

3. ГОСТ 27181-86. Шкурка шлифовальная для обработки труднообрабатываемых материалов. Технические условия.

4. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. – М.: Машиностроение, 1974.

5. Паньков Л.А., Костин Н.В. Обработка инструментами из шлифовальной шкурки. – Л.: Машиностроение Ленинград. отд-ние, 1988. – 235 с.

6. Щеголев В.А., Уланова М.Е. Эластичные абразивные и алмазные инструменты. – Л.: Машиностроение, 1977. – 184 с.

7. Яцюк А.И. Новый способ механической обработки древесины/ Шлифование древесины абразивными кругами. – Львов: Вища школа, 1975. – 256 с.

УДК 66.047

*Аспір. І.О. Гузьова; проф. Я.М. Ханик, д.т.н.;
доц. В.М. Атаманюк, к.т.н. – ДУ "Львівська політехніка"*

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ДИСПЕРСНОГО МАТЕРІАЛУ В ЩІЛЬНОМУ ШАРІ

Розглянута проблема сушіння дисперсних матеріалів у щільному шарі, коли теплоносій подається в напрямку – "шар матеріалу – перфорована перегородка". Проведені дослідження з вивчення зміни вологості дисперсної кавової сировини в часі при різних параметрах. Згідно з представленою математичною моделлю знайдені кінетичні коефіцієнти, які дають можливість прогнозувати процес сушіння в широкому діапазоні зміни параметрів процесу.

Mathematical model of drying process of disperse materials

The article is devoted to the theoretical and experimental investigations of the filtration drying of disperse materials (coffee). The experimental results are presented and the computation dependencies for predicting the process kinetics are established.

Фільтраційне сушіння, як показано в ряді робіт [1,3] плоских газопроникних матеріалів різної структурної модифікації і природи зв'язку вологи з матеріалом, має ряд переваг перед традиційними методами сушіння як з точки зору інтенсивності процесу, так із точки зору зменшення питомих енергетичних затрат. Однак було встановлено, що особливості структури листового матеріалу і його фізико-хімічні властивості визначають значною мірою швидкість протікання процесу, затрати енергії, кінетику сушіння і його механізм.

Так, при сушінні капілярно-пористих матеріалів, які характеризуються макropористою будовою, кінетика сушіння супроводжується наявністю механічного витіснення і винесення вологи, умовними першим і другим періодами. Умовні періоди мають таку назву у зв'язку з тим, що за формою вони відповідають першому і другому періодові конвективного сушіння. Однак фізична суть фільтраційного сушіння, яка при цьому проявляється (динаміка процесу) принципово відрізняється від механізму конвективного процесу.

Під час сушіння капілярно-пористих колоїдних матеріалів (різного роду картонні вироби) кінетика процесу значно відрізняється від кінетики фільтраційного сушіння капілярно-пористих матеріалів. Відсутнє механічне витіснення і винесення вологи, а швидкість протікання процесу можна розбити умовно на три періоди – період сповільненого сушіння, який становить 60-70 % від усього часу зневоднення матеріалу, умовний перший і другий періоди. Характерним є те, що швидкість сушіння постійно збільшується, аж до другого умовного періоду, із зниженням вологості і збільшенням проникності матеріалу [2].

Особливу увагу привертає проблема сушіння дисперсних матеріалів у щільному шарі як з наукової точки зору, так і з практичної, коли теплоносій подається в напрямку – "шар матеріалу – перфорована перегородка". В такому випадку при певних перепадах тисків суцільність шару не порушується, а може змінюватися лише його вільний об'єм за рахунок усадкових явищ і зменшення вологості матеріалу [4].

Сушіння дисперсних матеріалів вказаним методом можна розглядати в одному випадку як сушіння в щільному шарі, а в іншому – як фільтраційне сушіння. Різниця обох термінів полягає в особливостях протікання процесу, який залежить від розмірів частин шару, їх форми і властивостей. Якщо розмір частин є таким, що канали між частинами співрозмірні з діаметром макрокапілярів, то процес характеризується ознаками власне фільтраційного сушіння – наявність механічного винесення вологи, зональний характер перенесення вологи і зміни температури, високий ступінь використання теплової енергії. Швидкість процесу висока і лімітується молярною, а не молекулярною дифузією.

