

3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ЛІСОВИРОБНИЧОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 674.047

*Проф. П.В. Білей, д-р техн. наук; доц. С.Г. Сеник,
канд. фіз.-мат. наук; доц. Н.Д. Довга, канд. фіз.-мат. наук;
доц. Й.Л. Ацбергер – НЛТУ України, м. Львів*

ГРАФОАНАЛІТИЧНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗКУ РІВНЯННЯ ВОЛОГОПРОВІДНОСТІ ДЕРЕВИНИ

Наведено графоаналітичні методи розв'язку рівняння вологопровідності деревини для різних схем розподілу вологості за товщиною матеріалу.

*Prof. P.V. Biley; assoc. prof. S.H. Senyk; assoc. prof. N.D. Dovha;
assoc. prof. Y.L. Atsberger – NUFWT of Ukraine, L'viv*

Graphic-analytical methods for solution of equation of wood hydraulic conductivity

Graphic-analytical methods for solution of equation of wood hydraulic conductivity for different ways of moisture distribution through the material thickness were reduced.

Графоаналітичний метод засновано на рівнянні балансу вологи на поверхні матеріалу в процесі сушіння. Інтенсивність сушіння чисельно дорівнює інтенсивності вологовіддачі β_c і густини потоку вологи $j=dW/d\tau$ до поверхні матеріалу

$$m = \frac{dM}{d\tau} \frac{1}{F} = \beta_c \rho_0 (U_n - U_p) = -a_m \rho_0 (\nabla U)_n, \quad (1)$$

або

$$\frac{dw}{d\tau} \frac{G_c}{F} = -a_m \rho_0 (\nabla U)_n = \beta_c \rho_0 (U_n - U_p). \quad (2)$$

Для застосування цього методу потрібно знати розподіл вологості всередині матеріалу у процесі сушіння. Розглянемо випадок без періоду постійної швидкості (рис. 1). На цьому рисунку: лінія ab – розподіл вологості в початковий період сушіння $\tau=0$; лінія $gfdec$ – розподіл вологості в будь-який момент часу; лінія a_1b_1 – розподіл вологості в рівноважному стані.

Для спрощення розв'язку задачі замінимо криву dec прямою dc або dfg – прямою dg , вважаючи розподіл за товщиною пластини (відносно осі симетрії) лінійною. У процесі сушіння нахил прямої dc наближається до прямої a_1b_1 . При такому припущенні $W = 0,5(U_n + U_p)$, а градієнт поверхневої вологості дорівнює:

$$a_m (\nabla U)_n = -\frac{a_m}{R} (U_n - U_p). \quad (3)$$

Приймаючи, що для необмеженої пластини $G_c/F = R\rho_0$, отримаємо

$$-\frac{dW}{d\tau} = \frac{a_m}{R^2} \left(\frac{1}{1/2 + 1/HR} \right) (W - W_p). \quad (4)$$

Порівнюючи виведене рівняння (4) з отриманим аналітично, бачимо, що воно відрізняється тільки числовими коефіцієнтами $1/2$ замість $4/\pi^2=0,405$. Таким чином, рівняння (8) є справедливим при розподілі вологості в деревині по лінії dc , тобто через деякий час, коли $F_0 > F_{01}$ або $E < E_1$.

