

## **Уточненный метод расчета продолжительности сушки пилопродукции в низкотемпературных камерах**

ЕЛЕНА ПИНЧЕВСКАЯ, ГЕОРГИЙ ИНОЗЕМЦЕВ, АНДРЕЙ СПИРОЧКИН

Кафедра технологии деревообработки Национального университета биоресурсов и природопользования Украины – НУБиП Украины

**Abstract:** *Revised method of calculating the length of sawn timber drying in the low temperature chambers* In this article written about the need to clarify the existing method of determining the length of drying in the light of features of the kinetics of the drying process in the “water” chambers. This is achieved by introducing an additional source of moisture in the equation of moisture conductivity

**Keywords:** Wood drying, tabular method, duration of the drying process, “water” chambers, equation of moisture conductivity.

Сушка древесины – длительный и энергоемкий процесс. При организации любого производства, особенно в период рецессии, большое внимание уделяется снижению энергозатрат. В лесосушильных цехах этой цели можно достичь либо за счет применения дешевых возобновляемых источников энергии – сжигания отходов деревообрабатывающих и лесопильных производств, либо за счет сокращения продолжительности процесса. Поскольку первый метод сейчас уже реализован – 90% конвективных лесосушильных камер в настоящее время обогревается за счет сжигания древесных отходов в индивидуальных котлах, и у производителя сухих пиломатериалов возникает желание уменьшить себестоимость процесса за счет сокращения его продолжительности.

В то же время производители изделий из древесины хотят получать качественную продукцию, соответствующую нормам стандарта по оценки качества сушки пилопродукции [1]. Для обеспечения необходимого уровня качества сушки, соответствующего назначению высушенной древесины, необходимо правильно выбрать режим обработки и рассчитать производительность камер.

Производительность сушильных камер зависит от продолжительности сушки и вместимости камеры. Самый распространенный и доступный метод для определения продолжительности процесса сушки древесины – табличный [2]. Он учитывает влияние породы, размеров, начальной и конечной влажности пилопродукции, температурного уровня режима, желаемой категории качества сушки, а также скорости циркуляции сушильного агента по материалу.

Табличный метод расчета продолжительности процесса сушки древесины был получен в результате решения дифференциального уравнения теплопроводности для неограниченной пластины с учетом поправок на замедление удаления влаги в партии высушиваемого материала, выраженных соответствующими коэффициентами, полученными экспериментальным путем. Этот метод охватывает весь процесс сушки, включая стадии начального прогрева и кондиционирования. Он достаточно точно описывал процесс при условии, что стадия нерегулярного режима была незначительной.

При разработке данного метода определения продолжительности сушки в деревообрабатывающей промышленности в основном использовались камеры, в которых теплоносителем являлся пар, и во время испытания данного метода были

получены довольно точные результаты с невысокой погрешностью, при условии использования в расчетах фактической, а не расчетной скорости циркуляции сушильного агента.

В последние года в деревообработке произошли значительные перемены – повысилась конкуренция изделий из древесины, соответственно стали приоритетными более щадящие режимы сушки, для реализации которых целесообразно применять более дешевый теплоноситель – горячую воду. При испытании существующего табличного метода определения продолжительности сушки в «водяных» камерах были получены неудовлетворительные результаты [3]. Данные, полученные в результате расчетов отличались от экспериментальных – на 30% расчетная продолжительность была меньше фактической. Это приводило к занижению инвестиционных затрат при организации лесосушильных цехов и, как следствие, вынужденному искусственному сокращению продолжительности процесса, что влекло за собой снижение уровня качества сушки.

Причиной такого расхождения является то, что кинетика процесса сушки в «водяных» камерах значительно отличается от паровых. Начальный прогрев древесины в насыщенной среде при высоких температурах для выравнивания влажности пилопродукции в паровых камерах – невозможен в камерах с теплоносителем – водой. Там температура при стабилизации относительной влажности воздуха на уровне 80-85% поднимается постепенно. Соответственно необходимо уточнение для уравнения, описывающего процесс сушки.

В связи с этим были проведены масштабные экспериментальные исследования кинетики сушки пилопродукции ряда промышленных пород древесины, которые позволили выявить причину замедления процесса. В случае ненасыщенного состояния обрабатываемой среды ( $\varphi_1 \leq 90\%$ ), с поверхности материала происходит испарение влаги и, соответственно, снижение температуры материала. По мере углубления зоны испарения происходит снижение температуры по сравнению с поверхностью. Фронт сниженной температуры постепенно смещается к центру высушиваемого материала.

Локальное снижение температуры связано с увеличением интенсивности процесса сушки и обусловлено тем, что при увеличении перепада давления водяного пара в центре материала и на поверхности, поток влаги возрастает. Со временем температура поверхности древесины возрастает до температуры среды и возникает отрицательный температурный градиент, который тормозит процесс удаления влаги из древесины на протяжении всего процесса сушки, т.к. зона испарения углубляется. Возникновение такой зоны испарения можно трактовать как дополнительный источник влаги, который способствует перераспределению влаги в материале и замедляет процесс сушки.

