

Таким чином, запропоновані способи виготовлення стружкових плит дають змогу розширити сировинну базу для їх виготовлення завдяки залученню відходів сільськогосподарського виробництва, а саме пшеничної соломи, зменшити собівартість готових плит і, відповідно, економити цінну деревинну сировину.

Література

1. Бехта П.А. Технологія деревинних плит і пластиків: Підручник. – К.: Основа, 2004. – 780 с.
2. Волынский В.Н. Технология стружечных и волокнистых древесных плит: Учебн. пособ. для вузов. – Таллинн: Дезидерата, 2004. – 192 с.
3. Бехта П.А., Салабай Р.Г. Агросировина – значний резерв для виробництва композиційних матеріалів// Наук. вісник НАУ: Зб. наук. праць. – К.: НАУ. – 2000, вип. 27. – С. 340-346.
4. ДСТУ EN 312-2:2003 Плити деревностружкові. Технічні умови. Частина 2. Вимоги до плит загального призначення, використовуваних у сухих умовах експлуатації. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 48 с.
5. ДСТУ EN 312-3:2003 Плити деревностружкові. Технічні умови. Частина 3. Вимоги до плит, які застосовуються всередині приміщень (у тому числі для меблів) використовуваних у сухих умовах експлуатації. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 42 с.
6. Бехта П.А., Салабай Р.Г. Спосіб виготовлення стружкових плит з використанням соломи: Патент на корисну модель № 21438. – Бюл., № 3, 2007.
7. Бехта П.А., Салабай Р.Г. Спосіб виготовлення стружкових плит: Патент на корисну модель № 21441. – Бюл., № 3, 2007.
8. Салабай Р.Г. Деревинно-солом'яні композиційні матеріали/ Зб. тез доповідей I Всеукраїнської наук.-практ. конф. з хімії та хімічної технології. – К.: НТУ України "КПІ", 2006. – С. 76-78.

УДК 647.047

*Проф. І.М. Озарків, д-р техн. наук; доц. Й.Л. Ацбергер;
інж. З.П. Копинець – НЛТУ України, м. Львів*

КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКУ В УМОВАХ ГЕЛІОСУШІННЯ ДЕРЕВИНИ

Наведено критерії оцінки геліосушарки, які дають змогу оцінити температурно-вологісні поля в установці.

*Prof. I.M. Ozarkiv; assist. prof. Y.L. Atchberger; eng. Z.P. Kopynets –
NUFWT of Ukraine, L'viv*

Criteria of estimation of thermal stream are in the conditions of sun dryer wood

Criteria are resulted estimations of sun dryer, which enable to estimate the temperature and moist fields in setting.

Відомо [1], що рівняння теплового балансу для умов геліосушіння, коли має місце комбінований (конвективно-радіаційний) спосіб підведення тепла до деревини, як об'єкта сушіння, має вигляд

$$Q_{\text{конв}} + Q_{\text{рад}} = Q_{\text{нагр}} + Q_{\text{вип}} + Q_{\text{теплпр}}, \quad (1)$$

де: $Q_{\text{конв}}$, $Q_{\text{рад}}$ – відповідно частки теплових потоків, які підводяться за рахунок конвекції та терморадіації; $Q_{\text{нагр}}$, $Q_{\text{вип}}$ – відповідно потоки енергії, затрачені на нагрівання деревини, випаровування вологи з матеріалу; $Q_{\text{теплпр}}$ – потік теплоти, що витрачається на нагрівання технологічного обладнання за рахунок теплопровідності.

Віддачу теплоти за рахунок теплопровідності в інженерній практиці стараються зменшити шляхом безпосереднього контакту матеріалу (деревини) із нагрітими конструктивними елементами сушарки. Це дає змогу спростити математичні операції та значно розширити можливості аналітичних розв'язків. Зокрема, при нехтуванні втратами тепла за рахунок теплопровідності спрощується розрахунок температурного поля в зовнішніх шарах деревини, а також істотно полегшується облік залежності фізичних параметрів сушіння від температури.

Інакше кажучи, нехтування теплопровідністю (мається на увазі тепло, що передається до поверхонь деревини за рахунок нагрітих поверхонь огорожень) в умовах конвективно-радіаційного сушіння при розрахунку нестандартних температурних полів дає нам можливість безпосередньо перейти до розрахунку надлишкових температур, оминаючи при цьому задачі теплопровідності.

Інакше кажучи, нехтування теплопровідністю (мається на увазі тепло, що передається до поверхонь деревини за рахунок нагрітих поверхонь огорожень) в умовах конвективно-радіаційного сушіння при розрахунку нестандартних температурних полів дає нам можливість безпосередньо перейти до розрахунку надлишкових температур, оминаючи при цьому задачі теплопровідності.

