

2. Кувалдин Б. И. Прицепной состав лесовозных дорог: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд. перераб. – М. : Лесн. пром-сть, 1979. – 240 с.

3. Ходош М. С. Грузовые автомобильные перевозки: учебник для автотрансп. техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1986. – 208 с.

4. Воронцова Т. Е. Повышение эффективности логистической системы за счет использования рациональной технологии транспорта // Транспорт и логистика: актуальные вопросы, проектные решения и инновационные достижения: сб. мат. по итогам Всерос. науч.-практ. конф. (23 октября 2020 г., Красноярск).

УДК 674.047:66.047.45(075.8)

А. Г. Гороховский,  
Е. Е. Шишкина, А. В. Мялицин  
(A. G. Gorokhovskiy,  
E. E. Shishkina, A. V. Mialitsin)  
УГЛТУ, Екатеринбург  
(USFEU, Yekaterinburg)

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ В КАМЕРАХ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ (OPTIMIZATION OF TIMBER DRYING IN CONTINUOUS CHAMBERS)**

*Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по оптимизации значений показателей режима сушки в противоточных камерах непрерывного действия с разработкой промышленной технологии сушки. Внедрение данной технологии в производство показало её высокую эффективность.*

*The results of theoretical and experimental studies on optimizing the values of drying mode parameters in continuous-action counter-precision chambers with the development of industrial drying technology are presented. The introduction of this technology into production has shown its high efficiency.*

Противоточные сушильные камеры непрерывного действия широко распространены как в российской, так и в мировой промышленности. Это связано, в первую очередь, с комплексом достоинств, которыми обладают камеры данного типа. К их числу относятся высокая экономичность, а также простота и надежность работы.

Оптимизация сушки – это установление [1] оптимальных с точки зрения эффективности и качества режимных параметров. Особо это касается скорости циркуляции  $\omega$ , так как от её величины в значительной степени

зависит равновесная влажность в сыром конце камеры и характер её распределения по длине камеры.

Г. С. Шубин [2] предложил метод решения данной задачи, основанный на приближенном аналитическом решении преобразованного дифференциального уравнения влагопроводности с переменными граничными условиями:

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{a'}{V_{um}} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (1)$$

$$u(z=0, x) = u_n = const \quad (2)$$

$$\left. \frac{du}{dx} \right|_{x=0} = 0 \quad (3)$$

$$u(x=0, z) = u_p(z) = u_{p\sim} + (u_{pn} - u_{p\sim})e^{-k_z z}, \quad (4)$$

где – дифференциальное уравнение (1) включает в себя переменную по длине агрегата координату  $z$  (исчисляется от сырого конца), связанную со временем сушки  $\tau$  и скоростью перемещения штабелей  $V_{шт}$  элементарным соотношением

$$z = V_{um} \tau \quad (5)$$

где  $u$  и  $u_n$  – соответственно влажность в точке сечения материала и начальная;

$a'$  – коэффициент влагопроводности;

$u_{pn}$  – равновесная влажность в сыром конце камеры;

$u_{p\sim}$  – асимптота, к которой стремится кривая  $u_p = f(z)$ ;

$x$  – координата по толщине доски;

$k_z$  – показатель экспоненты по координате  $x$ , определяемый по формуле

$$k_z = \frac{1}{z} \ln \frac{u_{pn} - u_{p\sim}}{u_p(z) - u_{p\sim}}, \quad (6)$$

где  $u_p(z)$  – равновесная влажность древесины в зоне камеры с координатой  $z$ .

Далее автор предлагает два пути:

1. Получение искомого решения в виде трансцендентного уравнения (что в условиях переменных граничных условий не слишком просто).

2. Графический вариант со сложными номограммами зависимостей массообменного критерия Фурье от ряда параметров, зависящих, в свою

очередь от величины равновесной влажности и её распределения по длине камеры.

В результате процесс оптимизации становится долгим и не слишком точным.