Якщо частини шару є такими, що канали між ними значно перевищують розміри макрокапілярів, то ознаки фільтраційного сушіння проявляються незначно, а на кінетику сушіння домінуючий вплив має молекулярна дифузія, якщо частини мають власну пористу структуру.

У третьому випадку процес характеризується ознаками фільтраційного сушіння, але одночасно на процес масообміну має значний вплив і молекулярна дифузія. Це можна спостерігати при сушінні дисперсних матеріалів, які мають виражені усадкові здатності, а їх форма близька до пластин. У такому випадку, тривалий період сушіння між окремими частинами шару в напрямку руху теплоносія домінує молярна дифузія, а між частинами, які розміщені площинами перпендикулярно до напрямку руху газового потоку – молекулярна дифузія. Дослідження процесу сушіння таких дисперсних матеріалів проводилося на прикладі відходів кавового виробництва. Вивчення сушіння вказаного матеріалу має як науковий, так і прикладний характер.

Головна операція під час виробництва розчинної кави – екстрагування розчинних речовин з кавових зерен. При цьому, після вилучення екстракту, залишаються відходи (коло 70 % від вихідної сировини). На даний час вони на ряді виробництв викидаються, що призводить до забруднення довкілля і великих економічних втрат, тоді як можливі різноманітні шляхи використання кавового шламу в багатьох галузях народного господарства. А саме: вилучення з нього жирів, які використовуються в харчовій промисловості та медицині, використання кавового шламу як сухого палива.

Однак у всіх випадках для подальшого використання кавового шламу його необхідно висушувати. Враховуючи фізико-хімічні властивості шламу, можна стверджувати, що конвективний метод сушіння в даному випадку є малоефективним. Це є причиною значних енергетичних затрат, тривалості процесу, очищення газового потоку і, в кінцевому результаті, – відмови від подальшої переробки твердої фази.

Для розв'язання проблеми нами був запропонований фільтраційний метод, який можна також розглядати і як сушіння в щільному шарі, коли теплоносій ру-

хастється в напрямку до перфорованої решітки, на якій розміщений шар. Під час сушіння такої сировини має вплив як молярна, так і молекулярна дифузія.

Нами були проведені дослідження з вивчення зміни вологості в часі при різних параметрах. На рис. 1 представлено результати дослідження кінетики сушіння для різних висот сипкого матеріалу.

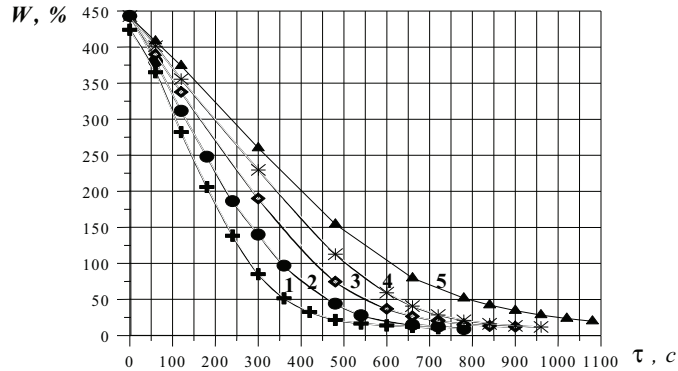


Рис. 1. Зміна вологості в часі при постійних перепадах тисків по сухому матеріалу ($\Delta p_{\text{сх}} = 2550,6 \text{ Па}$) і температурі теплоносія ($T=45^\circ\text{C}$) для різних висот сипкого матеріалу. 1 – $H=30 \text{ мм}$; 2 – $H=40 \text{ мм}$; 3 – $H=45 \text{ мм}$; 4 – $H=55 \text{ мм}$; 5 – $H=60 \text{ мм}$.