Що стосується оцінки впливу густини сонячного випромінювання при відомих інтегральних значеннях ступеня чорноти системи тіл, що беруть участь в променевому теплообміні (наприклад, для деревини бука $\bar{\varepsilon}_\lambda = 0,94$ і дуба $\bar{\varepsilon}_\lambda = 0,89$), то для області температур $20 \dots 100^\circ\text{C}$ у спектральних діапазонах довжин хвиль $3 \dots 10$ мкм завжди можна визначити густини променевих потоків.

У геліосушарках при прямому попаданні сонячного випромінювання або променевого потоку від бокових стін та геліотермічних колекторів температура стінок сушильної камери в декілька разів менша, як температура об'єкта сушіння, тобто величина

$$\sigma_0 \cdot T_{\text{оз.}}^4 < \sigma_0 \cdot T_{\text{п.м.}}^4, \quad (2)$$

де: σ_0 – стала Стефана-Больцмана, $\sigma_0 = 5,669 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}^4)$; $T_{\text{оз.}}$, $T_{\text{п.м.}}$ – відповідно температура огорожувальних поверхонь та поверхні матеріалу.

Тоді рівняння комбінованого конвективно-радіаційного теплообміну, ускладненого масообміном, в інтегральній формі запишемо

$$\alpha_k \cdot (t_c - t_{\text{н.м.}}) + q_{\text{рад}} = r \cdot q'_m + \rho_B \cdot R \cdot C \frac{dt}{d\tau}, \quad (3)$$

де: α_k – коефіцієнт конвективного теплообміну, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; $q_{\text{рад}}$ – густина результуючого променевого потоку, $\text{Вт}/\text{м}^2$; r – питома теплота пароутворення, $\text{Дж}/\text{кг}$; q'_m ($q'_m = \rho_B \cdot R dU / d\tau$, U – вологовміст, кг води/ кг сух. мат.) – інтенсивність випаровування вологи з матеріалу, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; R – характерний розмір (при сушінні в штабелях, $R = b_{\text{шт}}$, де $b_{\text{шт}}$ – ширина штабеля), м ; ρ_B – базова густина, $\text{кг}/\text{м}^3$; C – питома теплоємність вологої деревини, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

Тоді, розв'язавши рівняння теплового балансу щодо приросту температури деревини по часу, отримаємо [1]

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{\bar{A}_\lambda \cdot q_{\text{рад}} - \bar{\varepsilon}_{\text{нр}} \cdot \sigma_0 \cdot T_{\text{н.м.}}^4 - \alpha_\kappa \cdot (T_c - T_{\text{н.м.}})}{C \cdot \rho \cdot S_1}, \quad (4)$$

де: $\bar{A}_\lambda$ – інтегральний коефіцієнт поглинання; $\bar{\varepsilon}_{\text{нр}}$ – усереднений або інтегральний ступінь чорноти опроміненої деревини та внутрішніх стінок сушильної камери; ρ – фактична густина вологої деревини; S_1 – товщина матеріалу, що висушують.

Необхідно відзначити, що для сонячної сушарки, коли густина теплового потоку, що пов'язана з конвективним теплообміном, в діапазоні температур 20...80°C набагато переважає величину потоку інфрачервоного випромінювання [1], особливо в умовах примусової конвекції.

Тому можна записати

$$\alpha_\kappa \cdot (t_c - t_{\text{н.м.}}) > \bar{\varepsilon}_{\text{нр}} \cdot \sigma_0 \cdot T_{\text{н.м.}}^4, \quad (5)$$

тобто

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{\bar{A}_\lambda \cdot q_{\text{рад}} - \alpha_\kappa \cdot (T_c - T_{\text{н.м.}})}{C \cdot \rho \cdot S_1} \quad (6)$$

Тоді, для встановленого стаціонарного режиму

$$T_{\text{с.р.}} = T_c + \frac{\bar{A}_\lambda \cdot q_{\text{рад}}}{\alpha_\kappa}. \quad (7)$$

Для умов чисто радіаційного опромінення (коли вентилятори, наприклад, виключені), тобто коли конвективна складова буде мінімальною, із врахуванням поширення теплоти в матеріалі за рахунок теплопровідності для поверхонь F за час τ , можна записати

$$\frac{Q_{\text{випр}}}{Q_{\text{теплпр}}} = \frac{\bar{\varepsilon}_{\text{нр}} \cdot \sigma_0 \cdot T_{\text{н.м.}}^4}{\lambda \frac{dT}{dS_1}} = \bar{\varepsilon}_{\text{нр}} \cdot \frac{\sigma_0 \cdot T_{\text{н.м.}}^3}{\lambda} \cdot R. \quad (8)$$

