

шок в'яжучого призводять до погіршення якості паливних гранул, зокрема, спричиняючи їх крихкість і зменшуючи їх міцність.

Рівномірність розподілу компонентів досягається за рахунок створення тиску в конічній частині 3. Надлишок в'яжучого, який видаляється через дренажний отвір 9, додатково зменшує тертя між біомасою і робочими органами установки, що сприяє зниженню питомих витрат енергії на процес гранулювання, а також продовжує термін експлуатації обладнання.

Застосування біокомпозицій у народному господарстві дасть змогу знизити споживання енергоносіїв (нафти, газу, вугілля), а запропонований метод виробництва біокомпозицій істотно зменшує енергозатрати на їх виробництво порівняно з існуючими.

Важливим аспектом є те, що при виробництві біокомпозиції утилізуються відходи лісової та целюлозно-паперової промисловості, завдяки чому зменшується екологічне напруження від складування цих відходів та покращується екологічний стан довкілля.

УДК 647.047 *Проф. С.Ф. Гавенко, д-р техн. наук – Українська академія друкарства; доц. Й.Л. Ацбергер; інж. З.П. Копинець – НЛТУ України*

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ КРИТЕРІЮ НУСЕЛЬТА В ПЕРШОМУ ПЕРІОДІ СУШІННЯ ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ (ШПОНУ, КАРТОНУ)

Проведено аналіз методів досліджень критерію Нусельта в першому періоді сушіння. Наведено формули для розрахунку цього критерію.

*Prof. S.F. Havenko, doctorate – Ukrainian academy of book-printing;
doc. Yo.L. Acberger, eng. Z.P. Kopynets – NUFWT of Ukraine*

Nusselt's criterion research methods in first drying period of leaf materials (veneer, cardboard)

The analysis of methods of researches of criterion of Nusselt's is conducted in the first period of drying. Formulas are resulted for the calculation of this criterion.

Відомо [1, 2], що між рівняннями тепло- і масообміну в процесі сушіння деревинних листових матеріалів (шпону, картону, деревинноволокнистих та листових матеріалів і т.п.) спостерігається певна аналогія, внаслідок чого залежності тепломасообмінного Nu і масообмінного Nu'_m критеріїв Нусельта від параметрів умов сушіння повинні бути однаковими для же границь їх змін. Тому, в практичних розрахунках аналогію тепло- і масообмінних процесів достатньо широко використовують в інженерній практиці [2]. Зокрема, Г.Т. Сергеев [3] при обробленні результатів досліджень процесів випаровування води із вільної поверхні в умовах вимушеного турбулентного руху потоку ($Re = 2 \cdot 10^4 \dots 2 \cdot 10^5$) рекомендує використовувати такі формули:

- для теплообміну

$$Nu = 0,086 \cdot Re^{0,80} \cdot Pr^{0,33} \cdot Gu^{0,20}; \quad (1)$$

- для масообміну

$$Nu_m = 0,094 \cdot Re^{0,80} \cdot Pr_D^{0,33} \cdot Gu^{0,20}, \quad (2)$$

де: Pr – теплообмінний критерій Прандтля ($Pr = \frac{\nu}{a}$), де ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості агента сушіння, a – коефіцієнт температуропровідності); Pr_D – дифузійний критерій Прандтля ($Pr_D = \frac{\nu}{D}$, де D – коефіцієнт молекулярної дифузії); Gu $\left(Gu = \frac{T_c - T_m}{T_c} \right)$ – критерій Гухмана, де T_c , T_m – відповідно абсолютні температури повітря сухого та мокрого термометрів.

