

$$Nu = Nu_{\infty} + Nu_n \left(1 - \frac{1}{Re} \cdot \frac{b}{h} \right)^n, \quad (21)$$

де: h – висота каналу (товщина прокладки), м; n – ширина штабелю в камерах з поперечною циркуляцією агента сушіння, м; Re – критерій Рейнольдса, який враховує розподіл швидкості газів між стінками каналу.

Аналіз отриманого критеріального рівняння (21) показує, що значення критерію Нуссельта Nu_{∞} є постійним і характеризує теплообмін на значній віддалі від початку входження газу в штабель. Встановлено, що коефіцієнт теплообміну при русі газу в каналах змінюється за довжиною свого шляху на проміжку лише від $X = 0$ до $X = l_{nm}$ (при $X > l_{nm}$, на протязі решти частини труби зростає стає значення). Проте, термічна початкова ділянка $l_{пт}$, як показують розрахунки, більше ніж в 10 разів перевищує ширину штабеля (B), а тому значенням Nu_{∞} можна нехтувати. Крім того, як це видно з рівняння (20), Nu_{∞} є величиною дуже малою порівняно із загальним критерієм Nu (в основному він більше 200). Тому Nu_{∞} при обробці експериментальних даних можна знехтувати. Отже, рівняння (21) можна переписати у вигляді:

$$Nu = Nu_n \left(1 - \frac{1}{Re} \cdot \frac{b}{h} \right)^n. \quad (22)$$

Література

1. **Gayda S.V.** (2001): Рациональное конструирование виробів з деревини / Rational constructing of wood Productss. Lviv: ВМС. – 93 p. (in Ukr.).
2. **Gayda S.V.** (2000): Матеріали для виготовлення виробів з деревини / Materials for the Production of wood Productss. Lviv: ВМС. – 160 p. (in Ukr.).
3. **Гайда С.В.** Гнучкі автоматизовані виробництва та робототехніка в деревообробці: Основи створення ГАВ. – Львів: ВМС. – 1998, – 149 с.
4. **Гайда С.В.** Гнучкі автоматизовані виробництва та робототехніка в деревообробці: Основи робототехніки. – Львів: ВМС. – 1998, – 145 с.
5. **Гайда С.В.** Особливості та перспективи роботизації меблевої промисловості України / Науковий вісник УкрДЛТУ / наук.-техн. зб. – Львів: УкрДЛТУ. – 2002, вип. 12.5 – С. 38-40.
6. **Гайда С.В., Кшивецький Б.Я., Войтович І.Г. Прокопович Б.В.** Тлумачний словник з деревооброблення. – Львів: НЛТУ України. – 2002. – 280 р.

УДК 647.047

Ст. викл. Ю.В. Книш, канд. техн. наук - НЛТУ України

АНАЛІТИЧНІ РОЗВ'ЯЗКИ НЕСТАЦІОНАРНОГО ТЕПЛО- І МАСОПЕРЕНОСУ ПРИ ГРАНИЧНИХ УМОВАХ ТРЕТЬОГО РОДУ

У роботі представлені розв'язки нестационарного тепло- і масопереносу при граничних умовах третього роду.

Senior teacher Y.V. Knych – NUFWT of Ukraine

Analytical upshots of unstationary transfer of mass and heat are at maximum terms of the third family

In work the upshots of unstationary transfer of mass and heat are presented at the maximum terms of the third family.

Розглянемо деякі розв'язки системи диференціальних рівнянь тепло і масопереносу при початкових і граничних умовах, що описують процес сушіння деревини різних сортиментів [1, 2, 6] та важливо для сучасних технологій [3-5].

Визначимо їх спочатку для найбільш поширених в деревообробці матеріалів (шпон, штабелі пиломатеріалів тощо [1, 2, 6].), які мають відносно малу товщину і значну площу випаровування, практично як необмежена пластина.

Для конвективного сушіння вологого матеріалу, який має форму необмеженої пластини товщиною $S = 2R$ для випадку коли тепло- і масообмін з навколишнім середовищем відбувається з двох протилежних поверхонь тіла, а рух вологи всередині матеріалу супроводжується фазовим перетворенням граничні умови (1) і (2) в безрозмірному критеріальному вигляді записуються рівняннями:

$$K_{im} + P_n \frac{\partial T(1, F_0)}{\partial x} - \frac{\partial U(1, F_0)}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial T(1, F_0)}{\partial x} - B_i [1 - T(1, F_0)] + (1 - \varepsilon) K_0 L U K_{im} = 0. \quad (2)$$

Розподіл температури і вологості в середині матеріалу на початку сушіння можна вважати рівномірним, тобто початкові умови мають вигляд:

$$T(x, 0) = 0, \quad U(x, 0) = 0. \quad (3)$$

Для випадку параболічного початкового розподілу:

$$T(x, 0) = -(1 - x^2)Z, \quad U(x, 0) = -(1 - x^2)V. \quad (4)$$

де: $Z = \frac{t_n - t_y}{t_c - t_n}$ і $V = \frac{U_y - U_n}{U_n - U_p}$ – симплекси нерівномірності початкового розподілу

потенціалів тепло- і масопереносу, а $T = \frac{t - t_n}{t_c - t_n}$ і $U = \frac{U_n - U}{U_n - U_p}$ – безрозмірні потенціали переносу.