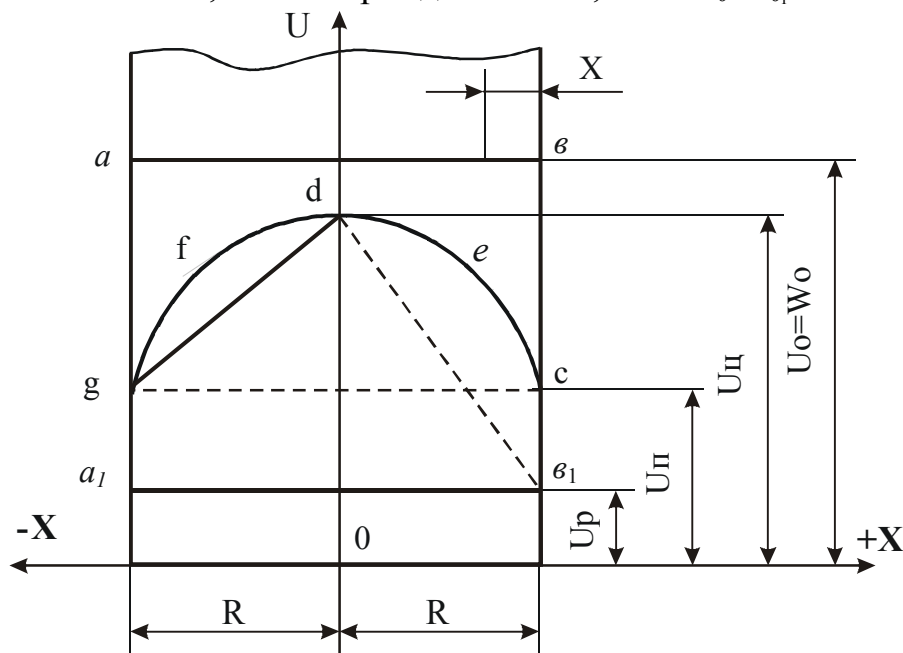


Рис. 1. Схема розподілу вологості за товщиною матеріалу

У початковий момент періоду спадаючої швидкості сушіння (коли $E > E_1$ і $HR \rightarrow \infty$) точка d_1 зміщується на віддаль x від поверхні, а потім переміститься всередину пластини, а поверхнева вологість наблизиться до рівноважного стану (тут $HR = \infty$; $U_n = U_p$, $E = 0,5$). У цьому випадку можна скористатися рівнянням:

$$-\frac{dW}{d\tau} R = a_m \frac{1}{x} (U_o - U_n) = \beta_c (U_n - U_p). \quad (5)$$

З рис. 1 випливає, що $W_o - W = \frac{x}{2R} (U_o - U_n)$, тоді при $E > E_1$ це рівняння матиме такий вигляд

$$-\frac{dW}{d\tau} = \frac{a_m}{2R^2} \left[\frac{(W_o - W_p)^2}{W_o - W} \left(1 - \frac{1}{1 + HR/3} \left(\frac{W - W_p}{W_o - W_p} \right) \right)^2 \right], \quad (6)$$

з якого

$$-\frac{dW}{d\tau} = \begin{cases} \frac{a_m}{R^2} 2(W - W_p), & \text{якщо } E < 0.5; \\ \frac{a_m}{R^2} \frac{1}{2} \frac{(W_o - W_p)^2}{W_o - W}, & \text{якщо } E \geq 0.5. \end{cases} \quad (7), (8)$$

Порівняємо отримані рівняння з точними розв'язками.

При $HR = \infty$ рівняння буде мати вигляд

$$\frac{W - W_p}{W_o - W_p} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n^1 \cdot \frac{1}{\mu_n} \exp \left(-\mu_n^2 \frac{a_m \tau}{R^2} \right), \quad (9)$$

$$\text{де: } \mu_n = (2n-1)\frac{\pi}{2}; \quad A'_n = \frac{1}{2n-1}\frac{4}{\pi}; \quad A'_n = A_n \sin \mu_n, \quad W_0 = W_{kp} = u_0 = u_y = u_0$$

При значенні критерію Фур'є $F'_0 > 0,1$ можна обмежитися одним членом ряду, тобто

$$\frac{W - W_P}{W_0 - W_P} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 a_m \tau}{4R^2}\right), \quad (10)$$

$$\text{звідки при } F'_0 > 0,1 \quad -\frac{dW}{d\tau} = \frac{\pi^2}{4} \frac{a_m}{R^2} (W - W_P) \quad (11)$$

При $F'_0 < 0,1$ замість ряду можна записати таке співвідношення

$$\frac{W - W_P}{W_0 - W_P} = 1 - 2\sqrt{\frac{a_m \tau}{\pi R^2}}, \quad (12)$$

$$\text{звідки} \quad -\frac{dW}{d\tau} = \frac{2}{\pi} \frac{a_m}{R^2} \frac{(W_0 - W_P)^2}{W_0 - W}. \quad (13)$$

Тобто, отримане графоаналітичним методом рівняння відрізняється від отриманого аналітичним методом коефіцієнтами. Замість $1/2 \in 2/\pi=0,64$, а замість коефіцієнта $2 \in \pi^2/2=2,5$.

Таким чином, графоаналітичний метод дає досить точну характеристику процесу сушіння.

