

Література

1. Информационные технологии в управлении предприятием. – М. : Изд-во "Три квадрата", 2004. – 158 с.
2. О'Лири Д. ERP системы. Современное планирование и управление ресурсами предприятия / Д. О'Лири. – М. : Изд-во "Вершина", 2004. – 272 с.
3. Шееп А.В. Моделирование бизнес-процессов / А.В. Шееп – М. : Изд-во Весть-Мета-Технология, 2000. – 175 с.
4. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.gartner.com/it-glossary/enterprise-resource-planning-erp/>
5. [Електронний ресурс]. – Доступний з http://www.idcukraine.com/about/press/ng/pressRelease-121-UA-ru_RU.jsp
6. [Electronic resource]. – Mode of access http://en.wikipedia.org/wiki/Stages_of_growth_model.
7. Nicholas G. Carr. Why IT doesn't matter anymore // Harvard Business Review. – June, 2003.

Семенюк А.Я. Бизнес-перспектива использования информационных технологий при реализации ERP-проекта на предприятии

Исследована роль информационных технологий и ресурсов как эффективных составляющих бизнес-процессов, а также подходы к внедрению и использованию современных ERP-систем в практику деятельности отечественных предприятий с целью повышения эффективности их деятельности. Рассмотрена совокупность вопросов научного обоснования теоретико-методических основ и прикладных инструментов управления ресурсами предприятия на основе проектного подхода (ERP-проекта). Обоснована необходимость и направления информатизации управления ресурсами предприятия с использованием проектного подхода.

Ключевые слова: ИТ, ERP-система, ИТ-проект, ERP-проект.

Semenyuk A.Ya. Business Perspective of the Use of Informational Technologies During the Enterprise ERP-Project

The role of informational technologies and resources as the effective elements of the business processes analyzed as well as approaches to implementing and using the modern ERP-systems in the functioning of the national enterprises to increase the effectiveness of their operational activities. Observed a set of questions and issues with theoretical and methodological basis for application management tools appliance, enterprise resource based project approach (ERP-project). The necessity of IT and enterprise resources management systems implementation using the project oriented approach.

Key words: IT, ERP-systems, IT-project, ERP-project.

УДК 674.047

**Проф. П.В. Білей, д-р техн. наук;
доц. І.А. Соколовський, канд. техн. наук – НЛТУ України, м. Львів**

ОСНОВИ ДИНАМІКИ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ

Розглянуто методику дослідження процесу сушіння, в основу якої закладено розв'язок диференційного рівняння вологопровідності. Показано, що для конвективного сушіння деревини низькотемпературними режимами температурний градієнт всередині матеріалу не впливає істотно на процеси внутрішнього вологоперенесення та вологовіддачі поверхні деревини. Знайдено вирази, які описують криві сушіння для періодів сталої і сповільненої швидкості сушіння. Вказано, які величини необхідно знаходити експериментальним шляхом для складання теоретичних рівнянь швидкості сушіння.

Ключові слова: деревина, вологість, вологовміст, вологопровідність, вологовіддача, швидкість сушіння, динаміка процесу сушіння, інтенсивність.

Вступ. Під час дослідження кінетики процесу сушіння необхідно визначати закономірності зміни середнього вологовмісту або вологості деревини та

зміни її температури залежно від тривалості процесу. Однак для розроблення технологічних режимів процесу сушіння потрібно дослідити розподіл вологовмісту і температури в матеріалі, тобто динаміку процесу сушіння. Знаходження полів вологовмісту $U_{(x,y,z,\tau)}$ і температури $T_{(x,y,z,\tau)}$ можливе шляхом розв'язку системи диференціальних рівнянь за відповідних початкових і граничних умов залежно від способу і режиму сушіння [1-4].

