

Висновки. Як показали виконані дослідження, така математична модель є адекватною в експлуатаційно заданому діапазоні змінних факторів. Отримана модель дає змогу спрогнозувати тривалу міцність кутового з'єднання КЗКМЗ, яку широко використовують виробники сучасних корпусних меблів.

Література

1. Ратнер С.Б. Физическая механика пластмасс / С.Б. Ратнер, В.П. Ярцев. – М. : Химия, 1992. – 320 с.
2. Ярцев В.П. Закономерности термофлуктуационного разрушения высоконаполненных резиновых смесей и резин // Каучук и резина. – М. – 1989. – № 3. – С. 17-20.
3. Ратнер С.Б. Термофлуктуационные закономерности истирания полимеров / С.Б. Ратнер, В.П. Ярцев // Теория трения, износа и проблемы стандартизации : сб. научн. ст. – Брянск: Приокское кн. изд-во, 1978. – С. 150-162.
4. Ярцев В.П. Влияние степени обжаривания на прочность полиолефинов при объемной штамповке // Пластические массы. – М. – 1986. – № 9. – С. 39-40.
5. Ярцев В.П. Прогнозирование прочности, долговечности и термостойкости нагруженных в постоянном режиме древесных плит / В.П. Ярцев, О.А. Киселева // Известия вузов. Строительство. – Новосибирск. – 2002. – № 1-2. – С. 141-144.
6. Лурье Е.Г. Термоактивационные закономерности износа полимеров : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 02.00.07. – М. : НИФХИ им. Л.Я. Карпова, 1966. – 180 с.
7. Грабар І.Г. Термоактиваційний аналіз та синергетика руйнування : наукова монографія. – Житомир: ЖІТІ, 2002. – 312 с.
8. Бойко Л.М. Експериментальне дослідження тривалої міцності кутових з'єднань корпусних меблів / Л.М. Бойко, І.Г. Грабар, С.М. Кульман // Вісник ЖІТІ. – 2008. – № 3. – С. 7.

УДК 66.047 *Проф. Я.М. Ханик, д-р техн. наук; аспір. О.І. Мількович;
доц. О.М. Креховецький, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"*

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ПОЛІАМІДУ-6

Розроблено математичну модель процесу сушіння дисперсного поліаміду-6 у щільному шарі, на основі кінетичних залежностей.

Ключові слова: сушіння, кінетика, математична модель.

*Prof. Y.M. Hanyk; assoc. prof. O.I. Milcovych, O.M. Krehovezcy –
NU "L'vivs'ka Politekhnik"*

Mathematical model of drying polyamide-6

The mathematical model of dispersive polyamide-6 in dense layer drying was developed on the basis of kinetic dependences.

Keywords: drying, kinetic, mathematical model.

У цій роботі для зневоднення поліаміду-6 використовувався метод сушіння в щільному шарі [1, 2]. Таке сушіння має ряд переваг, а саме: частина вологи виноситься з матеріалу без затрат теплової енергії, відсутнє винесення матеріалу із зони сушіння, а також поверхня тепломасопередачі є надзвичайно розвиненою.

При дослідженні процесу сушіння в щільному шарі з основних питань є вивчення кінетики процесу, результати досліджень якої визначають енергетичні характеристики зневоднення. В експериментальних дослідженнях поліамід-6 (ПА-6) використовувався у вигляді світложовтих гранул, з початковою

вологістю 1,6 %. Сушіння ПА-6 здійснювалось у щільному шарі при надлишковому тиску. Експерименти проводилися за температур 60-120°C, швидкості теплоносія 1,0-1,5 м/с та товщині шару матеріалу 0,015-0,03 м.

На рис. 1, 2 і 3 зображено кінетичні криві, які для зручності визначення критичної вологи $W_{кр}$ представлені в координатах $\lg(W - W_p) = f(\tau)$, де W , W_p – поточне та рівноважне значення вологості матеріалу, τ – тривалість сушіння. Як видно з цих кривих, процес сушіння здебільшого відбувається в другому періоді, але наявний і перший період. Ордината точки перетину прямих ліній буде відповідати критичній вологості $\lg W_{кр}$, а абсциса – часу сушіння ПА-6 у першому умовному періоді $\tau_{кр}$.

