

Для $\sigma_x(x, y)$ таке розбиття наведено на рис. 13, де заштриховані ділянки – це області в яких $\sigma_x(x, y)$ за характером дії є стискаючими, а в не заштригованих – стискаючими. Співвідношення їх розмірів є залежним від багатьох факторів, зокрема, від геометричних розмірів дошки, параметрів агента сушіння, фізико-механічних характеристик деревини тощо.

Однак, у загальному випадку, воно повинно задовольняти умову симетрії розподілу вологи $W(x, y)$ за товщиною дошки

$$W(x, y) = W(-x, y), \quad (3)$$

та умови рівноваги

$$\int_0^a \sigma_x(x, y, \tau) dy = 0; \quad (4)$$

$$\int_0^R \sigma_y(x, y, \tau) dy = 0; \quad (5)$$

$$\int_0^a \int_0^R \tau_{xy}(x, y, \tau) dx dy = -\frac{\Delta_1}{\Delta} S^4 \exp(-\mu_1^2 F_0). \quad (6)$$

Дійсно, із (4) – (5) витікає, що чим меншими є діапазони зміни додатних або від'ємних значень величин $\sigma_x(x, y)$, або $\sigma_y(x, y)$, тим більшими вони є за абсолютними значеннями. Підтвердженням отриманого висновку є порівняльний аналіз графіків на рис. 4, 5, згідно яких додатні значення $\sigma_x(x, a/2)$ в 1 ÷ 3,5 рази є більшими за від'ємні, а відповідні діапазони їх зміни відрізняються приблизно у 1,2 рази.

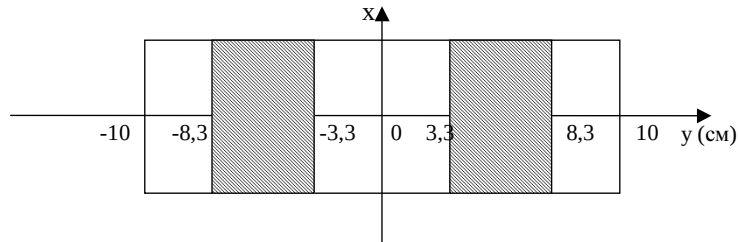


Рис. 13. Поперечний переріз соснової дошки шириною $2a = 20$ см і товщиною $2R = 20$ мм

Відповідно для проаналізованого НДС графічні залежності диференціальної усадки ΔU від зміни критерію Фур'є і відношення геометричних розмірів пиломатеріалів подані на рис. 12. Їх аналіз свідчить про те, що із збільшенням часу протікання процесу вологовидалення деревини величина ΔU зменшується від 150 мкм до нуля. Окрім цього, враховуючи аналогічний характер поведінки σ_x, σ_y і τ_{xy} у часі, зазначимо, що чим більших значень набуває ΔU , тим більшими є компоненти напружень.

Література

1. Уголев Б.Н., Лапшин Ю.Г., Кротов Е.В. Контроль напряжений при сушке древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 203 с.
2. Лапшин Ю.Г. Некоторые задачи деформирования материалов при переменной температуре и влажности // Изв. Вузов. Лесной журнал, 1970, №1. – С. 45-50.
3. Поберейко Б.П., Соколовський Я.І. Вплив анізотропії деревини на залежність диференціальної усадки з напружено-деформівним станом у висушуваних пиломатеріалах // Науковий вісник: Сучасні теоретичні розробки у деревообробному і меблевому виробництві. – Львів: УкрДЛТУ. – 2002, вип. 12.5. – С. 162-167.

УДК 066.47

Інж. Б.М. Микичак¹; д-р техн. наук, проф. Я.М. Ханик¹;
доц. В.М. Гербей², канд. техн. наук;
доц. І.М. Ільків¹, канд. техн. наук; інж. В.М. Кузьма¹

ГІДРОДИНАМІКА І КІНЕТИКА ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ ШПОНУ ПРИ СТВОРЕННІ ПЕРЕПАДУ ТИСКІВ ЗА РАХУНОК РОЗРІДЖЕННЯ

Наведено результати дослідження гідродинаміки і кінетики сушіння шпону при створенні перепаду тисків за рахунок розрідження, а також отримано розрахункові залежності, які дозволяють прогнозувати процес сушіння і розрахувати основні параметри сушильних агрегатів.

Eng. B.M. Mykychak; prof. Ya.M. Hanyk – NU "Lvivs'ka Politehnika";
doc. V.M. Gerbey – USUFWT; doc. I.M. Ilkyv;
eng. V.M. Kyzma – NU "Lvivs'ka Politehnika"

Hydrodynamics and kinetic of filtration drying process of the wooden material

Results of investigation of hydrodynamics and kinetic of the wooden material's drying process are presented in this work.