Математична модель тепло- і масопереносу в безрозмірній формі для необмеженої пластини записуються рівняннями:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial U(x, F_0)}{\partial F_0} &= L_u \frac{\partial U(x, F_0)}{\partial x^2} - L_u P_n \frac{\partial^2 T(x, F_0)}{\partial x^2} \\ \frac{\partial T(x, F_0)}{\partial F_0} &= (1 - \varepsilon K_0 P_n K L_u) \frac{\partial^2 T(x, F_0)}{\partial x^2} - \varepsilon K_0 L_u \frac{\partial^2 U(x, F_0)}{\partial x^2} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Розв'язок рівняння при граничних умовах і початкових умовах рівномірного і параболічного розподілу потенціалів переносу в матеріалах отриманих О.В. Луковим і Ю.А. Михайловим за допомогою перетворення Лапласа і Фур'є, які для нестационарного поля потенціалів конвективного тепло- і масопереносу мають вигляд:

$$\begin{aligned} T(x, F_0) &= 1 - (1 - \varepsilon) K_0 L_u \frac{K_{im}}{B_{iq}} - \frac{1}{2} \varepsilon K_0 L_u K_{im} (1 - x^2 + \frac{2}{B_{iq}}) - \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=1}^2 C_{ni} \cos \nu_i \mu_n x \exp(-\mu_n^2 F_0) - \\ &\quad - \frac{\varepsilon K_0 K_{im}}{\nu_2^2 - \nu_1^2} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} C_{mi} \cos \nu_i \mu_n x \exp(-\mu_n^2 F_0), \end{aligned} \quad (6)$$

$$U(x, F_0) = K_{im} \left[L_u F_0 - \frac{1}{2} (1 + \varepsilon K_0 P_n L_u) \left(\frac{1}{3} - x^2 \right) \right] + \frac{1}{\varepsilon K_0} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=1}^2 C_{ni} (1 - \nu^2) \cos \nu_i \mu_n x \exp(-\mu_n^2 F_0) +$$

$$+\frac{K_{im}}{v_2^2-v_1^2}\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}C_{ni}(1-v_i^2)\cos v_i\mu_n x \exp(-\mu_n^2 F_0), \quad (7)$$

де: μ_n і μ_m – корені відповідних характеристичних рівнянь, v_1 і v_2 – коефіцієнти, що залежать від критеріїв L_u , ε , K_0 , P_n .

Аналіз отриманих розв'язків показує, що суми, які входять в рівняння дуже швидко сходяться. Із цієї суми, починаючи з $F_0 = 0,2 \dots 0,3$ достатньо використати два характеристичних коефіцієнти і відповідну їм кількість доданків ряду. Для значення критерію більше $F_0 > 0,3$, розрахунок нестационарних потенціалів переносу можна виконувати за спрощеними формулами, тобто з використанням лише деяких характеристичних коренів:

$$T(x, F_0) \cong 1 - \varepsilon K_0 P_1 - \frac{1}{2} \varepsilon K_0 L_u K_{im} (1 - x^2 + \frac{2}{B_{sq}}) - \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} C_{ni} (1 - v_i^2) \cos v_i \mu_n x \exp(-\mu_n^2 F_0). \quad (8)$$

$$U(x, F_0) \cong K_{im} \left[L_u F_0 - \frac{1}{2} (1 + \varepsilon K_0 P_n L_u) \left(\frac{1}{3} - x^2 \right) \right] + \frac{1}{\varepsilon K_0} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} C_{ni} (1 - v_i^2) \cos v_i \mu_n x \exp(-\mu_n^2 F_0). \quad (9)$$

З рівнянь (8) і (9) можна знайти важливі вирішення для аналізу процесу конвективного сушіння масивної деревини.