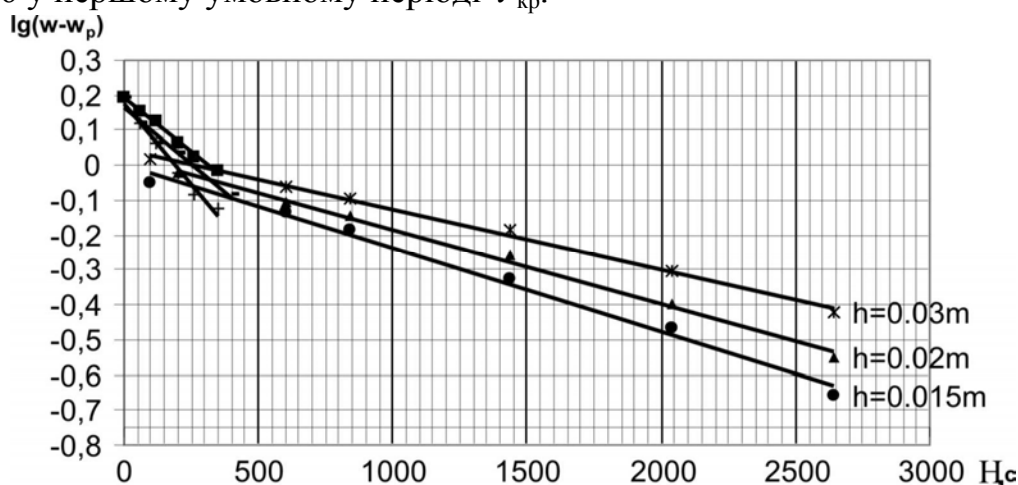


Рис. 1. Зміна вологості ПА під час сушіння за різних висот шару за $t=100^\circ\text{C}$, $\omega=1$ м/с

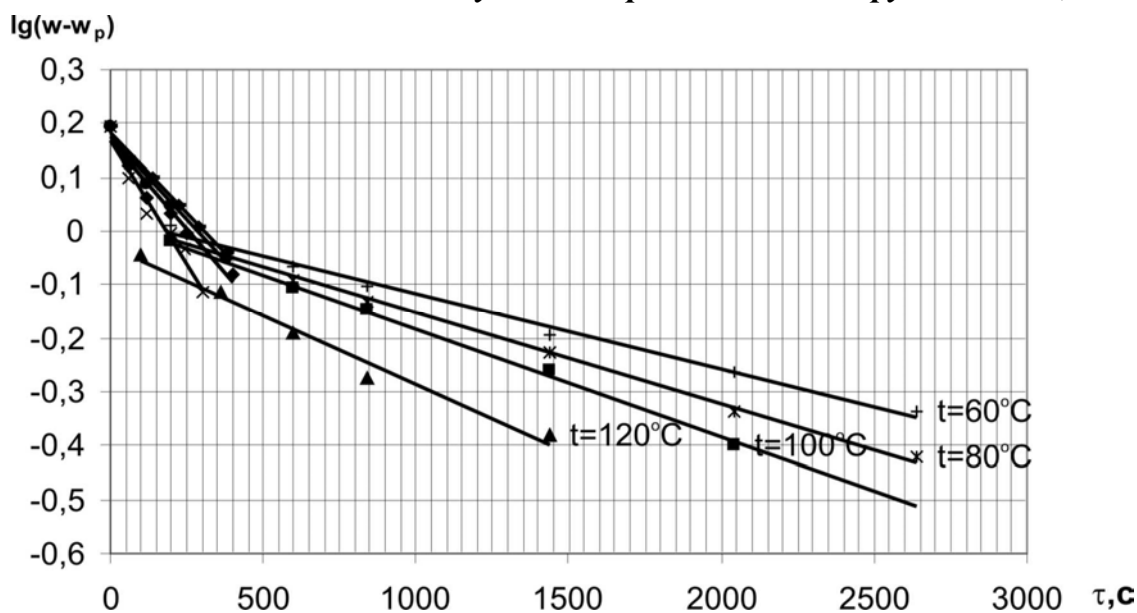


Рис. 2. Зміна вологості ПА під час сушіння за різних температур за $H=0,02$ м, $\omega=1$ м/с