Як видно із графічних залежностей, при будь-яких параметрах процесу кінетичні криві характеризуються чітко вираженим першим і другим умовними періодами. Тривалість другого періоду до досягнення кінцевої вологості $W_k = 10-12\%$ є значно меншою в часі за перший період. Дослідження показали, що температура теплоносія має значний вплив на кінетику сушіння. Наприклад, при $T=35^\circ\text{C}$ і $\Delta p_{\text{сх}} = 2550,6 \text{ Па}$ перший умовний період більший від другого приблизно в 1,5 рази, а при $T=75^\circ\text{C}$ – майже в 3 рази. Збільшення перепаду тисків по сухому матеріалу має менш суттєвий вплив. При $\Delta p_{\text{сх}} = 1275,3 \text{ Па}$ перший умовний період більший від другого приблизно в 1,4 рази, а при $\Delta p_{\text{сх}} = 3924 \text{ Па}$ – в 1,8 рази.

Отже, короткочасність другого умовного періоду підтверджує економічну доцільність сушіння кавового шлану фільтраційним методом. Разом з тим, високі значення критичних вологостей характеризують значний вплив молекулярної дифузії в шарі.

Для узагальнення результатів використовувалась математична модель, що описана в [1,2]. Математична модель першого умовного періоду базується на диференціальних рівняннях матеріального балансу та кінетики сушіння:

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

де: $a = \frac{\Pi \cdot m \cdot n}{0,622 \cdot P_s}$; $m = \frac{\rho \cdot F}{100 \cdot M}$; $n = S \cdot K \cdot P_s$; Π – барометричний тиск, Па; P_s – тиск насиченої пари, Па; K – коефіцієнт випаровування, $\text{кг}_{\text{волог}}/\text{н}^{\circ}\text{C}$; S – внутрішня поверхня, м^2 ; F – питома поверхня, $\text{м}^2/\text{м}^3$; ρ – густина сушильного агента, $\text{кг}/\text{м}^3$; M –

масова швидкість $\text{кг}/\text{м}^3 \cdot \text{с}$; φ – відносна вологість повітря; H – висота шару матеріалу, м; τ – час, с.

Розв'язування даної системи [1] приводить до кінетичного рівняння першого умовного періоду

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

де W_0 – початкова вологість %; τ – поточний час сушіння, с.

Коефіцієнти "а" і "α" визначаються виходячи з дослідних даних. Представимо рівняння (2) у вигляді:

$$\ln\left(\frac{1 - W/W_0}{\tau}\right) = \ln \alpha - a \cdot H. \quad (3)$$

Побудуємо кінетичні криві (перший умовний період) у координатах $\ln\left(\frac{1 - W/W_0}{\tau}\right) = f(H)$ (рис 2).

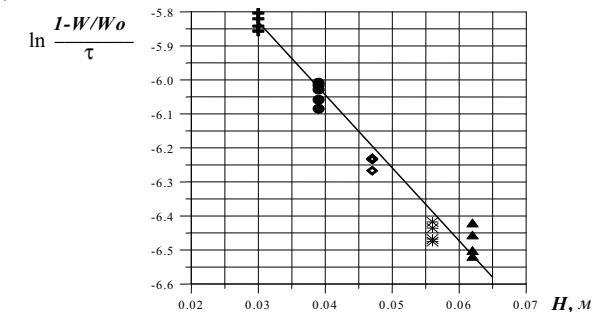


Рис. 2. Кінетичні криві зміна вологості в часі

Із графічної залежності визначаємо кінетичний коефіцієнт α , що залежить від гідродинаміки процесу і температури теплоносія і коефіцієнт а, який є постійним для даного матеріалу.

Згідно з експериментальними даними $\alpha = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ 1/с}$; $a = 22,14 \text{ 1/м}$.