Сушіння шпону є складною проблемою як з енергетичної так і з точки зору отримання висушеного матеріалу високої якості [1]. Існує ряд методів і сушильних агрегатів для зневоднення шпону [1]. Однак, вони характеризуються громіздкістю, великою металоємністю, і не дозволяють отримати висушений матеріал високої якості.

Одним з методів, який дозволяє усунути зазначені вище недоліки, являється метод фільтраційного сушіння [2], який полягає в тому, що теплоносії контактує з внутрішньою поверхнею шпону, внаслідок його проходження через пористу структуру матеріалу за рахунок створення перепаду тисків. Як доведено в ряді робіт, в яких наведені результати фільтраційного сушіння матеріалів різної структурної модифікації, швидкість процесу сушіння залежить від температури теплоносія, створеного перепаду тисків, товщини шпону, а ефективність процесу визначається затратами енергії для створення заданого гідродинамічного режиму і часом обезводнення до необхідної вологості.

¹ НУ "Львівська політехніка"

² УкрДЛТУ

Перепад тисків може створюватися за рахунок розрідження під перфорованою перегородкою, на якій розміщений матеріал, або за рахунок створення надлишкового тиску над матеріалом.

Кожен із вказаних методів має свої переваги і недоліки. Створення перепаду тисків за рахунок розрідження має той недолік, що максимальне значення ΔP становить 0,8–0,9 кгс/см², в той же час реалізація у промислових умовах не викликає великих труднощів. Створення ΔP за рахунок надлишкового тиску над поверхнею висушуваного шпону дозволяє реалізувати процес в широкому діапазоні зміни швидкостей руху через матеріал (широкий діапазон зміни перепаду тисків) і досягати короткої тривалості процесу сушіння. Однак, реалізація такого фільтраційного сушіння у промислових умовах достатньо складна. У даній роботі наводяться результати дослідження гідродинаміки і кінетики сушіння шпону при створенні ΔP за рахунок розрідження під перфорованою перегородкою.

Вивчення гідродинаміки процесу фільтраційного сушіння дозволяє зробити висновок про гідравлічний опір матеріалу при певних швидкостях руху теплоносія через нього, що має важливе значення для прогнозування кінетики сушіння досліджуваного матеріалу, енергетичні затрати на створення ΔP і за наявності кінетичних залежностей – про доцільність застосування фільтраційного сушіння до обезводнення шпону.

Результати дослідження гідродинаміки сухого шпону товщиною $1,5 \cdot 10^{-3}$ м (рис. 1), які показують параболічну залежність гідравлічного опору матеріалу від швидкості руху теплоносія і свідчать про те, що на його величину впливають як в'язкісні, так і інерційні сили. Досліди проводились при інших геометричних характеристиках шпону. Узагальнення результатів досліджень проводилось за допомогою рівняння Ергана [3]:

$$\frac{\Delta P}{H} = K \cdot \frac{\mu \cdot F^2}{32 \cdot \epsilon^3} \cdot \omega_0 + M \cdot \frac{F \cdot \rho}{8 \cdot \epsilon^3} \cdot \omega_0^2 \quad (1)$$

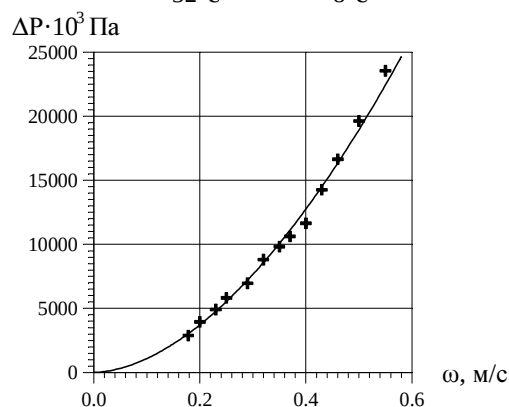


Рис. 1. Залежність гідравлічного опору шпону від швидкості теплоносія, $H=1,5 \cdot 10^{-3}$ м

$$K \cdot \frac{\mu \cdot F^2}{32 \cdot \epsilon^3} = A; \quad M \cdot \frac{F \cdot \rho}{8 \cdot \epsilon^3} = B \quad (2)$$

Тоді, рівняння (1) матиме вигляд:

$$\frac{\Delta P}{H} = A \cdot \omega_0 + B \cdot \omega_0^2 \quad (3)$$

На основі результатів експериментальних досліджень визначені комплексні коефіцієнти А і В. Для досліджуваного матеріалу $A = 2,3 \cdot 10^7 \frac{\text{кгс}}{\text{с} \cdot \text{м}^3}$; $B = 3,3 \cdot 10^6 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^4}$. У діапазоні швидкостей фільтрації 0,05–0,8 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ отримана залежність добре узгоджується з дослідними даними. Відносна похибка не перевищує 10–12 %.