Для узагальнення кінетики сушіння ПА-6 у першому умовному періоді використовуємо систему диференціальних рівнянь матеріального балансу в шарі та кінетики сушіння [1]:

$$\begin{cases} \frac{\partial \varphi}{\partial H} = a \cdot (1 - \varphi); \\ \frac{\partial W}{\partial \tau} = n \cdot (1 - \varphi); \end{cases} \quad (1)$$

де: φ – відносна вологість повітря, %; W – поточна вологість матеріалу, %; a – кінетичний коефіцієнт, 1/м, який не залежить від параметрів процесу.

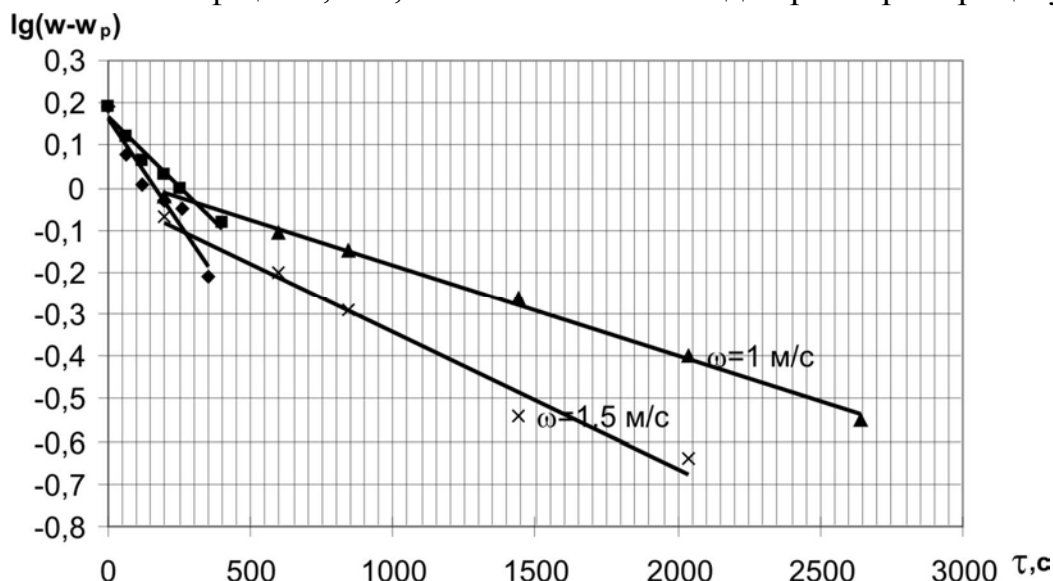


Рис. 3. Зміна вологості ПА під час сушіння за різних швидкостей теплоносія за $t=100^\circ\text{C}$, $H=0,02$ м