Отсутствие в уравнении влагопроводности составляющей, которая бы учитывала влияние температурных полей на перераспределение влаги в древесине, не дает возможности правильно описать характер изменения влагосодержания в штабеле на протяжении всего процесса, причем наибольшая ошибка возникает в начале процесса сушки.

Такое различие  $\Delta U$  между расчетными и экспериментальными данными может быть аппроксимировано уравнением:

$$\Delta U = (U_0 - U_p) [Ae^{-\alpha\tau} - Be^{-\beta\tau}] , \quad (1)$$

где  $U_0; U_p$  - соответственно начальное и равновесное влагосодержание древесины,  $\tau$  - время сушки,  $\alpha, \beta, A, B$  - коэффициенты, учитывающие теплофизические свойства древесины.

Уравнение (1) соответствует введению дополнительного источника увлажнения в известное уравнение влагопроводности для определения изменения влажности в штабеле на протяжении периода сушки по экспоненциальному закону. Поэтому для учета температурной составляющей на процесс перераспределения влаги в неограниченной пластине мы использовали уравнение, которое имитирует влияние температурных полей путем введения источника влаги в виде:

$$U = U'_0 e^{-k\tau}, \quad (2)$$

где  $U$  - влагосодержание древесины,

$U'_0$  - максимальная мощность источника;

$k$  - постоянная, которая учитывает относительную скорость изменения удельной мощности источника.

Таким образом, задача динамики сушки приобретает вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial \tau} &= a' \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{U_0 e^{-k\tau}}{c\rho_0} \\ U(x,0) &= U_0 - const \\ \frac{\partial U(0,\tau)}{\partial x} &= 0 \\ -a' \frac{\partial U(R,\tau)}{\partial x} + \alpha' [U_p - U(R,\tau)] &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

где  $a'$  - коэффициент влагопроводности древесины,  $\rho_0$  - плотность древесины в абсолютно сухом состоянии,  $c$  - удельная теплоемкость древесины,  $\alpha'$  - коэффициент влагообмена,  $R$  - определяющий размер.

Решение этой задачи в отношении  $\tau_{nl}$  даст возможность определить продолжительность процесса сушки неограниченной пластины в камерах с «водяным» теплоснабжением.

Еще одним немаловажным недостатком используемого табличного метода определения длительности процесса сушки – невозможность учесть влияние таких характеристик камер, как неравномерность распределения аэродинамических и тепловых полей камер.

Проведенные экспериментальные исследования аэродинамических и тепловых полей современных лесосушильных камер показали, что на протяжении процесса сушки наблюдается тенденция снижения неравномерности температурного поля, что связано с изменением плотности сушильного агента с повышением температуры и геометрии штабеля в результате усушки пиломатериалов.

Установлено, что в камерах со средней скоростью циркуляции  $v_{cp}$  сушильного агента в штабеле в пределах  $>1,0 < v_{cp} < 3,0 \frac{M}{c}$  наблюдается снижение рассеивания теплового поля в 1,2-1,4 раза при изменении среднего значения температуры  $t_{cp}$  сушильного агента в штабеле от 30° С до 80° С. В камерах с диапазоном изменения скорости циркуляции  $>0,3 < v_{cp} \leq 1,0 \frac{M}{c}$  равномерность теплового поля увеличивается в 2,7-3,3 раза при тех же температурных параметрах.

Таким образом, общий вид алгоритма уточненного метода расчета продолжительности сушки пилопродукции в низкотемпературных камерах может быть представлен уравнением:

$$\tau = f(\tau_{nl}, D_W, D_S, D_v, D_{V_i}, D_\rho, D_{кач}, D_{ум}) \quad (4)$$

где  $D_W, D_S, D_v, D_{V_i}, D_\rho, D_{кач}, D_{ум}$  - коэффициенты, учитывающие соответственно начальную и конечную влажность пилопродукции, ее размеры, скорость циркуляции сушильного агента по штабелю, коэффициент вариации теплового поля в камере, плотность древесины, категорию качества сушки, замедление сушки в штабеле.

Использование предложенного метода расчета продолжительности сушки позволит учесть как характеристики высушиваемого материала, так и особенности конструкции камеры.

#### REFERENCES

1. ДСТУ 4921:2008., 2009: Пилопродукція. Оцінювання якості сушіння. Національний стандарт України. Київ-Держсповстандарт України (БЗ№1-2008/39). 7с.
2. Серговский П. С. 1975: Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М.: Лесн. пром-сть. 400 с
3. Пінчевська О.О., 2010: Прогнозування якості сушіння пилопродукції. Київ: ТОВ «Аграр Медіа Груп». 227 с.

**Streszczenie:** *Zmodyfikowana metoda wyliczeń czasu niskotemperaturowego suszenia tarcicy.* Artykuł sugeruje potrzebę poprawy istniejącej metody wyznaczania czasu suszenia w komorach wodnych, w świetle kinematyki procesu. Cel osiągnięto wprowadzając dodatkowe źródło wilgoci w równaniach przewodności wody.

Corresponding authors:

Olena Pinchewska, Georgiy Inozemtcev, Andrii Spirochkin  
Department of Wood Processing  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
Kyiv, vul. Geroiv Oborony 15, 03041, Ukraine  
[OPinchewska@gmail.com](mailto:OPinchewska@gmail.com)