Г.В. Нестеренко [4] для визначення інтенсивності випаровування води із вільної поверхні в процесі конвективного сушіння рекомендує вираз

$$Nu = A \cdot Re^m \cdot Pr^{0,33} \cdot Gu^{0,175} \cdot \left(\frac{T_c}{T_m} \right)^2, \quad (3)$$

де: Pr – теплообмінний критерій Прандтля (для сухого повітря в діапазоні температур 20-60°C $Pr = 0,712$); A – постійний коефіцієнт, який залежить від режиму руху агента сушіння ($A = 0,51$ коли $Re = 3,15 \cdot 10^3 \dots 2,2 \cdot 10^4$; $A = 0,027 - Re > 2,2 \cdot 10^4$); m – показник степеня ($m = 0,61$, коли $Re = 3,15 \cdot 10^3 \dots 2,2 \cdot 10^4$; $m = 0,90 - Re > 2,2 \cdot 10^4$).

Для порівняння інтенсивності конвективного сушіння шпону в періоді постійної швидкості сушіння із інтенсивності випаровування води із вільної поверхні доцільно використовувати співвідношення виду

$$q'_{\text{вип.в}} = \frac{Nu \cdot \lambda_c}{r \cdot l} \cdot (t_c - t_m), \quad (4)$$

де: Nu – теплообмінний критерій Нусельта; r – питома теплота пароутворення (приймається за температурою мокрого термометра); λ_c – коефіцієнт теплопровідності сухого повітря (приймається за таблицями); l – визначальний розмір шпону в напрямку потоку агента сушіння.

Свою чергою, інтенсивність конвективного сушіння листового матеріалу (шпону, картону) в першому періоді може бути визначена [1]

$$N = \frac{dW}{d\tau} = \frac{100 \cdot Nu \cdot \lambda_c}{r \cdot \rho_B \cdot R \cdot l} \cdot (t_c - t_m), \quad (5)$$

де: ρ_B – базова густина деревини; R – характерний розмір ($R = \frac{S_1}{2}$, де S_1 – товщина об'єкта сушіння).

Результати порівняння показують, що для однакових режимних параметрів інтенсивність сушіння шпону, наприклад, q'_m дорівнює

$$q'_m = 1,042 \cdot q_{\text{вип.в}}. \quad (6)$$

Незначне відхилення (до 4,2 %) рівності між швидкістю сушіння в першому періоді та швидкістю випаровування води із вільної поверхні вказує

на незначний вплив шорсткості поверхні та тріщин у поверхневому шарі шпону. Це підтверджує одне із тверджень О.В. Ликова [1] про те, що в процесі інтенсивного теплообміну в першому періоді сушіння має місце перехід каплевої рідини із матеріалу в пограничний шар вологого повітря, де й відбувається випаровування вологи.

Водночас, тривалість сушіння шпону в першому періоді за Д.М. Стерліним [5] визначається за формулою

$$\tau_1 = \frac{W_n - 30}{N} \cdot K_{ш}, \quad (7)$$

де $K_{ш}$ – коефіцієнт, що враховує довжину шпону за напрямком руху потоку сушильного агента; величина його визначається

$$K_{ш} = 0,93 + 0,173 \cdot l. \quad (8)$$

У випадку сушіння шпону двох різних розмірів (наприклад, $l' = 1$ м і l'') із рівняння (7) отримаємо

$$\frac{\tau_1''}{\tau_1'} = \frac{K_{ш}'' \cdot N'}{K_{ш}' \cdot N''}, \quad (9)$$

де N' , N'' – відповідно швидкості сушіння в першому періоді із визначальними розмірами $l' = 1$ м і l'').

П.Д. Лебедев [6] для конвективно-радіаційного сушіння рекомендує використовувати формулу щодо визначення критерію Нусельта в першому періоді сушіння

$$Nu = A \cdot Re^n \cdot \left(\frac{q_{випр}}{r \cdot q'_m} \right)^m, \quad (10)$$

а також вираз виду

$$Nu = A \cdot Re^n \cdot \left(\frac{T_c}{T_m} \right)^p \cdot \left(\frac{T_{випр}}{T_c} \right)^k, \quad (11)$$

де: A , n , m , k , p – постійні коефіцієнти, що враховують властивості об'єкта сушіння; $T_{випр}$ – температура поверхні випромінювача.