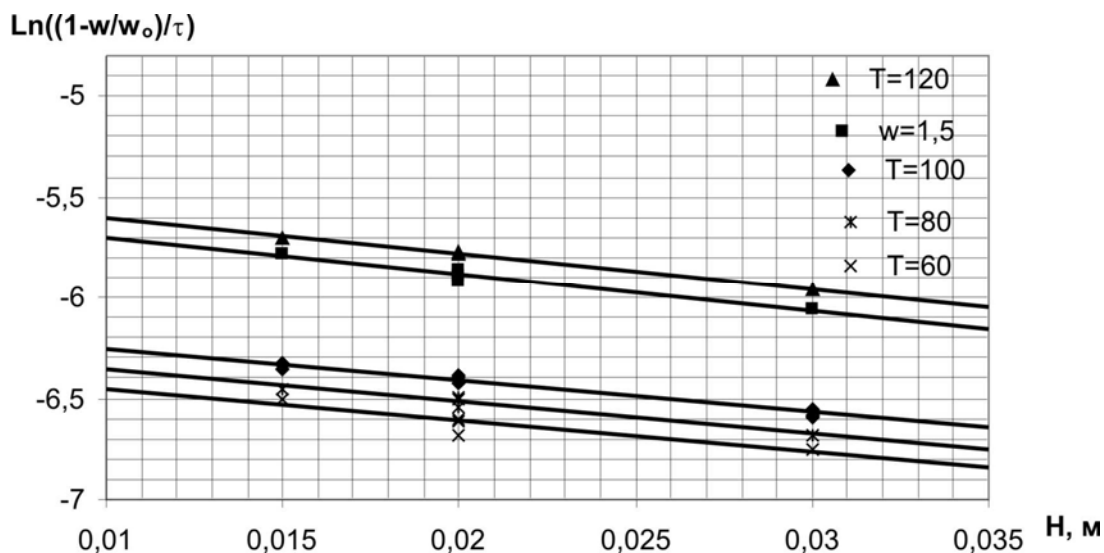


Рис. 4. Визначення коефіцієнтів α і a

Розв'язком системи диференціальних рівнянь (1) є рівняння, яке описує кінетику сушіння в першому умовному періоді до досягнення вологості $W = W_{кр}$, зокрема

$$\frac{W}{W_0} = 1 - \alpha \cdot \tau \cdot e^{-a \cdot H}, \quad (2)$$

α – коефіцієнт сушіння, 1/с

Запишемо рівняння (2) у вигляді

$$\frac{1}{\tau} \left(1 - \frac{W}{W_0} \right) = \alpha \cdot e^{-a \cdot H}$$

Позначимо: $y = \alpha \cdot e^{-a \cdot H}$ тоді, $\frac{1}{\tau} \left(1 - \frac{W}{W_0} \right) = y. \quad (3)$

Прологарифмувавши рівняння (3), отримаємо

$$\ln(y) = \ln(\alpha) - a \cdot H. \quad (4)$$

Для того, щоб описати кінетику процесу сушіння ПА-6 за допомогою рівняння (2) необхідно визначити кінетичні коефіцієнти α і a . Кінетичні коефіцієнти α і a визначаються із експериментальних даних, шляхом побудови графічної залежності $\ln(y) = f(H)$ (згідно з рівнянням (4)).

З наведеного графіка величина $\ln(\alpha)$ визначається за відрізком, який пряма відтинає на осі ординат, звідки знаходимо значення коефіцієнта α . Значення коефіцієнта a визначається як тангенс кута нахилу прямої до осі.

Табл. Значення коефіцієнтів a та α

№ лінії	a , 1/м	$\ln(\alpha)$	α , 1/с
120°C	18,18	-5,6	0,0037
$\omega=1,5$		-5,7	0,0033
100°C		-6,27	0,00189
80°C		-6,36	0,00173
60°C		-6,46	0,00156

Враховуючи, що параметр $\alpha = f(T, \omega, H)$ він може бути представленим у загальному вигляді рівнянням

$$\alpha = A \cdot T^m \cdot \omega^n. \quad (5)$$

Для знаходження коефіцієнтів A , m , n складемо систему з трьох рівнянь, розв'язок якої дасть змогу знайти невідомі значення:

$$\begin{cases} \alpha_1 = A \cdot T_1^m \cdot \omega_1^n \\ \alpha_2 = A \cdot T_2^m \cdot \omega_2^n \\ \alpha_3 = A \cdot T_3^m \cdot \omega_3^n \end{cases} \quad (6)$$

