_0 — плотность материала в абсолютно сухом состоянии, $\text{кг}/\text{м}^3$;

δ — коэффициент термовлагопроводности, $1/^{\circ}\text{C}$.

Из уравнения переноса влаги следует, что если направления градиентов влажности и температуры совпадают, то общий поток влаги будет равен сумме потоков, движущихся под действием градиента влажности и градиента температуры. Если же направления градиентов противоположны, термовлагопроводность препятствует движению влаги от внутренних слоев материала к наружным.

Процесс конвективной сушки протекает обычно при отрицательном температурном градиенте, появление которого обусловливается самим принципом конвективного нагревания.

Анализ общего уравнения переноса влаги показывает, что скорость внутреннего перемещения влаги можно увеличить, повышая коэффициент влагопроводности и градиент влажности и уменьшая отрицательное значение термовлагопроводности.

Коэффициент влагопроводности резко возрастает с повышением температуры, что объясняется увеличением коэффициента диффузии водяного пара и снижением вязкости влаги, находящейся в жидкой фазе.

Таким образом, повышая температуру режима сушки, мы можем увеличивать поток влаги за счет увеличения коэффициента влагопроводности. Однако повышение температуры ограничивается свойствами высушиваемого материала, которые ухудшаются с увеличением температуры режима.

Увеличение градиента влажности в процессе сушки ограничивается величиной допустимых внутренних напряжений, которые могут привести к растрескиванию высушиваемого материала.

Эффективное и безопасное средство увеличения скорости внутреннего перемещения влаги — это создание в материале затухающего положительного или уменьшение отрицательного градиента температуры.

На основании теоретического анализа уравнения внутреннего переноса мы попытались дать количественный анализ потоков влаги в древесине при конвективной сушке режимами с повышенной температурой. Режимы с повышенной температурой разработаны и внедрены в производство сотрудниками Белорусского технологического института в содружестве с инженерно-техническими работниками сушильных хозяйств Гомельского ДОКа и Бобруйской мебельной фабрики им. Халтурина [2].

Повышение температуры режима на 3—6°C в начале и на 6—11°C в конце процесса не ухудшает свойств высушиваемого материала [3] и увеличивает скорость внутреннего перемещения влаги за счет возрастания коэффициента влагопроводности.

Длительные промежуточные термовлагообработки материала воздухом повышенной температуры и влажности, которые проводятся для устранения внутренних напряжений, могут способствовать уменьшению отрицательного температурного градиента и увеличению общего потока влаги. Это подтвердилось нашими экспериментами (табл. 1, 2).

В табл. 1 приведены значения режимных параметров, перепада влажности и температуры по ступеням режима. В табл. 2 дан расчет потоков влаги по ступеням режима.

Расчет производился согласно общему уравнению переноса влаги (1) по методике П. Д. Лебедева [3].

Численные значения коэффициентов влагопроводности и термовлагопроводности принимались по данным П. С. Серговского [4] и В. П. Миронова [5].

Градиенты влажности и температуры определялись исходя из условия квазистационарности процесса и закона распределения влажности и температуры по сечению материала по формулам [1]:

$$\frac{du}{dx} = \frac{u_{\text{в}} - u_{\text{п}}}{R} = \frac{\Delta u}{R}, \quad (2),$$

$$\frac{dt}{dx} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{п}}}{R} = \frac{\Delta t}{R}, \quad (3)$$

где $u_{\text{в}}$, $u_{\text{п}}$ — влагосодержание центра и поверхности материала, кг/кг;

$t_{\text{в}}$, $t_{\text{п}}$ — температура центра и поверхности материала, °С;

R — половина толщины материала или гидравлический радиус, м.

Выводы

1. Повышение температуры режима способствует увеличению потока влаги и сокращению продолжительности процесса.

2. Применение более высокой температуры в процессе термовлагообработок увеличивает внутренний поток влаги как за счет увеличения коэффициента влагопроводности, так и за счет уменьшения отрицательного градиента температуры.

3. Увеличение продолжительности термовлагообработок уменьшает отрицательное влияние эффекта термовлагопроводности, что соответственно ускоряет процесс сушки.

Литература

- [1] П. Д. Лебедев. Сушка инфракрасными лучами. М.—Л., 1955. [2] В. А. Бирюков, Е. А. Грушевская. Опыт применения режимов ускоренной сушки пиломатериалов и заготовок на заводах БССР. Сушка древесины. Тр. Всесоюз. любил. науч.-техн. конф. Архангельск, 1968. [3] Е. А. Грушевская. Поискное исследование по применению режимов сушки с повышенными температурами для дубовых заготовок. Сб. науч. работ Белорусск. технолог. ин-та. Секция механической технологии древесины. Минск, 1963. [4] П. С. Серговский. Влагопроводность древесины. «Деревообрабатывающая промышленность», 1955, № 2. [5] В. П. Миронов. Исследование термовлагопроводности древесины. Сушка древесины. Всесоюз. совещ. по интенсификации процессов и улучшению качества материалов при сушке в основных отраслях промышленности и сельском хозяйстве. Лесотехническая секция. М., 1958.