Решение поставленной Г. С. Шубиным задачи может быть существенно упрощено с использованием данных, проведенных нами исследований [3–5]. Аналитические и экспериментальные изыскания позволили получить следующие зависимости параметров в выражениях (1–6):

1. Изменение влажности пиломатериалов по длине камеры

$$u(z) = 0,12 + (0,6 - 0,12)e^{-0,125z}. \quad (7)$$

2. Изменение скорости циркуляции агента сушки по длине камеры

$$\omega(z) = 0,3753 + 6,7343 \cdot 10^{-5} z^{2,7445}. \quad (8)$$

3. Распределение влагосодержания агента сушки по длине камеры

а) теоретическое

$$d(z)_T = d_k + (d_n - d_k) \frac{0,6 e^{\int_0^z \omega(z) dz}}{u(z)}, \quad (9)$$

где  $d_n, d_k$  – влагосодержание агента сушки соответственно в сыром и сухом конце камеры.

б) экспериментальное

$$d(z)_s = 0,047 - 2,0833 \cdot 10^{-4} z. \quad (10)$$

4. Продолжительность сушки пиломатериалов

$$\tau_{суш} = 0,67t\Delta t - 0,33t^2 + 24t + 1,74\Delta t^2 - 66,33\Delta t - 101,11, \quad (11)$$

где  $t$  – температура в сыром конце камеры;

$\Delta t$  – психрометрическая разность.

При этом уравнение (1) с различными начальными условиями было решено методами, предложенными в [1].

Поликритериальная оптимизация путем решения компромиссной задачи методом условного центра масс позволила получить следующие значения параметров режима сушки:

$$\left. \begin{aligned} t^* &= 49,6^{\circ}C \\ \Delta t^* &= 8,7^{\circ}C \end{aligned} \right\}. \quad (12)$$

При этом продолжительность сушки составляет

$$\tau_{\text{суш}} = 111 \text{ час} , \quad (13)$$

а скорость циркуляции

$$\omega(z) = 0,6 \div 0,7 \text{ м/с} . \quad (14)$$

Оптимизация параметров режима сушки позволила снизить затраты на тепловую и электрическую энергию на 21,3 % [4] и продолжительность сушки, а также существенно повысить качество сушки.

#### *Библиографический список*

1. Гороховский А. Г. Технология сушки пиломатериалов на основе моделирования и оптимизации процессов тепломассопереноса в древесине: дис. ... д-ра техн. наук. – СПб. : СПбГЛТА им. С. М. Кирова, 2008. – 263 с.
2. Шубин Г. С. Сушка и тепловая обработка древесины. – М. : Лесная промышленность, 1990. – 336 с.
3. Шишкина Е. Е. Энергосберегающая технология конвективной сушки пиломатериалов на основе управляемого влагопереноса в древесине: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Архангельск, 2016. – 40 с.
4. Мяслицин А.В. Повышение эффективности сушки пиломатериалов на основе моделирования тепломассообмена в камерах непрерывного действия: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2010. – 16 с.
5. Гороховский А. Г., Мяслицин А. В. Снижение затрат энергии при сушке пиломатериалов в камерах непрерывного действия туннельного типа // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: тр. V Межд. Евразийского симпозиума. – 2010. – С. 59–62.

УДК 625.72

О. В. Горяева, С. А. Чудинов  
(O. V. Goryaeva, S. A. Chudinov)  
УГЛТУ, Екатеринбург  
(USFEU, Yekaterinburg)

#### **К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАЛЫХ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ МЕСТНЫХ УСЛОВИЙ (ON SMALL ARTIFICIAL CONSTRUCTIONS DESIGN TAKING INTO ACCOUNT LOCAL CONDITIONS)**

*Рассмотрены особенности проектирования малых искусственных сооружений с учетом местных условий на примере устройства бетонной водопропускной трубы на автомобильной дороге вокруг Екатеринбурга.*