Кожне рівняння відповідає певним параметрам, за яких проводилось сушіння:

$$\omega_1 = 1 \text{ м/с}; T_1 = 373 \text{ К}; \alpha_1 = 0,00189.$$

$$\omega_2 = 1,5 \text{ м/с}; T_2 = 373 \text{ К}; \alpha_2 = 0,0033.$$

$$\omega_3 = 1 \text{ м/с}; T_3 = 353 \text{ К}; \alpha_3 = 0,00173$$

Для того, щоб розв'язати систему рівнянь (6), представимо її у логарифмічному вигляді

$$\begin{cases} \lg \alpha_1 = \lg A + m \cdot \lg T_1 + n \cdot \lg \omega_1 \\ \lg \alpha_2 = \lg A + m \cdot \lg T_2 + n \cdot \lg \omega_2 \\ \lg \alpha_3 = \lg A + m \cdot \lg T_3 + n \cdot \lg \omega_3 \end{cases} \quad (7)$$

У результаті розв'язання системи рівнянь (7), отримали значення коефіцієнтів $A = 2,47 \cdot 10^{-8}$; $m = 1,9$; $n = 1,39$.

Тоді
$$\alpha = 2,47 \cdot 10^{-8} \cdot T^{1,9} \cdot \omega^{1,39}. \quad (8)$$

Отже, кінетичне рівняння (2), яке дає змогу прогнозувати сушіння ПА-6 у щільному шарі в першому умовному періоді, має вигляд:

$$\frac{W}{W_0} = \left(1 - 2,47 \cdot 10^{-8} \cdot T^{1,9} \cdot \omega^{1,39} \cdot \tau \cdot e^{-18,18 \cdot H}\right). \quad (9)$$

Рівняння кривої швидкості сушіння в другому періоді має такий вигляд:

$$-\frac{dW}{d\tau} = K \cdot (W - W_p) \quad (10)$$

де: K – коефіцієнт сушіння, $1/c$; $K = \chi \cdot N$, χ – відносний коефіцієнт сушіння, який є постійним для даного матеріалу, $1/\%$; N – швидкість сушіння у першому умовному періоді, $\%/c$.

Прологарифмувавши рівняння (10), отримаємо

$$\ln \frac{W - W_p}{W_{кр} - W_p} = -K \cdot (\tau - \tau_{кр}) \quad (11)$$

За рівнянням (11) видно, що коефіцієнт K рівний тангенсу кута нахилу прямої $\ln \frac{W - W_p}{W_{кр} - W_p} = f(\tau - \tau_{кр})$.

З визначених коефіцієнтів K розраховуємо відносний коефіцієнт сушіння χ .

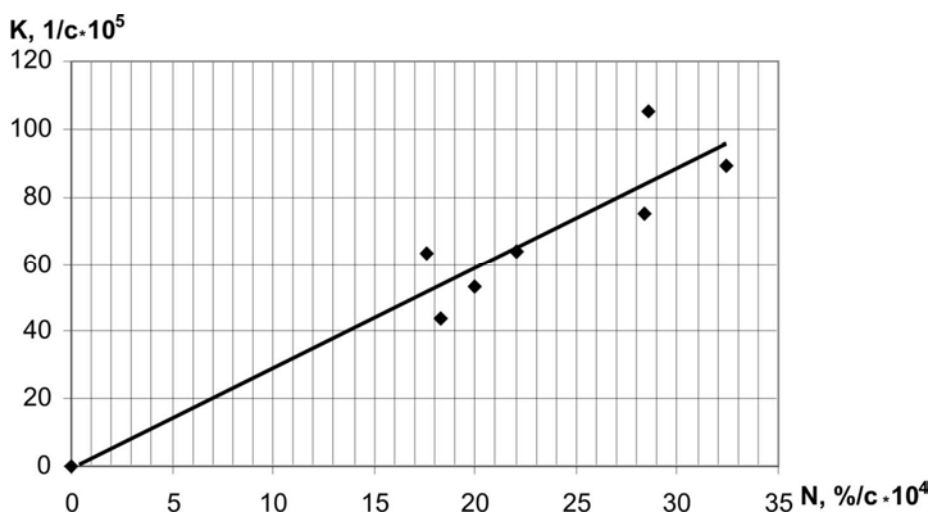


Рис. 5. Залежність коефіцієнта K від швидкості сушіння N

Коефіцієнт χ дорівнює тангенсу кута нахилу прямої $K=f(N)$

$$\chi = 0,3, 1/\%.$$

Тоді зміна вологості матеріалу в часі має такий вигляд:

$$W = (W_{кр.} - W_p) \cdot e^{-0,3 \cdot N \cdot (\tau - \tau_{кр.})} + W_p. \quad (12)$$