Дослідження по кінетиці сушіння проводились у діапазоні температур 50–100 °С (що дозволяє забезпечити високу якість висушеного шпону і зменшити енергозатрати) та при перепадах тисків 0,2–0,85 $\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$. Результати кінетики сушіння шпону (рис. 2, 3) показують, що криві характеризуються першим і другим періодами.

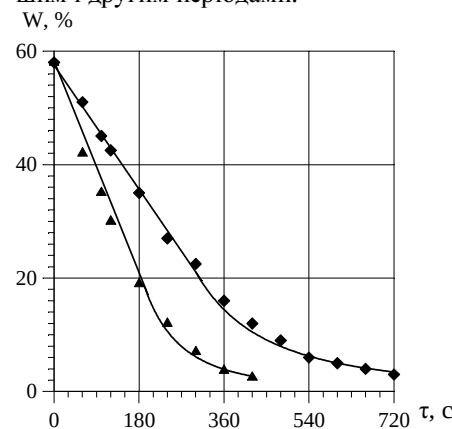


Рис. 2. Кінетика сушіння шпону $H=1,5 \cdot 10^{-3}$ м, $\Delta p=0,82 \text{ кгс/см}^2$, $T_1=75^\circ \text{C}$, $T_2=50^\circ \text{C}$

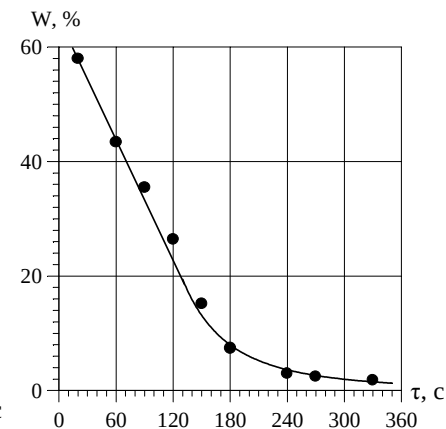


Рис. 3. Кінетика сушіння $H=1,5 \cdot 10^{-3}$ м, $\Delta p=0,82 \text{ кгс/см}^2$, $T_1=120^\circ \text{C}$

Аналізуючи експериментальні дані, варто відмітити, що час сушіння скорочується майже у 4 рази порівняно з існуючими методами при порівняно низьких температурах, що використовуються у виробництві (≈ 180 – 200°C).

Узагальнення результатів проводились за допомогою залежності, описаної у роботі [2], яка дозволяє прогнозувати зміну вологості в часі до досягнення критичної вологості:

$$\frac{W}{W_0} = 1 - \alpha \cdot \tau \cdot e^{-a \cdot H} \quad (4)$$

де α і " a " кінетичні коефіцієнти, які визначаються із експериментальних даних: α [1/м]; " a " [1/с]. Коефіцієнт " a " залежить від природи і структури матеріалу, а величина α – від параметрів процесу.

Залежність коефіцієнта α від параметрів процесу може бути описана таким рівнянням.

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

Рівняння (4) з доповненням рівняння (5) можна представити у вигляді:

$$\frac{W}{W_0} = 1 - A \cdot T^m \cdot \Delta P^n \cdot \tau \cdot e^{-a \cdot H} \quad (6)$$

На основі узагальнення результатів досліджень згідно з рівняннями (4) і (5) отримані конкретні значення коефіцієнтів пропорційності і показників степеней. Із врахуванням зазначеного рівняння (6) матиме вигляд: для $W \leq W_{кр.}$

$$\frac{W}{W_0} = 1 - 4,3 \cdot 10^{-5} \cdot T^{1,2} \cdot \Delta P^{0,3} \cdot \tau \cdot e^{-760 \cdot H}. \quad (7)$$

Рівняння (7) дозволяє прогнозувати сушіння березового шпону при вказаних нами умовах в широкому діапазоні параметрів до досягнення $W_{кр.}$, яке для досліджуваного матеріалу дорівнює: $W_{кр.} = 16\%$. Сушіння у другому періоді описується рівнянням [4]:

$$\frac{W - W_p}{W_{кр.} - W_p} = e^{-\chi \cdot N \cdot (\tau - \tau_{кр.})} \quad (8)$$