Для періоду постійної швидкості, коли в деревині існує стаціонарний розподіл температур рядами в рівняннях (8) і (9) можна; знехтувати, так як вони швидкозбіжні. У даному випадку отримаємо:

$$T = \frac{t - t_n}{t_c - t_n} = 1 - \varepsilon K_0 K_1 + \frac{1}{2} \varepsilon K_0 \varepsilon L_u K_{im} (1 - x^2 + \frac{1}{B_{iq}}), \quad (10)$$

$$\theta = \frac{U_n - U}{U_n - U_p} = K_{im} \left[L_u F_0 - \frac{1}{2} (1 - \varepsilon K_0 P_n L_u) \left(\frac{1}{3} - x^2 \right) \right], \quad \text{де } K_1 = \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} L_u \cdot \frac{K_{im}}{B_{iq}}. \quad (11)$$

Для середніх безрозмірних потенціалів розв'язок рівнянь (10) і (11) можна записати в наступному вигляді:

$$T = \frac{t - t_n}{t_c - t_n} = 1 - \varepsilon K_0 K_1 - \frac{1}{2} \varepsilon K_0 \varepsilon L_u K_{im} \left(\frac{2}{3} + \frac{2}{B_{iq}} \right) = 1 - K_0 K_u K_{im} \left(\frac{1}{3} \varepsilon - \frac{1}{B_{iq}} \right), \quad (12)$$

$$\frac{\bar{U}_H - \bar{U}}{\bar{U}_H - \bar{U}_P} = K_{im} L_u F_0 = K_{im} F_{0m}, \quad (13)$$

де $F_{0m} = F_0 L_u$ - гідрометричний коефіцієнт співвідношення (12) і (13) є рівнянням кінематики конвективного сушіння, які дають можливість отримати ряд розв'язків для визначення швидкості і тривалості сушіння деревини за змінною середньою температурою матеріалу.

Відтак, масообмінний критерій Кирпичова дорівнює:

$$K_{im} = \frac{t_c - t}{K_0 L_0 (t_c - t_0) \left(\frac{1}{B_{iq}} + \frac{1}{3} \varepsilon \right)}. \quad (14)$$

$$\text{Отже, швидкість сушіння дорівнює: } \frac{dU}{dt} = \frac{\lambda_q (t_c - t)}{\rho_\delta R^2 r \left(\frac{1}{B_{iq}} + \frac{1}{3} \varepsilon \right)}. \quad (15)$$

Якщо $\varepsilon = 0$, то рівняння (15) можна записати у такому вигляді:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{\alpha (t_c - t)}{\rho_\delta R^2 r}. \quad (16)$$

Співвідношення (16) представляє собою рівняння кривої сушіння, яке для періоду постійної швидкості дає рівняння для визначення тривалості сушіння:

$$\tau_1 = \rho_\delta R^2 r \frac{(U_n - U_p)}{\alpha(t_c - t_m)}. \quad (17)$$

де: U_n і U_p - початковий і рівноважний вологовміст, кг/кг.

Отже, знайдені співвідношення дають можливість отримати розв'язки для визначення температури і вологості у будь-якій точці штабелю, а також швидкості сушіння.

Література

1. Gayda S.V. (2001): Рациональное конструирование виробів з деревини / Rational constructing of wood Productss. Lviv: ВМС. – 93 p. (in Ukr.).
2. Gayda S.V. (2000): Матеріали для виготовлення виробів з деревини / Materials for the Production of wood Productss. Lviv: ВМС. – 160 p. (in Ukr.).
3. Гайда С.В. Гнучкі автоматизовані виробництва та робототехніка в деревообробці: Основи створення ГАВ. – Львів: ВМС. – 1998, – 149 с.
4. Гайда С.В. Гнучкі автоматизовані виробництва та робототехніка в деревообробці: Основи робототехніки. – Львів: ВМС. – 1998, – 145 с.
5. Гайда С.В. Особливості та перспективи роботизації меблевої промисловості України / Науковий вісник УкрДЛТУ / наук.-техн. зб. – Львів: УкрДЛТУ. – 2002, вип. 12.5 – С. 38-40.
6. Гайда С.В., Кшивецький Б.Я., Войтович І.Г. Прокопович Б.В. Тлумачний словник з деревооброблення. – Львів: НЛТУ України. – 2002. – 280 p.

УДК 674. 04

Асист. Н.Ф. Чопенко – НЛТУ України

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНОЇ ТВЕРДОСТІ ПРЕСОВАНОЇ ДЕРЕВИНИ ВІЛЬХИ

Досліджено вплив пресування на статичну торцеву твердість деревини вільхи залежно від початкової щільності та міри пресування, одержано математичну модель, що описує вказану залежність.

Assist. N.F. Chopenko – NUFWT of Ukraine

Research static hardness of the compressed alder wood

Influencing of compressing on static butt hardness of alder wood have been researched. A mathematical model is got. A mathematical model describes dependence static butt hardness from initial density and compressing measures.

Актуальність теми. Лісодефіцитність України спонукає шукати нові джерела деревинної сировини, особливо в умовах динамічного розвитку деревообробної та будівельної галузей і зростання попиту на їх продукцію. Підвищити ефективність використання деревинної сировини можна за рахунок ширшого використання деревини м'яколистяних порід, ресурси якої є в Україні, однак використовуються обмежено. Найпоширеніша м'яколистяна порода – вільха. Запаси вільхи складають близько 27 млн. м³, щорічно заготовляють близько 1...1,2 млн. м³ і використовують, в основному, у фанерному виробництві. Дере-