Оскільки $\tau_{кр.} = \frac{W_0 - W_{кр.}}{N}$, то рівняння (12) можна записати у вигляді

$$W = (W_{кр.} - W_p) \cdot e^{-0,3 \cdot N \cdot (\tau - \frac{W_0 - W_{кр.}}{N})} + W_p. \quad (13)$$

Висновок

Виконані експериментальні дослідження з кінетики сушіння ПА-6 у щільному шарі та розроблена математична модель дали змогу розраховувати, які параметри і якою мірою впливають на процес сушіння.

Порівняно із конвективним сушінням, зневоднення у щільному шарі дає змогу інтенсифікувати процес у 2,0-2,5 раза за одночасного зменшення питомих енергозатрат.

Література

1. Деклараційний патент України на винахід № 37729 А F26B3/06. Спосіб фільтраційного сушіння сипких матеріалів // Я.М. Ханик, І.О. Гузьова, В.М. Атаманюк, Л.З. Білецька / опубл. 15.05.2001. Бюл. № 4.

2. Гузьова І.О. Інтенсифікація фільтраційного сушіння сипких зернистих матеріалів / І.О. Гузьова, Я.М. Ханик, В.М. Атаманюк // Хімічна промисловість України. – К. – 2001. – № 4. – С. 17-19.

УДК 674.047 Проф. П.В. Білей, д-р техн. наук; ст. викл. І.А. Соколовський, канд. техн. наук; асист. І.В. Петришак, канд. техн. наук – НЛТУ України, м. Львів; інж. Ю.Л. Безноско – ДП "Хмельницьке ЛГ"

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ І ЗАГОТОВОК

Визначено ефективність використання теплової енергії в технологічних процесах виробництва пиломатеріалів і заготовок.

Prof. P.V. Biley; senior teacher I.A. Sokolovsky; assist. I.V. Petryshak – NUFWT of Ukraine, L'viv; eng. Yu.L. Beznosko – DP "Khmelnitske LG"

Efficiency of the use of thermal energy is in production of saw-timbers and purveyances

Certainly efficiency of the use of thermal energy in the technological processes of production of saw-timbers and purveyances.

У виробництві пиломатеріалів і заготовок із пиловника важливим є раціональне і комплексне використання деревини. Слід врахувати, що частка деревини у вартості пиломатеріалів і заготовок становить близько 80 %.

Першою технологічною операцією у лісопильному виробництві в зимовий період є розморожування колод (пиловника), яке здійснюють у відкритих басейнах з температурою $t=10...30$ °С. Тривалість розморожування залежить від породи і діаметра колоди. Тому колоди в басейні слід сортувати за породою і середнім діаметром – $\bar{D}$. Необхідну площу басейну на змінну роботу лісопильного цеху визначають за формулою

$$F = (\bar{D} \cdot \bar{L} \cdot n) / \beta, \text{ м}^2 \quad (1)$$

де: $\bar{L}$ – середня довжина колод, м; n – кількість колод на змінну роботу лісопильного цеху, шт; β – коефіцієнт заповнення площі басейну.

Розрахункова тривалість процесів:
повного розморожування

$$\tau_{n,p} = \frac{D^2}{16} \cdot \frac{q_p}{\lambda \cdot t_c}, \text{ с;} \quad (2)$$

часткового (поверхневого) розморожування

$$\tau_p = \left[\frac{D^2 - d^2}{16} - \frac{d^2}{8} \cdot \ln \left(\frac{D}{d} \right) \right] \cdot \frac{q_p}{\lambda \cdot t_c}, \text{ с.} \quad (3)$$