Розглянемо випадок, коли період спадаючої швидкості сушіння є продовженням періоду постійної швидкості сушіння, тобто вологість в початковий момент розподілена за законом параболи (замість прямої де беремо гілку параболи). Підставивши середню вологість $\bar{W} = \frac{1}{3}(u_y + u_n)$ в рівняння

$$-a_m(\nabla U)_n = \frac{2a_m}{R}(u_y + u_n), \text{ отримаємо}$$

$$-\frac{dW}{d\tau} = \frac{a_m}{R^2} \left(\frac{1}{1/3 + 1/HR} \right) (W - W_P). \quad (14)$$

Отримане рівняння відрізняється від рівняння (5.29') тільки коефіцієнтом $1/3$ замість $1/2$, а при точному розв'язку коефіцієнт $\in 4/\pi^2=0,405$.

Розглянемо випадок, коли вологість всередині матеріалу розподілена не за законом параболи $U = U_{\text{ц}} - \left(\frac{x}{R}\right)^2 (U_{\text{ц}} - U_n)$, а за законом косинусоїди

$U = U_n + (U_{\text{ц}} - U_n) \cos \frac{\pi x}{2R}$, тоді середня вологість за товщиною матеріалу дорівнює:

$$\bar{W} = \frac{(\pi-2)U_n + 2U_{\text{ц}}}{\pi}. \quad (15)$$

Застосувавши попередні методи розв'язку, отримаємо рівняння, яке є тотожним аналітичному

$$-\frac{dw}{d\tau} = \frac{a_m}{R^2} \left(\frac{1}{\frac{4}{\pi^2} + \frac{1}{HR}} \right) (W - W_p). \quad (16)$$

Аналогічно можна отримати рівняння кривої сушіння для зразків кулястої або циліндричної форми. Приймаємо параболічний початковий розподіл вологості. Тоді середня вологість становить:

- для кулі

$$\bar{W} = \frac{3}{R^2} \int_0^R U r^2 dr = \frac{1}{5} (2U_u + 3U_n), \quad (17)$$

- для циліндра середня вологість

$$\bar{W} = \frac{2}{R^2} \int_0^R U r dr = \frac{1}{2} (U_u + U_n). \quad (18)$$

Застосовуючи основне рівняння

$$-\frac{dW}{d\tau} \frac{G_c}{F} = a_m \rho_0 (\nabla U)_n, \quad (19)$$

отримаємо значення кривої сушіння

- для кулі

$$-\frac{dw}{d\tau} = \frac{a_m}{R^2} \left(\frac{1}{\frac{1}{5} + \frac{1}{HR}} \right) (W - W_p), \quad (20)$$

- для циліндра

$$-\frac{dw}{d\tau} = \frac{a_m}{R^2} \left(\frac{1}{\frac{1}{4} + \frac{1}{HR}} \right) (W - W_p). \quad (21)$$

Рівняння кривої швидкості сушіння для регулярного режиму, отриманого з точного розв'язку, має такий вигляд:

$$-\frac{dW}{d\tau} = \mu_1^2 \frac{a_m}{R^2} (W - W_p). \quad (22)$$

При $HR = \infty$ перший корінь характеристичного рівняння становить для кулі $\mu_1^2 = \pi^2$, а для циліндра $\mu_1^2 = 2,405^2$. Тоді можна записати співвідношення:

- для кулі

$$\frac{1}{\mu^2} = \frac{1}{\pi^2} + \frac{1}{3HR}, \quad (23)$$

- для циліндра

$$\frac{1}{\mu^2} = \frac{1}{(2.405)^2} + \frac{1}{2HR}. \quad (24)$$

Рівняння кривої швидкості сушіння набуде вигляду:

- для кулі

$$-\frac{dW}{d\tau} = \frac{a_m}{R^2} \left(\frac{1}{\frac{1}{\pi^2} + \frac{1}{3HR}} \right) (W - W_p), \quad (25)$$

- для циліндра

$$-\frac{dW}{d\tau} = \frac{a_m}{R^2} \left(\frac{1}{\frac{1}{(2.405)^2} + \frac{1}{2HR}} \right) (W - W_p). \quad (26)$$

При тривимірному потоці вологи закон розподілу вологості за об'ємом матеріалу R_1 x, R_2 y, R_3 z запишеться рівнянням:

$$U = U_n + (U_y - U_n) \cos \frac{\pi x}{2R_1} \cos \frac{\pi y}{2R_2} \cos \frac{\pi z}{2R_3}. \quad (27)$$

Середня вологість за об'ємом

$$\bar{W} = \frac{1}{R_1 R_2 R_3} \int_0^{R_1} \int_0^{R_2} \int_0^{R_3} U dx dy dz = U_n + \frac{8}{\pi^3} (U_y - U_n). \quad (28)$$