Виклад основного матеріалу. Система диференціальних рівнянь, які описують волого- і теплоперенесення у вологих матеріалах за відсутності фази льоду, має такий вигляд:

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial \tau} = k_{11} \nabla^2 U + k_{12} \nabla^2 T; \\ \frac{\partial T}{\partial \tau} = k_{22} \nabla^2 T + k_{21} \nabla^2 U; \end{cases} \quad (1)$$

де: $k_{11} = a_m$; $k_{12} = a_m^T = a_m \delta$; $k_{21} = a_{m1} = \frac{r_{12}}{C}$; $k_{22} = a_m^T = \frac{r_{11}}{C}$.

У позначеннях прийнято, що: a_m – це коефіцієнт вологопровідності деревини за температурою матеріалу (а на початку процесу сушіння – за температурою змоченого термометра – t_m); δ – коефіцієнт термовологопровідності; C – питома теплоємність деревини; r_{12} – теплота пароутворення всередині матеріалу; r_{11} – теплота пароутворення на поверхні матеріалу.

Основне диференціальне рівняння перенесення вологи всередині матеріалу за наявності температурного градієнта – Δt та градієнта вологовмісту – ΔU має вигляд:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a_m (\nabla^2 U + \delta \nabla^2 T). \quad (2)$$

Під час конвективного сушіння деревини низькотемпературними режимами температурний градієнт вирівнюється, тобто $\Delta t \rightarrow 0$, тоді

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a_m \nabla^2 U. \quad (3)$$

Щоб розв'язати рівняння (3), потрібно знати закон взаємодії між поверхнею матеріалу і середовищем (граничні умови) і розподіл вологості всередині матеріалу (початкові умови). Ці умови є різними для двох періодів сушіння (сталого і сповільненої швидкості), тому, розв'язуючи рівняння (3), можна визначити залежність між вологовмістом матеріалу (U) в будь-якій точці від тривалості сушіння – τ .

Для періоду сталої швидкості сушіння початковими умовами (коли $\tau = 0$) є $U_0 = \text{const}$ або $W_0 = \text{const}$. Тоді інтенсивність сушіння (J_1) визначається з формули

$$J = a_m \rho_0 (\nabla U)_{\text{нов}}, \frac{\kappa^2}{M^2 C}, \quad (4)$$

де ρ_0 – густина деревини в абсолютно сухому стані, кг/м³.

Тоді граничні умови набувають вигляду:

$$(\Delta U)_{нов.} + \frac{j}{a_m \rho_0} = 0. \quad (5)$$

Диференційне рівняння (3) для необмеженої пластини (широких пило-матеріалів, шпону) буде мати вигляд:

$$U = U_0 - \frac{j}{R \rho_0} \left[\tau - \frac{R^2 - 3x^2}{6a_m} + \frac{2R^2}{a_m} \sum_{m=1}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{n^2 \pi^2} \cos \frac{n\pi x}{R} \exp \left(-n^2 \pi^2 \frac{a_m \tau}{R^2} \right) \right]. \quad (6)$$

Із збільшенням тривалості сушіння (τ) значення суми стає дуже малим і, коли $F'o = a_m \tau / R^2 > 0,54$ нею можна нехтувати, тоді:

$$U = U_0 - \frac{j}{R \rho_0} \left(\tau - \frac{R^2 - 3x^2}{6a_m} \right). \quad (7)$$

Таким чином, коли $F'o = 0.54$ вологість в будь-якій точці пластини стає лінійною функцією, а розподіл вологості – параболічним. Середня (інтегральна) вологість $\bar{W}$ та вологовміст ($\bar{U}$) для пластини визначиться за формулою

$$\bar{W} = \bar{U} = \frac{1}{R} \int_0^R U dx. \quad (8)$$

Тоді

$$W = W_0 - \frac{100 j \tau}{R \rho_0} = W - N \tau,$$

де N – швидкість сушіння, тобто

$$N = \frac{100 j}{R \rho_0}, \text{ \% / с.} \quad (9)$$

Отримане рівняння ($W = W_0 - N \tau$) є рівнянням кривої сушіння (4) у період сталої швидкості сушіння (рівняння прямої) для будь-якого матеріалу, будь-якої геометричної форми з великою поверхнею випаровування – F .