Залежність кінетичного коефіцієнта α від параметрів процесу може бути представлена рівнянням

$$\alpha = A \cdot t^n \cdot \Delta p_c^m, \quad (4)$$

де t – температура теплоносія $^\circ\text{C}$, Δp_c – перепад тисків по сухому матеріалу, Па.

Виходячи з того, що експерименти проводилися при різних гідродинамічних режимах та температурах теплоносія, маємо можливість знайти коефіцієнти A , n , m , що входять в рівняння (4) для кавового шлану.

Отже, кінетичне рівняння (4), яке дозволяє прогнозувати фільтраційне сушіння кавового шлану в першому умовному періоді має вигляд:

$$\frac{W}{W_0} = 1 - 1,7 \cdot 10^{-6} \cdot t^{0,97} \cdot \Delta p_c^{0,55} \cdot \tau \cdot e^{-22,14 \cdot H}. \quad (5)$$

Перевірка отриманої моделі шляхом співставлення розрахункових та експериментальних даних, представлена на рис. 3, свідчить про хороше узгодження моделі з експериментальними даними. Відносна похибка не перевищує 15 %.

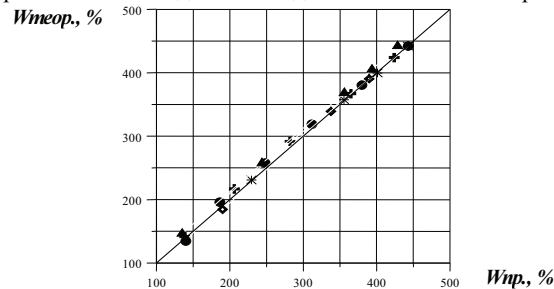


Рис. 3. Співставлення розрахункових та експериментальних даних

Рівняння кривої швидкості сушіння у другому періоді [5] має вигляд:

$$-\frac{dW}{d\tau} = K(W - W_p), \quad (6)$$

де: $K = \chi \cdot N$, W_p – рівноважна вологість, %; K – коефіцієнт сушіння, який залежить від режиму сушіння (прямопропорційний N), 1/с; N – швидкість сушіння в першому періоді, %/с; χ – відносний коефіцієнт сушіння, що залежить від властивостей матеріалу та від його початкової вологості, 1/ %.

Інтегруючи рівняння (6), отримаємо:

$$\frac{W - W_p}{W_{кр} - W_p} = e^{-K(\tau - \tau_{кр})} = e^{-\chi \cdot N \cdot (\tau - \tau_{кр})} \quad (7)$$

де $W_{кр}$ – критична вологість матеріалу, %.

Прологарифмувавши цей вираз

$$\ln \left(\frac{W - W_p}{W_{кр} - W_p} \right) = -K \cdot (\tau - \tau_{кр}),$$

визначаємо коефіцієнт K для різних режимів сушіння, виходячи із залежності: $\ln(W - W_p) = f(\tau)$

$$K = -\frac{\ln \left(\frac{W_1 - W_p}{W_2 - W_p} \right)}{\tau_2 - \tau_1},$$

де W_1 , W_2 – експериментальні значення вологості матеріалу відповідно для часу τ_1 , τ_2 .

Відносний коефіцієнт сушіння χ визначається як тангенс кута нахилу прямої $K = \chi \cdot N$ з рис. 4.

Отже, $\chi = 0,0061$ 1/ %. З метою використання рівняння (7) визначимо критичний час сушіння:

$$\tau_{кр} = \frac{W_0 - W_{кр}}{W_0 \cdot \alpha \cdot e^{-\alpha \cdot H}}. \quad (8)$$