Однак, N , виходячи з рівняння для першого умовного періоду, дорівнює:

$$N = \frac{W_0 - W_{кр.}}{\tau_{кр.}} = \frac{(W_0 - W_{кр.}) \cdot \alpha \cdot e^{-a \cdot H}}{1 - W_{кр.} / W_0} \quad (9)$$

Відносний коефіцієнт сушіння χ для досліджуваного матеріалу становить: $\chi = 3,09 \cdot 10^{-2} 1/\%$. Рівняння (8) з врахуванням рівняння (9) матиме вигляд:

$$\frac{W - W_p}{W_{кр.} - W_p} = \text{Exp} \left(-3,09 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(W - W_{кр.}) \cdot \alpha \cdot e^{-a \cdot H} \cdot (\tau - \tau_{кр.})}{1 - W_{кр.} / W_0} \right). \quad (10)$$

Рівняння (10) може бути представлено та у вигляді:

$$W = (W_{кр.} - W_0) \cdot \text{Exp}(-3,09 \cdot 10^{-2} \cdot N \cdot (\tau - \tau_{кр.})) + W_p. \quad (11)$$

Залежності (7) і (10) добре узгоджуються з експериментальними даними. Отримані кінетичні рівняння (7) і (10) з врахуванням рівняння гідродинаміки процесу дозволяють прогнозувати сушіння шпону і лежать в основі розрахунку нових сушильних агрегатів, а також оптимальних умов сушіння.

Умовні позначення: μ – в'язкість повітря, Па·с; F – питома поверхня, $\text{м}^2/\text{м}^3$; ε – вільний об'єм, $\text{м}^3/\text{м}^3$; ρ – густина повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$; ΔP – перепад

тисків, Па; H – товщина стінки матеріалу, м; W_0 – початкова вологість матеріалу, %; W – текуча вологість матеріалу, %; $W_{кр.}$ – критична вологість матеріалу, %; W_p – рівноважна вологість, %; τ – поточний час, с; $\tau_{кр.}$ – критичний час сушіння, с; T – температура, $^\circ\text{C}$; χ – відносний коефіцієнт сушіння, $1/\%$; N – швидкість сушіння у першому періоді, $\%/с$.

Література

1. Кречетов И.В. Сушка и защита древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 328 с.
2. Ханьк Я.Н. Фильтрационная сушка плоских проницаемых материалов.: Автореферат дис. д-р техн. наук – Львов, 1993. – 36 с.
3. Азров М.Э., Тодес О.М., Норинский Д.А. Аппараты со стационарным слоем. Л.: Химия, 1979. – 176 с.
4. Лыков. А.В. Теория сушки. – М.: Госэнергоиздат, 1950. – 416 с.

УДК 647.047

Доц. І.М. Озарків, канд. техн. наук – УкрДЛТУ

ОСОБЛИВОСТІ ВНУТРІШНЬОГО ТЕПЛО-І ВОЛОГОПЕРЕНОСЕННЯ У ПРОЦЕСІ КОНВЕКТИВНО-РАДІАЦІЙНОГО СУШІННЯ ДЕРЕВИНИ

Розкривається специфіка комбінованого сушіння деревини. Наводяться рівняння, що описують даний процес сушіння.

Doc. I.M. Ozarkiv – USUFWT

Salient features of interior heat and moisture transfer during convective-radiative wood drying

Specific features of combined method of wood drying have been described. Equations describing wood drying, have been presented.

Проникнення інфрачервоних променів на певну глибину для деревини зумовлює специфічні особливості внутрішнього тепло-і масообміну у процесі конвективно-радіаційного сушіння деревини. Зокрема, перенесення променевої енергії у середині твердого тіла, у першу чергу, буде визначатися спектральними терморадіаційними характеристиками: коефіцієнтами відбивання, пропускання і поглинання.

Аналіз температурних кривих при інфрачервоному (ІЧ) опроміненні показав, що у деревині відбувається глибинне прогрівання шарів її за рахунок проникнення ІЧ-променів в матеріал.

Для тонких матеріалів, що мають більш розвинену питому зовнішню поверхню, точка максимуму кривої розподілення температури буде більш повною і точніше відповідати глибині проникнення променів. Необхідно зазначити, що в міру зростання глибини проникнення у середину тіла буде збільшуватися й товщина шару матеріалу, де буде розподілятися променева енергія. Тому питання про величину глибини проникнення ІЧ-випромінювання в об'єкт сушіння і про форми внутрішніх джерел тепловиділення є ключо-