

Варто зазначити, що іншого вітчизняного устаткування цього типу з такою продуктивністю виробництва декору поки що не існує.

Література

1. Бузан А.Ф. Різьба по дереву в Західних областях України. – К. : Вид-во "Знання", 1960. – 346 с.
2. Літвінов Д. Технологія профільної різьби на верстатах з ЧПУ // Про меблі. Всеукраїнський рекламно-інформаційний журнал. – 2007. – № 10 (35). – С. 10.
3. Тимків Б.М., Кавас К.М. Виготовлення художніх виробів з дерева. – Ч.І. Різьба по дереву : підручник / за наук. ред. доц. Б.М. Тимківа. – Львів : Вид-во "Світ", 1995. – 176 с.

УДК 674.047

*Проф. І.М. Озарків, д-р техн. наук;
асист. Ю.Р. Дадак, канд. техн. наук;
директор Р.М. Дадак – НЛТУ України, м. Львів*

РОЗРАХУНОК НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ ДЕРЕВИНИ

Наведено методику розрахунку тривалості сушіння деревини до експлуатаційної кінцевої вологості за відомих параметрів стану агента сушіння. Наведено рівняння, які дають змогу розрахувати тепломасообмінні характеристики та тривалість процесу сушіння деревини із використанням низькотемпературних режимів.

*Prof. I.M. Ozarkiv; assist. Yu.R. Dadak; director R.M. Dadak –
NUFWT of Ukraine, Lviv*

Calculation of low-temperature wood drying

Calculation of wood drying duration to operating humidity with known parameters of drying agent are resulted in this paper. Equalizations which give enable to expect thermal and mass exchange descriptions and duration of process of drying of wood with the use of the low-temperature modes are resulted.

Розрахунок тривалості сушіння деревини до експлуатаційної кінцевої вологості за відомих параметрів стану агента сушіння є дуже важливою задачею в інженерній практиці. Зауважимо, що складність самої задачі утруднює її розв'язок.

Відомо [1], що загальну тривалість сушіння без врахування часу початкового прогрівання може бути знайдено на базі закону вологопровідності. Зокрема, для одномірного тіла зміну вологовмісту U в часі τ в довільній точці або зоні визначають

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a'_m \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \quad (1)$$

за крайової умови III роду

$$a'_m \left[\frac{dU}{dx} \right]_{x=0} = \alpha'_U \cdot (U_{нов} - U_{рив}), \quad (2)$$

де: a'_m – коефіцієнт вологопровідності деревини; α'_U – коефіцієнт вологообміну; $U_{нов}$, $U_{рив}$ – відповідно, вологовміст поверхні матеріалу, що сушиться і рівноважний вологовміст, який відповідає стану навколишнього середовища.

Наближений розв'язок рівняння (1) відносно тривалості сушіння необмеженої пластини ($S_1/S_2 \leq 0,30$, S_1 – товщина матеріалу, S_2 – ширина матері-

алу) до середньої кінцевої вологості W_k за умови рівномірного розподілу початкової вологості W_n має вигляд [1]

$$\tau = \frac{S_1^2}{\pi^2 \cdot a'_m} \cdot \left(1 + \frac{\pi^2 \cdot a'_m}{2 \cdot \alpha'_U \cdot S_1} \right) \ln \left(B \frac{W_n - W_p}{W_k - W_p} \right) = \frac{S_1^2}{\pi^2 \cdot a'_m} \cdot \left(1 + \frac{\pi^2}{4B_{i_m}} \right) \ln \left(B \frac{1}{\Theta'_m} \right), \quad (3)$$

де: S_1 – товщина пластини; B_{i_m} – масообмінний критерій Біо $\left(B_{i_m} = \frac{\alpha'_U}{a'_m} \cdot R \right)$ де R – половина товщини; Θ'_m – безрозмірна вологість $\left(\Theta'_m = \frac{W_k - W_p}{W_n - W_p} \right)$.

Аналіз наведених вище рівнянь показує, що в процесі вологотеплоперенесення важливу роль відіграють такі коефіцієнти: вологопровідності a'_m і вологообміну α'_U , теплопровідності λ та температуропровідності a .

Відомо, що стан сушильного агента в камері в часі істотно впливає на значення a'_m та W_p . Це означає, що рівняння (3) не враховує сповільнення процесу сушіння, пов'язаного із шириною самого штабеля. Тобто, це рівняння є справедливим для сушіння одинарних взірців.

Взаємний вплив товщини та ширини дошки, тобто врахування багатомірності здійснено за рахунок введення до формул множників c_τ (поправка на багатомірність) і величини Θ'_m .