З рівнянь (7) та кривої сушіння можна знайти вираз для визначення критичної вологості – $U_{кр.}$

$$U_{кр.} = U_0 - \frac{m}{R \rho_0} \left(\tau_1 + \frac{R^2}{3a_m} \right) \quad (10)$$

або

$$W_{кр.} = 100 \left(U_{кр.} + \frac{jR}{3a_m \rho_0} \right) = U_{кр.} + \frac{NR^2}{3a_m}. \quad (11)$$

З проведеної вище формули (11) видно, що значення критичної вологості залежить від режиму сушіння. Із збільшення швидкості сушіння і товщини матеріалу ($S1=2R$) зростає значення критичної вологості, а збільшення коефіцієнта теплопровідності веде до зменшення критичної вологості. Для товстих (і важкосохнучих) матеріалів критична точка настає швидше, ніж для тонких (і швидкосохнучих), а для певних товщин може бути вище за початкову вологість, тобто ділянка зміни вологості, яка відповідає періоду сталої швидкості сушіння, відсутня.

Для періоду сповільненої швидкості сушіння (від значення критичної вологості) початкові умови розподілу вологовмісту ($\tau=0$) можуть прийматись за

різними законами, переважно параболи або косинусоїди. Для параболи закон розподілу вологовмісту такий:

$$U = U_y - \left(\frac{x}{R}\right)^2 (U_y - U_{нов}), \quad (12)$$

де: x – віддал від центральної осі до точки, м; R – половина товщини матеріалу, м; U_y , $U_{нов}$ – відповідно вологовміст в центральних і поверхневих шарах матеріалу, кг/кг.

Для косинусоїди закон розподілу вологовмісту має такий вигляд:

$$U = U_0 + (U_y - U_{нов}) \cos \frac{\pi}{2R}. \quad (13)$$

У більшості випадків дослідження процесів сушіння деревини користуються параболічним законом розподілу вологовмісту в матеріалі. Але в процесах сушіння пиломатеріалів із твердих листяних порід (важкосохнучі матеріали) доцільно використовувати косинусоїдальний розподіл, який точніше описує градієнт поверхневої вологості матеріалу ($U_{нов} - U_p$).

Якщо період сталої швидкості сушіння відсутній, то на початку процесу ($\tau=0$) можна припустити, що $U_0 = \text{const}$. Граничною умовою є залежність:

$$J = \beta_c \rho_o + (U_{нов} - U_p). \quad (14)$$

У періоді сповільненої швидкості сушіння коефіцієнт вологовіддачі збільшується, а коефіцієнт вологопровідності змінюється за законом залежно від режиму сушіння, тому розв'язати диференціальне рівняння вологопровідності неможливо. Якщо прийняти, що на цей період часу $a_m = \text{const}$ та $\beta_c = \text{const}$, тоді граничною умовною буде:

$$a_m \rho_o (\Delta U)_{нов} + \beta_c \rho_o (U_{нов} - U_p) = 0. \quad (15)$$

У цьому випадку розв'язок диференційного рівняння буде мати такий вигляд:

$$U - U_p = \sum_{m=1}^{\infty} A_n \left[(U_{нов} - U_p) - 2(U_y - U_{нов}) \left(\frac{1}{HR} - \frac{1}{\mu_n^2} \right) \right] \cos \mu \frac{x}{R} \exp(-\mu_n^2 F_o'), \quad (16)$$

де: $HR = (\beta_c R / a_m)$ – критерій Нуссельта; F_o' – масообмінний критерій Фур'є; $A_n - \mu_n$ – функції критерію Нуссельта.