Зауважимо, що при сушінні різних вологих матеріалів автором [6] показники ступенів для критеріїв Re , Gu_m , $T_{випр}/T_c$ були однаковими і становили відповідно $n = 0,50$; $p = 2$; $k = 0,40$.

Що ж до виразу (10), то дана критеріальна залежність впливає із основного рівняння перенесення тепла для періоду постійної швидкості конвективно-радіаційного сушіння. Водночас, використання формули (10) для практичних розрахунків є можливим, коли відомими є значення інтенсивності сушіння. Власне, через це, більш зручнішим для інженерної практики є рівняння (11), оскільки воно містить у собі режимні параметри, які характеризують безпосередньо процес конвективно-радіаційного сушіння вологих матеріалів.

Рівність показника степеня k ($k = 0,40$) для різних вологих матеріалів говорить про те, що параметричний критерій, що враховує вплив променевого теплообміну на конвективний теплообмін, тобто $T_{випр}/T_c$, не залежить від

властивостей об'єкта сушіння, а тільки характеризує вплив потоку інфрачервоного випромінювання на термодинамічні властивості середовища як акумулятора тепла та вологи.

При сумісному підведенні тепла до матеріалу за рахунок конвекції та інфрачервоного випромінювання від низькотемпературних генераторів з метою спрощення критеріальних рівнянь доцільним є використання, як потенціалу променевого теплообміну, різниці перших степенів температур випромінювача і поверхні опроміненого матеріалу.

Через те, що волого- й теплопоглинаючим середовищем є повітря, то вологообмін на поверхні випаровування, як і при конвективному підведенні тепла, буде визначатися законом Дальтона.

Література

1. **Львов А.В.** Тепломассообмен: Справочник. – М.: Энергия, 1972. – 560 с.
2. **Михеев М.А., Михеева Н.М.** Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1977. – 342 с.
3. **Сергеев Г.Т.** Исследование внешнего тепло- и массопереноса при испарении жидкостей капиллярнопористым телом. – ИФЖ, 1961, т. 4, № 5. – С. 33-37.
4. **Нестеренко А.В.** Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Высш. шк., 1971. – 459 с.
5. **Стерлин Д.М.** Сушка шпона в роликовых и камерных сушилках. – М.: Гослесбумиздат, 1965. – 36 с.
6. **Лебедев П.Д.** Сушка инфракрасными лучами. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1955. – 232 с.

УДК 01.05.02 *Наук. співроб. Р.І. Гушчак, канд. техн. наук – Львівський НУ ім. Івана Франка*

МЕХАНІКА В ТЕОРІЇ МАГНЕТНОГО ПОЛЯ

Виконано розрахунок перехідних електромагнетних процесів диполя рідкого кристала, керованого зовнішнім електричним полем.

Research worker R.I. Hushchak – Lviv NU named after Ivan Franko

Mechanics in the theory of the magnetic field

Calculation of the transient electromagnetic processes of the liquid crystal dipole, guided by the external electric field, was carried out.

Багато електротехнічних пристроїв містять у собі рухомі конструкції. Розрахунок їх електромагнетних полів є надто складною задачею з погляду не теоретичних узагальнень, а з погляду алгоритмічної реалізації. Рухомі структури, як правило, деформують просторові дескрипційні сітки, спричиняють появу іррегулярних вузлів, ускладнюють визначення електромагнетних величин на межі різних середовищ тощо. А тому побудова математичних моделей електромагнетного поля в рухомих суцільних середовищах за наявності суцільних структур є надто актуальною задачею. Від її успішного розв'язання залежить побудова сучасних математичних моделей більшості електромеханічних пристроїв.

Із широкого кола задач електромеханіки в теорії поля розглянемо тільки одну, а саме: розрахунок перехідних електромагнетних процесів диполя рідкого кристала, керованого зовнішнім електричним полем.

Кристалічну пластинку вважають безмежно довгою. Декартові координати скеровують так, щоб вісь x простувала за найменшим геометричним