Тоді

$$-\frac{dW}{d\tau} R_1 R_2 R_3 = a_m \left(\frac{\partial u}{\partial x} R_1 R_2 + \frac{\partial u}{\partial y} R_2 R_3 + \frac{\partial u}{\partial z} R_1 R_3 \right) = \beta_c (U_n + U_p) (R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3). \quad (29)$$

Після відповідних перетворень отримаємо рівняння кривої швидкості сушіння

$$-\frac{dW}{d\tau} = \frac{a_m}{R_c^2} \left(\frac{1}{\frac{4}{\pi^2} + \frac{1}{R_c H}} \right) (W - W_p), \quad (30)$$

де R_c – узагальнений характерний розмір тіла $R_c = R^2 / R_a$

$$\frac{1}{R^2} = \frac{1}{R_1^2} + \frac{1}{R_2^2} + \frac{1}{R_3^2}; \quad \frac{1}{R_a} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

Рівняння кривої сушіння для регулярного режиму $E < E_1$

$$-\frac{dW}{d\tau} = \frac{a_m}{R_c^2} \left(\frac{1}{C + \frac{\Pi}{HR_c}} \right) (W - W_p), \quad (31)$$

де: R_c – характерний розмір тіла; C, Π – постійні коефіцієнти, які залежать від геометричної форми тіла: для пластини $C=0,405$; $\Pi=1,0$; для необмеженого циліндра $C=0,173$; $\Pi=0,5=1/2$; для кулі $C=0,101$; $\Pi=0,33=1/3$; для паралелепіпеда $C=0,405$; $\Pi=R_a/R$.

Література

1. Білей П.В. Теоретичні основи теплового оброблення і сушіння деревини: Монографія. – Коломия: Вік, 2005. – 364 с.
2. Лабай В.Й. Тепломасообмін: Підручник. – Львів: Тріада Плюс, 1998. – 260 с.
3. Лыков А.В. Теория сушки. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1950. – 416 с.
4. Шубин Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 336 с.

УДК 66.684

*Проф. В.Л. Старчевський, д-р. техн. наук;
аспір. Н.Л. Максимів – НУ "Львівська політехніка"*

ЗМІНА ВЕЛИЧИН ХІМІЧНОГО СПОЖИВАННЯ КИСНЮ В ПРОЦЕСІ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД БАКТЕРІАЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Досліджено процес інактивації дріжджів з допомогою ультразвуку. Вимірювання величини хімічного споживання кисню (ХСК) використовувалось як індикатор концентрації органічного матеріалу. Результати показали, що під час озвучення в атмосфері кисню ХСК бактеріальної дисперсії зменшується на 50-61 % за 60 хв. Зменшення величини ХСК бактеріальної суспензії описується рівнянням 2-го порядку. Ефективність зменшення показника хімічного споживання кисню зростає зі збільшенням концентрації дріжджів. Застосування пероксиду водню не було ефективним, оскільки швидкість руйнування органічного матеріалу була низькою без ультразвуку.

Ключові слова: ультразвук, інактивація, хімічне споживання кисню, лізис

*Prof. V.L. Starchevsky; post-graduate N.L. Maksymiv –
NU "L'vivs'ka Politekhnik"*

The influence of chemical oxygen demand in the process of water purification from bacterial impurities

The inactivation of yeast cells during ultrasonic irradiation has been investigated. Chemical oxygen demand (COD) tests were used as the indicators of organic matter concentrations. Results indicated that sonication in the atmosphere of oxygen reduce 50-61 % of COD in 60 minutes. The COD decrease of bacterial suspension describes second-order behavior. The efficiency of decreases of the chemical oxygen demand increases according to the increase of concentration of yeast. The use of hydrogen peroxide was not effective because the rate of degradation of organic matter was low without ultrasound.

Keywords: ultrasound, inactivation, chemical oxygen demand, lysis.

Актуальність і постановка задачі. З кожним роком вимоги до якості води зростають. Традиційні технології водопідготовки не завжди ефективні. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є впровадження в практику водопідготовки нових методів очищення, знезараження та кондиціювання води. [1] Очищення води з допомогою ультразвуку (УЗ) характеризується простотою системи очищення, відсутністю токсичних побічних продуктів [2]. Бактерицидна дія УЗ не залежить від каламутності (в межах до 50 мг/дм³) і колірності води. Він поширюється як на вегетативні, так і на спорові форми мікроорганізмів і залежить лише від інтенсивності коливань та від морфологічних і фізіологічних особливостей бактеріального забруднення [3]. Ступінь