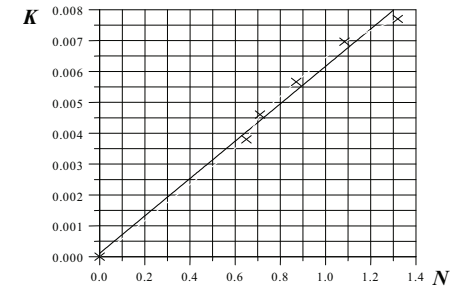


Рис. 4. Визначення відносного коефіцієнта сушіння χ

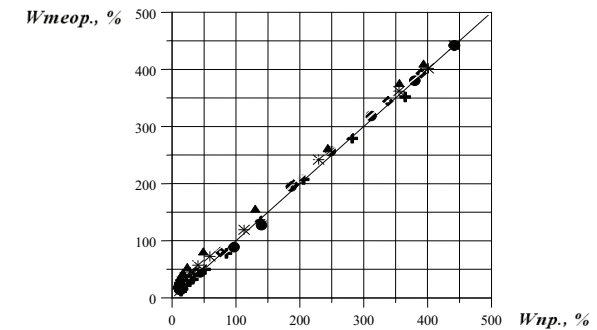


Рис. 5. Розрахункові та експериментальні значення вологості для першого і другого умовних періодів

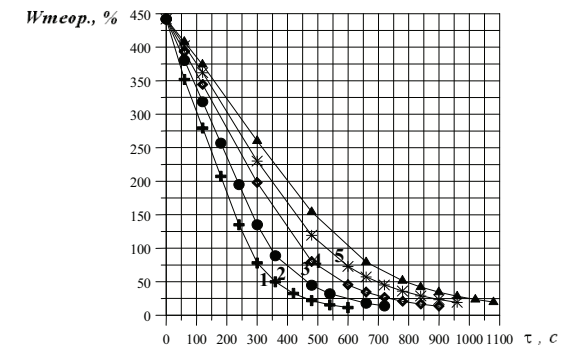


Рис. 6. Теоретичні криві зміни вологості в часі при постійній перепаді тиску по сухому матеріалу ($\Delta p_{сух} = 2550,6$ Па) і температурі теплоносія ($T=45$ °C) для різних висот сипкого матеріалу: 1 – $H=30$ мм; 2 – $H=40$ мм; 3 – $H=45$ мм; 4 – $H=55$ мм; 5 – $H=60$ мм

Швидкість в першому умовному періоді визначається з рівняння

$$N = W_0 \cdot \alpha \cdot e^{-\alpha \cdot H}. \quad (9)$$

Рівняння (5,7,8,9) дають можливість прогнозувати процес сушіння досліджуваного матеріалу у щільному шарі в широкому діапазоні зміни параметрів процесу. На рис. 5 представлено порівняння розрахункових та експериментальних значень вологості для першого і другого умовних періодів. Відносна похибка не перевищує 15 %.

На рис. 6 наведені кінетичні криві сушіння побудовані за розрахунковими залежностями.

Отримані результати теоретичних та експериментальних досліджень можуть бути використані для створення високоефективного сушильного агрегату, який реалізує фільтраційний метод сушіння відходів кавової сировини.

Література

1. Ханьк Я.Н. Фильтрационная сушка плоских проницаемых материалов. – Диссертация доктора техн. наук. – Львов, 1992. – 401 с.
2. Атаманюк В.М. Гідродинаміка та масообмін в процесі фільтраційного сушіння хімічного волокна/ Диссертация канд. техн. наук. – Львів, 1995.
3. Білецька Л.З. Комбіноване фільтраційне сушіння листових капілярно-пористих колоїдних матеріалів/ Диссертация канд. техн. наук. – Львів, 1996.
4. Дулеба В.П. Фільтраційне сушіння осадженого поліакриламід. – Диссертация канд. техн. наук. – Львів, 1997.
5. Лыков А.В. Теория сушки. – 1968. – 471 с.

УДК 674.093:658.567 Проф. І.М. Заяць, к.т.н.; аспір. О.В. Шувалюк – УкрДЛТУ

ДО ПИТАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ГОРБИЛІВ

За допомогою комп'ютерної техніки проаналізовано математичні залежності вписаних в торець горбиля заготовок, які можна отримати з метою їх використання для виготовлення фрези.

Prof. I.M. Zayats, O.V. Shuvalyuk – USUFWT

To question of rational the use slab mining

Mathematical dependencies were analyzed by computer technician for billet written into butt end of slab mining which may be obtain for using its as a sawn timbers.