Професор Г.С. Шубін [2] радить використовувати формули для визначення тривалості сушіння до перехідної вологості $W_{пер}$, тобто

$$\tau_1 = c_\tau \cdot \frac{S_1 \cdot \rho_\delta \cdot r \cdot (W_n - W_{nep})}{(t_c - 100)} \cdot \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{S_1}{4 \cdot \lambda} \right) \text{ с}; \quad (4)$$

$$\tau_2 = c_\tau \cdot \frac{S_1 \cdot \rho_\delta \cdot r \cdot (W_{nep} - W_p)}{200 \cdot (t_c - 100)} \cdot \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{S_1}{2 \cdot \lambda} \right) \text{ с}, \quad (5)$$

де: r – питома теплота пароутворення, що залежить від температури агента сушіння, Дж/кг; α – коефіцієнт теплообміну сушильного агента, Вт/(м²·°C); λ – коефіцієнт теплопровідності деревини, Вт/(м²·°C).

Коефіцієнт вологопровідності, як відомо [3], враховує сумарний потік переміщення вологи під дією градієнтів вологості, температури, парціального тиску і характеризує інтенсивність перенесення вологи всередині деревини. Для визначення величини a'_m використовують три методи [3]. Наприклад, значення коефіцієнта вологопровідності можна знайти за формулою [3]

$$a'_m = \frac{N \cdot R}{3 \cdot \operatorname{tg} \varphi}, \quad (6)$$

де: N – швидкість сушіння в першому періоді; $\operatorname{tg} \varphi$ – тангенс кута нахилу прямої для залежності $U_{kp} = f(R)$, коли величина $\operatorname{tg} \varphi$ дорівнює

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_{kp} - U_{пкр}}{R}, \quad (7)$$

де: $U_{кр}$ – середній критичний вологовміст, кг/кг; $U_{н.кр}$ – вологовміст поверхні матеріалу в критичній точці, тобто відрізок на осі координат у точці перетину $U_{кр} = f(R)$, де $R = S_1 / 2$.

Оброблення наших експериментальних даних [3] засвідчило, що залежність вологовмісту у критичній точці можна описати рівнянням

$$U_{н.кр} = 0,325 - 0,00135 \cdot t_m \text{ кг/кг}, \quad (8)$$

де: t_m – температура поверхні матеріалу, яка дорівнює температурі змоченого термометра.

На основі авторських експериментальних досліджень можна констатувати, що в діапазоні температур 60...100 °С рівняння для визначення величини a'_m має такий вигляд [3]

$$a'_m = 23,5 \cdot 10^{-8} \cdot \left(\frac{T_m}{273} \right)^{23} \cdot \left(\frac{\rho_0}{400} \right)^{-3,9} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot V_{np}}{100} \cdot \frac{\sin \beta}{\sin 90^\circ} \right) \text{ см}^2/\text{с}, \quad (9)$$

де: T_m – температура змоченого термометра ($T_m = 273 + t_m$, К); V_{np} – об'єм серцевинних променів, % (для сосни $V_{np} = 6$ %, вільхи – 5 %, берези – 11 %, клена – 15 %, бука – 35 %, дуба – 25 %); β – кут, утворений дотичною до річного кільця і нормаллю, проведеною до зовнішньої пласті пластини посередині її ширини (для радіального потоку вологи $\beta = 90^\circ$, а для тангентального $\beta = 0^\circ$).

Для першого та другого періодів сушіння величину коефіцієнта вологообміну α'_U можна знайти за формулами [3]

$$\alpha'_{U,1n} = \frac{N \cdot R}{U_{н.кр} - U_p} \text{ м/с}; \quad (10)$$

$$\alpha'_{U,2n} = \left[\frac{\tau_2}{2,31 \cdot \lg \left(\frac{U_{кр} - U_p}{U_k - U_p} \right)} - \frac{4 \cdot R^2}{\pi^2 \cdot a'_m} \right]^{-1} \text{ м/с}, \quad (11)$$

де U_p – рівноважний вологовміст, кг/кг.

Варто зауважити, що для знаходження часу сушіння в обох періодах графоаналітичним методом потрібно користуватися рівняннями (4) і (5), в яких другим планом у круглих дужках (тобто $\frac{S_1}{4 \cdot \lambda}$ і $\frac{S_1}{2 \cdot \lambda}$) можна знехтувати, внаслідок їх малих значень порівняно з членом $1/\alpha$.

Отже, наведені вище рівняння дають змогу розрахувати тепломасообмінні характеристики та тривалість сушіння деревини із використанням низькотемпературних режимів.

Література

1. Серговский П.С., Расев А.И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины : учебн. [для ВУЗов]. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1987. – 360 с.
2. Шубин Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1990. – 336 с.
3. Озарків І.М. Науково-технічні основи конвективно-радіаційного сушіння деревини : дис. ... д-ра техн. наук. – Львів, 2006. – 404 с.