Рівняння (16) ще називають рівнянням кривої сушіння для періоду сповільненої швидкості сушіння за постійних значень коефіцієнтів вологопровідності ($a_m = \text{const}$) та вологовіддачі ($\beta = \text{const}$) з параболічним розподілом вологовмісту в початковий період сушіння. Швидкість сушіння визначається за рівнянням

$$\frac{dW}{d\tau} = -\frac{a_m}{R^2} \sum_{m=1}^{\infty} A_n \mu_n \left[(U_{нов} - U_p) - 2(U_y - U_{нов}) \left(\frac{1}{HR} - \frac{1}{\mu_n^2} \right) \right] \exp(-\mu_n^2 F_o'). \quad (17)$$

За малих значень тривалості сушіння (τ) ряд (17) швидко сходиться. Тобто для малих значень критерію Фур'є можна обмежитись одним членом ряду:

$$\frac{dW}{d\tau} - \mu_1^2 \frac{a_m}{R^2} (W - W_p), \text{ якщо } F_o' < F_o.$$

Кращого наближення для розрахунків швидкості сушіння дає вираз

$$\frac{1}{\mu^2} = \frac{4}{\pi^2} + \frac{1}{HR}. \quad (18)$$

Тоді отримаємо рівняння кривої швидкості сушіння

$$-\frac{dW}{d\tau} = \frac{a_m}{R^2} \left[\frac{4}{\pi^2} + \frac{1}{HR} \right] (W - W_p). \quad (19)$$

Для розв'язку отриманого рівняння (19) застосовують графоаналітичний метод.

Висновки. Наведені вище розв'язки диференціальних рівнянь є основою для складання методик дослідження процесів сушіння капілярно-пористих колоїдних матеріалів на прикладі деревини. Процес сушіння зазвичай поділяють на два періоди: сталої та сповільненої швидкості сушіння. Тому для дослідження цих періодів сушіння необхідно складати окремі методики. В їх основу необхідно закладати визначення експериментальним шляхом швидкості сушіння, вологості центральних і поверхневих шарів матеріалу, коефіцієнтів вологопровідності та вологовіддачі, а також критеріїв Нуссельта (Шервуда) та Фур'є.

Література

1. Білей П.В. Теоретичні основи теплової обробки і сушіння деревини : монографія / П.В. Білей. – Коломия : Вид-во "Вік", 2005. – 364 с.
2. Лыков А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М. : Изд-во Госэнергоиздат, 1950. – 416 с.
3. Лабай В.Й. Тепломасообмін : підручник / В.Й. Лабай. – Львів : Вид-во "Тріада-Плюс", 1998. – 260 с.
4. Білей П.В. Тепломасообмінні процеси деревообробки : підручник / П.В. Білей, І.В. Петришак, І.А. Соколовський, Л.Я. Сорока. – Львів : Вид-во ЗУКЦ, 2013. – 376 с.

Білей П.В., Соколовський І.А. Основы динамики процесса сушки

Рассмотрена методика исследования процесса сушки, в основу которой заложено решение дифференциального уравнения влагопроводности. Показано, что для конвективной сушки древесины низкотемпературными режимами температурный градиент внутри материала не влияет существенно на процессы внутреннего влагопереноса и влагоотдачи поверхности древесины. Найдено выражения, описывающие кривые сушки для периодов постоянной и спадающей скорости сушки. Указано, какие величины необходимо определять экспериментальным путем для составления теоретических уравнений скорости сушки.

Ключевые слова: древесина, влажность, влагосодержание, влагопроводность, влагоотдача, скорость сушки, динамика процесса сушки, интенсивность.

Bilei P.V., Sokolovsky I.A. Fundamentals of Drying Kinetics

The methods of drying process research that is based on the solution of the differential equation of moisture conductivity are studied. For the convective wood drying under low temperature a temperature gradient inside the material is shown to have almost no critical influence upon the processes of inner moisture and heat conductivity of the timber surface. Expressions that describe the drying curves for the periods of constant and slow rate of drying are found. Some values to be found experimentally in order to compile the theoretical equations for speed drying are proposed.

Key words: timber, humidity, moisture content, moisture conductivity, drying speed, drying kinetics, intensity.