Для виробництва струганого шпону використовують круглі лісоматеріали деревини твердих листяних порід в тому числі цінних і фруктових порід. Круглі лісоматеріали під час переробки проходять відповідну підготовку, основною з яких є отримання двокантного або чотириконтного ванчеса і горбилів. Подальша глибока переробка горбилів на напівфабрикати може значно підвищити корисний вихід матеріалів. Разом з тим, на вихід струганого шпону впливають ряд факторів, в тому числі діаметр колод.

Дослідженнями ряду авторів встановлено, що тангенціальний шпон, який отримують із периферійної частини колоди (ванчеса), має ряд недоліків, головним з яких є сильна схильність до розтріскування. У зв'язку з цим для лічкування у меблевому виробництві краще всього підходить шпон радіальної і напіврадіальної структури поверхні, який отримують із центральних частин колоди (ванчеса).

Тому пропонується новий підхід до розв'язання даного питання. Він базується на принципі переведення деревини підгорблених дощок в сусідню горби-

льну зону з метою створення на цій основі сировинного резерву для наступного отримання з цієї частини іншої пилопродукції.

Оскільки вихід шпону і горбилів з колоди значною мірою залежить від діаметра останньої, то потрібно було встановити діаметр сортиментів, які поступають на виробництво. З цієї метою на ряді підприємств нами було проведено дослідження. Встановлено (рис. 1), що на підприємства поступають колоди, діаметр яких коливається в межах від 30 см до 61 см. Разом з тим, частота поступлення колод за діаметром різна. Найчастіше зустрічаються колоди діаметром від 42 см до 46 см. Вказані діаметри взяті за основу при проведенні подальшого аналізу.

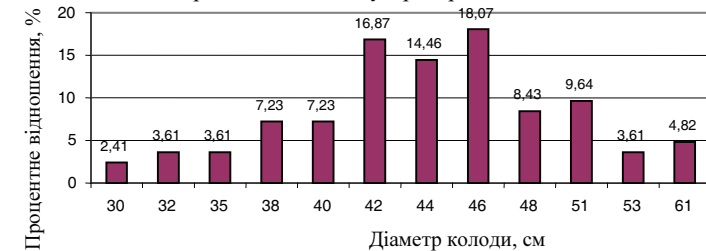


Рис. 1. Розподіл колод за діаметром

Складна геометрія горбильних відходів є серйозною перешкодою для їх подальшого раціонального використання. На своїй поверхні вони мають просторово-сферичну збіжність. У роботі робиться спроба вивчення можливості отримання прямокутних заготовок стандартних розмірів із горбиля, а також визначення корисного виходу як заготовок, так і повного використання колоди. Для подальших розрахунків будемо вважати, що величина збігу у горбиля рівномірна на всій довжині колоди (рис. 2).

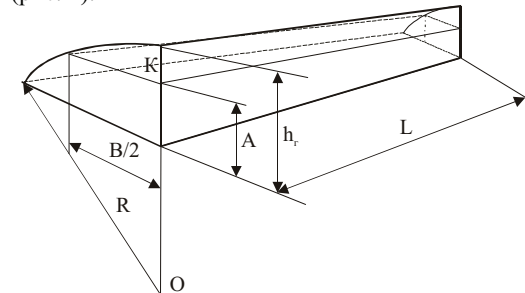


Рис. 2. Схема горбиля

Для знаходження коефіцієнта використання горбиля знаходимо максимальне значення площі торця заготовки, яка вписана у торець горбиля. Площа заготовки визначається за формулою:

$$F_{\text{заг}} = b \cdot a, \text{ см}^2, \quad (1)$$

де: b – ширина заготовки, см; a – висота (товщина) заготовки, см.

Враховуючи, що

$$a = OK - R + h_r, \text{ см} \quad (2)$$

де: R – радіус колоди, см; h_r – висота (товщина) горбиля.