Таким чином, залежність між максимальною температурою T_{max} у сушильній камері та температурою агента сушіння в геліосушарці буде мати вигляд

$$T_{\text{max}} = T_c + \frac{A_\lambda \cdot q_{\text{рад}}}{\alpha_\kappa}. \quad (9)$$

Ввівши коефіцієнт k_f , що враховує відношення опроміненої поверхні штабеля $F_{\text{онр}}$ ($F_{\text{онр}} = n_1 \cdot l \cdot h \cdot (1 - \beta_e)$, де n_1 – кількість штабелів в площині, перпендикулярній до напрямку циркуляції сушильного агента; l , h – відповідно довжина і висота штабеля, β_e – фактичний об'ємний коефіцієнт) до всієї поверхні $F_{\text{заб}}$, що бере участь в конвективно-радіаційному сушінні, тобто

$$k_{\text{онр}} = \frac{F_{\text{онр}}}{F_{\text{заб}}}, \quad (10)$$

отримаємо рівняння

$$T_{\text{max}} = T_c + \frac{A_\lambda \cdot q_{\text{рад}}}{\alpha_\kappa} \cdot k_{\text{онр}}. \quad (11)$$

Тоді, для оцінки впливу терморадіаційної і чисто конвективної складових теплового потоку в умовах геліосушіння доцільно ввести об'єднаний критерій конвективно-радіаційного сушіння, тобто

$$B_{\Sigma} = B_{\text{рад}} + \frac{Bi}{B_{\text{рад}}} \cdot k_f, \quad (12)$$

де: $B_{\text{рад}}$ – радіаційний критерій ($B_{\text{рад}} = \sigma_0 \cdot R / \lambda \cdot T^3$); k_f – коефіцієнт, що враховує тип сортименту (брус, циліндр); Bi – теплообмінний критерій Біо, визначається $Bi = \alpha / \lambda \cdot R$.

В умовах конвективно-радіаційного теплообміну температура необмеженої пластини в точці із координатою x за час τ визначиться

$$T_x = T_{\text{max}} - (T_{\text{max}} - T_0) \cdot \exp\left(-\frac{k_f \cdot \alpha_{\Sigma} \cdot \tau}{C \cdot \rho \cdot R}\right), \quad (13)$$

де: T_0 – початкова температура матеріалу; α_{Σ} – сумарний (загальний) коефіцієнт теплообміну.

Використавши формулу безрозмірної температури Θ ($\bar{\Theta} = \frac{T_x - T_0}{T_{\text{max}} - T_0}$), рівняння (12) можна переписати

$$\bar{\Theta} = 1 - \exp(-k_f \cdot Fo \cdot Bi), \quad (14)$$

де: Fo – теплообмінний критерій Фур'є, $Fo = \frac{a \cdot \tau}{R^2}$.

Формула (14) є частковим випадком відомого класичного розв'язання рівняння, що відображає нагрівання необмеженої пластини при крайовій (граничній) умові третього роду, тобто

$$\bar{\Theta} = 1 - \sum_{i=1}^n B_n \cdot e^{-\mu_n^2 \cdot Fo}. \quad (15)$$

Обмежившись першим членом ряду і прийнявши для малих значень Bi ($Bi < 0,10$) $B_n \approx 1$, отримаємо, що показник степеня буде рівним

$$K = k_f \cdot Fo \cdot Bi = k_f \cdot \left(\frac{\lambda \cdot \tau}{C \cdot \rho \cdot R^2}\right) \cdot \left(\frac{\alpha_{\Sigma}}{\lambda} \cdot R\right) = k_f \cdot \frac{\alpha_{\Sigma}}{C \cdot \rho \cdot R} \cdot \tau. \quad (16)$$

Таким чином, рівняння для визначення температури пластини T_x (із координатою x в момент часу τ) буде мати вигляд

$$T_x - T_0 = (T_{\text{max}} - T_0) \cdot (1 - e^{-K \cdot \tau}). \quad (17)$$

Аналіз останньої формули показує, що із збільшенням величини K значення τ зменшується. Тобто, збільшення α_{Σ} та зменшення теплоакumuлюючої здатності деревини ($\rho \cdot C$), а також підвищення температури T_c буде викликати зменшення тривалості сушіння деревини.

Література

1. Озарків І.М. Науково-технічні основи конвективно-радіаційного сушіння деревини/ Дис... д-р техн. наук. – Львів, 2006. – 404 с.