

MODELUL MATEMATIC AL PROCESULUI DE USCARE A PRODUSELOR UMEDE CU APLICAREA ELECTROPLASMOLIZEI

M. Bernic, dr.hab., prof.univ., N. Țilinscaia, dr., conf.univ., M. Răducan, dr., conf. int.
Universitatea Tehnică a Moldovei

INTRODUCERE

Problemele cheie la uscare a produselor umede sunt intensificarea procesului și reducerea consumului de energie cu păstrarea indicilor calitativi a acestuia. Una din metodele de intensificare a procesului de uscare poate fi considerată și prelucrarea preliminară a produselor în câmp electric pentru a obține efectul de electroplasmoliză [1, 4, 8, 9]. Esența procesului de electroplasmoliză constă în distrugerea învelișului protoplasmei prin acțiunea curentului electric asupra acesteia. Ca urmare are loc eliberarea unei cantități de umiditate din celule și creșterea permitivității membrane, ceea ce duce la reducerea rezistențelor deplasării fluxului de umiditate în produs. Efectul dat se folosește pe larg la extragerea sucului [2, 3], mai rar la uscare. Utilizarea efectului de electroplasmoliză la uscare este limitată din motivul pericolului de scurgere liberă a sucului, deci și a creșterii pierderilor de substanțe uscare valoroase. Problema data poate fi realizată prin optimizarea parametrilor electroplasmolizatorului, astfel, încât membrane protoplasmei să nu fie distrusă complet pentru a nu crea condiții de scurgere liberă a sucului. În acest scop a fost elaborat un model matematic care permite monitorizarea transferului de masă și de căldură la uscare a produselor umede supuse electroplasmolizei. Modelul matematic obținut ia în considerație și parametrii electrici ai electroplasmolizatorului. Calculul este realizat pentru electroplasmolizatorul tip tambur-placă, în calitate de electrod servind placa, iat tamburul fiind unit la pământ.

1. MATERIALE ȘI DISCUȚII

În procesul de uscare a produselor umede transferul de umiditate din produs este influențat și de transferul de umiditate. În condițiile tratării preliminare a produselor supuse uscării prin electroplasmoliză, cunoscuta formulă a densității fluxului de căldură [7] poate fi preuentată în forma următoare:

$$q_x = -\lambda \text{grad}T - D\rho_u Q^* \text{grad}c_0 \quad (1)$$

în care:

λ este coeficientul de conductibilității termice al produsului, în W/(m·K);

D – coeficientul de difuzie reciprocă, în m²/s;

ρ_u – densitatea umidității, în kg/m³

Q^* – căldura specifică prin transferul de umiditate, în J/kg;

c_0 – concentrația relativă a umidității libere și legate:

$$c_0 = c_{01} + c_{02} = 1$$

c_{01} – concentrația volumetrică a umidității libere;

c_{02} – concentrația volumetrică a umidității legate.

În cazul tratării produsului prin electroplasmoliză gradientul umidității libere crește, iar cel al umidității legate scade, astfel, se poate de acceptat:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\partial c_{02}}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

Atunci, admitem $c_0 \approx c_{01}$.

Căldura specifică prin transferul de umiditate Q^* o exprimăm prin puterea nominală a electroplasmolizatorului și productivitatea acestuia (masa produsului raportată la durata de tratare):

$$Q^* = \frac{P}{Q} \quad (3)$$

în care:

P este puterea nominală a electroplasmolizatorului, în W;

Q – productivitatea electroplasmolizatorului, în kg/s.

$$P = 3 \cdot U \cdot I \quad (4)$$

în care

U – tensiunea în rețea, în V;

I – intensitatea curentului electric [2, 3], în A

$$I = \frac{U \cdot S_1 \cdot k_k}{\rho_i l} \quad (5)$$

în care:

S_1 este suprafața unui electrod de fază, în m²;

k_k – coeficient constructiv;

l – distanța dintre electroadele de fază și tamburul unit la pământ, în m;

ρ_i – rezistența specifică a produsului, în Ω m.

$$S_1 = \frac{(L-2x)h}{3} \quad (6)$$

în care:

- L este lungimea zonei de tratare electrică, în m;
 x – distanța dintre electrozii de fază, în m
 h – mărimea fisurii, în m.

Lungimea zonei de tratare electrică a electroplasmolizatorului tip tambur cu acționare continuie se determină din condiția asigurării vitezei liniare a produsului [2, 3]:

$$L = tv \quad (7)$$

în care:

- v este viteza de deplasare a produsului prin electroplasmolizator, în m/s;
 t – durata în care produsul a fost supus procesului de electroplasmoliză, în s.

$$t = \frac{3 \cdot 10^{11} \rho k_{cu}}{E^3 \cdot T} \quad (8)$$

în care:

- ρ este densitatea produsului, în kg/m³;
 k_{cu} – coeficient al stabilității curentului electric;
 E – intensitatea câmpului electric între electrozi, V/m;
 T – temperatura de lucru a produsului, în °C.

$$E = \frac{U}{l} \quad (9)$$

în care:

- U este tensiunea curentului electric, în V;
 l – distanța dintre electrodul de fază și tamburul unit la pământ, în m.

Astfel, luând în considerație relațiile (4) – (9), căldura specifică a transferului de umiditate va fi:

$$Q^* = \frac{U^2 \cdot \left(\frac{3 \cdot 10^{11} \rho k_{cu} v - 2x}{E^3 \cdot T} \right) h \cdot k_k}{\rho l Q} \quad (10)$$

Dacă de admis că fluxul la intrare se exprimă prin ecuația (1), iar cel de la ieșire prin q_{x+dx} atunci optinem:

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx \quad (11)$$

Acumularea căldurii într-o unitate de volum se exprimă prin diferența fluxului la intrare și la ieșire:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial x} dx = q_x - q_{x+dx} \quad (12)$$

în care:

- c este capacitatea termică specifică a produsului, în J/kgK;
 ρ – densitatea produsului, în kg/m³.

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial x} dx = q_x - \left(q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx \right) = -\frac{\partial q_x}{\partial x} dx \quad (13)$$

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = -\frac{\partial q_x}{\partial x} \quad (14)$$

Luând în considerație ecuația (1), obținem:

$$\begin{aligned} c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} &= -\frac{\partial}{\partial x} (-\lambda grad T - D\rho_B Q^* grad c_{01}) \\ &= \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial x} \left[D\rho_B Q^* \frac{\partial c_{01}}{\partial x} \right] \\ &= \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \rho_B Q^* \frac{\partial D_x}{\partial x} \frac{\partial c_{01}}{\partial x} \\ &\quad + \rho_B Q^* \frac{\partial^2 c_{01}}{\partial x^2} \end{aligned} \quad (15)$$

Deoarece difuzitatea termică a este:

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}$$

Atunci, ecuația (15) va obține forma:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \tau} &= -\frac{\partial}{\partial x} \left(-a grad T - \frac{D_x \rho_B Q^*}{c\rho} grad c_{01} \right) \\ &= a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{D_x \rho_B Q^*}{c\rho} \frac{\partial c_{01}}{\partial x} \right] \\ &= a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\rho_B Q^*}{c\rho} \frac{\partial D_x}{\partial x} \frac{\partial c_{01}}{\partial x} \\ &\quad + \frac{D_x \rho_B Q^*}{c\rho} \frac{\partial^2 c_{01}}{\partial x^2} \end{aligned} \quad (16)$$

Trecerea la axa de coordonate tridimensională va transfera formula (16) în forma următoare:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \tau} &= a \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \\