

Выводы. Аналитическое решение задачи в виде представленной модели затруднительно по целому ряду причин: необходимо исследование прочностных характеристик клеточной стенки и ее пористости, что само по себе является предметом самостоятельного исследования. Кроме того, следует определить массопроводность и теплопроводность клеточных стенок.

Предложенная математическая модель позволяет определить задачи экспериментальных исследований и направление исследований в макрообласти, к которым относятся управляющие процессом параметры.

Литература.

1. Терзиев С.Г. Моделирование задач тепломассопереноса при взаимодействии дисперсных компонентов в аэрозольном потоке //Наук. праці Од. націон. акад. харчових технологій. – Одеса: 2006. – Вип.28, Т2. – с.182–186.
2. Burdo O.G., Terziev S.G., Zykov A.V. Optimization of Heat Pipes and Mass Recovery // 5–th Int. Seminar “Heat Pipe, Heat Pumps, Refrigerators”, 8–11 September, 2003. — Minsk, Belarus. – p.161–166.
3. Бурдо О.Г. Энергетический мониторинг пищевых производств – Одесса: Полиграф, 2008 – 244с.

УДК 66.047.79

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ПРОЦЕСІ КОНВЕКТИВНОГО СУШІННЯ ФРАКЦІЙ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ У ВЕРТИКАЛЬНИХ ПРЯМОТОКОВИХ КАМЕРАХ

Ощипок І.М д.т.н. професор
Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького

У статті досліджені основні закономірності процесу сушіння у вертикальних прямо токових камерах з використанням аналітичного методу побудованого на аналізі балансних співвідношень, які визначають потоки маси і теплоти на межі твердих і газоподібних фаз.

In the articles investigational basic conformities to law of process of drying are in vertical прямо токових chambers with the use of analytical method adjusted on the analysis of the balanced correlations which determine the streams of mass and warmth on verge of hard and gaseous phases.

Ключові слова: потік, теплота, сушіння, фаза, баланс, енергозбереження, камери вертикальні.

Для дослідження основних закономірностей процесу сушіння фракцій харчових продуктів у вертикальних прямо токових камерах використаємо аналітичний метод, який ґрунтується на аналізі балансних співвідношень, які визначають потоки маси і теплоти на межі твердої і газоподібної фаз.

Складемо систему диференціальних рівнянь, які описують нестационарні процеси тепло і масообміну у вертикальній сушильній камері при змінному коефіцієнті вологопровідності і відсутності градієнта загального тиску

$$c\rho_0 \frac{\partial t}{\partial \tau} = \lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \varepsilon c = \rho_0 \frac{\partial u}{\partial \tau}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \frac{\partial a_m}{\partial x} \cdot \frac{\partial u}{\partial x} +$$

$$\frac{\partial a_m}{\partial y} \cdot \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial a_m}{\partial z} \cdot \frac{\partial u}{\partial z} + a_m \delta \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \delta \left(\frac{\partial a_m}{\partial x} \cdot \frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial a_m}{\partial y} \cdot \frac{\partial t}{\partial y} + \frac{\partial a_m}{\partial z} \cdot \frac{\partial t}{\partial z} \right), \quad (2)$$

де t — температура матеріалу, К;

c — теплоємність матеріалу, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;

ρ_0 — густина сухого матеріалу, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

ε — параметр випаровування;

χ_c — прихована теплота пароутворення, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$;

\mathcal{D} — термоградієнтний коефіцієнт, 1/К;

a_m — коефіцієнт дифузії;

U — вологовміст матеріалу, кг води/кг сухого матеріалу;

λ — коефіцієнт теплопровідності $\frac{\text{кВт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

Для отримання часткового розв'язку доповнимо диференціальні рівняння (1), (2) початковими і краєвими умовами. Початкові умови для матеріалу, який не піддавався сушіння (при $\tau = 0$)

$$u_{\tau=0} = u_0 = \text{const} \quad (3)$$

$$t_{\tau=0} = t_0 = \text{const} \quad (4)$$

Використовуючи умови симетрії, запишемо одне з граничних умов:

$$\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)_{x=0} = \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_{y=0} = \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)_{z=0} = 0 \quad (5)$$

$$\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)_{x=0} = \left(\frac{\partial t}{\partial y}\right)_{y=0} = \left(\frac{\partial t}{\partial z}\right)_{z=0} = 0 \quad (6)$$

Граничні умови з переданого тепла і маси:

$$\alpha_T(t_{ca} - t_n) = \lambda \left(\frac{\partial t}{\partial r}\right)_n + (1 - \varepsilon_\kappa) r_c j; \quad (7)$$

$$J = -a_m \rho_0 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial r}\right)_n + \mathcal{D} \left(\frac{\partial t}{\partial r}\right)_n \right]; \quad (8)$$

Індекс «n» позначає поверхню матеріалу. Потік маси з поверхні висушувачого матеріалу в навколишнє середовище оцінюють за допомогою коефіцієнта сушіння K , який входить у розрахункове співвідношення:

$$j = K \rho_0 (W - U_p(\alpha_T, t_c, t_n, \ell)) \quad (9)$$

де α_T — коефіцієнт тепловіддачі, $\text{кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

t_c, t_n — температура в центрі і на поверхні матеріалу;

W — середній за об'ємом вологовміст матеріалу;

R — лінійний розмір матеріалу;

ℓ — довжина апарату

Якщо вологий матеріал і теплоносій рухаються у сушарці прямою, то вологовміст останнього неперервно міняється за рахунок поглинання випареної води. Цю зміну можна визначити за допомогою рівняння матеріального балансу. При русі газового середовища у системі «тверде тіло — газ» проявляється повздовжнє перемішування теплоносія. Наявність повздовжнього перемішування газового середовища оцінюється за допомогою виразу:

$$j_{обп} = \rho f \frac{dd}{d\ell}, \quad a \leq \ell \leq L \quad (10)$$

З урахуванням (10) запишемо балансові рівняння умови прямого потоку

$$G(W_0 - W) + V(d^* - d) + \rho f D_L \left[\left(\frac{dd}{d\ell}\right)_{\ell=0} - \frac{dd}{d\ell} \right] = 0 \quad (11)$$

або

$$d = d^* + \frac{1}{\alpha}(W_0 - W) - \frac{D}{U_T} \left[\left(\frac{dd}{dl} \right)_{l=0} - \frac{dd}{dl} \right], \quad (12)$$

$$\alpha = \frac{V}{G}; \quad d^* = d_0 + \frac{D_L}{\alpha_T} \left[\frac{dd}{dl} \right]_{l=0}, \quad (13)$$

$$VC_T(t^* - t_T) - \frac{(1 + R\epsilon)Gr_c(W_0 - W)}{G_T} - \rho_t f G_T D_L \left[\left(\frac{dt_T}{dl} \right)_{l=0} - \frac{dt_T}{dl} \right] = 0 \quad (14)$$

або

$$t_T = t^* - \frac{(1 + R\epsilon)r_c(W_0 - W)}{\alpha_m} - \frac{D_L}{U_T} \left[\left(\frac{dt_T}{dl} \right)_{l=0} - \frac{dt_T}{dl} \right], \quad (15)$$

$$t^* = t_H + \frac{D_L}{U_T} \left(\frac{dt_T}{dl} \right)_{l=0},$$

де, G — витрата матеріалу;

V — витрата теплоносія, к Дж/ м³ · К ;

D_L — коефіцієнт поздовжнього перемішування, м² / с ;

d — вологовміст теплоносія;

Rε — число Ребіндера;

t_T — температура теплоносія, К;

f — механічне вологовидалення.

Отримана система рівнянь теплового і матеріального балансу розв'язувалась числовими методами сіток [2]

Для цього вихідне диференціальне рівняння в кінцевих різницях і розрахунок проводився у вузлах просторово – часової сітки. При цьому заміна часткових похідних за часом і лінійними розмірами приймалась

$$\frac{\partial f}{\partial \tau} = \frac{f_{ijk} + 1 - f_{ijk}}{l}$$

де, l — крок за віссю часу.

$$\frac{\partial f}{\partial \gamma} = \frac{f_{ijm} + 1k - f_{ijm} - 1k}{2h}$$

де h — крок за лінійним розміром

$$\frac{\partial^2 t}{\partial \gamma^2} = \frac{f_{ijm} + 1k - 2f_{ijk} + f_{ijm} - 1k}{h^2}$$

В якості вихідних даних для розрахунку приймалось: температура теплоносія на вході установки t_H = 115°C, його відносна вологість φ₁ = 1,5%; λ = (0,49 ÷ 0,6) кВт/(м·град); V_T = 0,5 м/с; R_b = 0,9; ε = 0,15; δ = 0,002 1/град; k = 0,7 · 10⁻⁵ с⁻¹; R_{екв} = 0,005 м; D_L = 0,05 м²/с; α = 0,2; c_m = 1 кДж/(кг·град); α_T = (0,02 ÷ 0,04) кВт/(м²·град); a_m = (1,7 ÷ 1,9) · 10⁻⁷ м²/с.

Для оцінки точності отриманого математичного опису проведені експериментальні дослідження закономірностей зміни тепло – і масообмінних процесів сушіння подрібненої харчової сировини на експериментальній вертикальній прямооточній сушарці. Середньоквадратичне відхилення експериментальних даних від аналітичного опису Θ = f(τ) складає :

$$\sqrt[2]{\frac{1}{k-2} \sum_{i=1}^m (\Delta_i)^2} = 0,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

де k — кількість співставлюваних експериментальних точок;

Δ_i — відхилення експериментального значення функції від розрахункового і відповідно до U = f(τ); G_n = 1,1%

Аналіз отриманих даних показує, що отриманий розрахунок достатньо точно описує тепло і – масо-обмінні процеси, які протікають у сушарці. Це дозволить вийти на ефективний режим енергозбереження конвективного сушіння фракцій харчових продуктів у вертикальних прямокутних камерах.

Література

1. Лыков А.В. Теплообмен. – М.: Энергия, 1978.– 462с.
2. Мацевытый Ю.М. Гибридное моделирование тепловых процессов. – К.: «Наукова думка», 1987. – 252с.

УДК 62 229. 316. 0002. 51

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ РОСЛИННИХ ОЛІЙ

Осадчук П. І. канд. тех. наук, доцент
Одеський державний аграрний університет, м. Одеса

Розглянуті теоретичні основи технології очищення рослинних олій з використанням центробіжних сил та впливу ультразвукового поля. Показані головні діючі фактори інтенсифікації існуючих технологій за допомогою фізичного поля.

Theoretical bases of technology of clearing of vegetable oils with use of centrifugal forces and influences of an ultrasonic field are considered. The main working factors of an intensification of existing technologies with the help of use of a physical field are shown.

Ключові слова: дисипація, дифузійна швидкість, дискретний час, Марковські ланцюги, скалярний потенціал, спектральна щільність, довжина вільного пробігу, дисперсний состав.

Енергія пружних хвиль і відцентрових полів є головними факторами в процесах очищення рослинної олії. Якщо відцентрові сили виводять частки домішки в радіальному напрямку, то ультразвук підсилює процес їхньої коагуляції, що підвищує ефективність центрифугування. Звідси впливає актуальність двох математичних завдань:

1. Дисперсний аналіз коагуляції часток у полі відцентрових сил.
2. Моделювання розподілу ультразвуку в об'ємі робочої зони очищення масла.

Перше завдання вимагає знання гранулометричного складу домішок, обумовленого щільністю ймовірності $f(\delta)$, де δ — розмір частки. Оскільки розмір частки є випадкова величина, то він підлягає спеціальному визначенню. У літературі найбільше поширення одержали діаметр Мартіна, діаметр Фере та еквівалентні діаметри. У даній роботі розглядається еквівалентний по об'єму діаметр. Це дозволяє зв'язати цей діаметр із масою частки рівністю

$$m = \frac{\pi}{6} \rho \delta^3 \quad (1)$$

де ρ — щільність матеріалу домішок.

Тому що при коагуляції двох часток маса нової частки дорівнює сумі їхніх мас

$$m = m_1 + m_2,$$

то з (1) витікає формула діаметра нової частки

$$\delta = \sqrt[3]{\delta_1^3 + \delta_2^3} \quad (2)$$

У загальному випадку теоретичні закони щільності ймовірності $f(\delta)$ невідомі, а емпіричні закони представляються гистограммами ймовірностей p_i з умовою

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1,$$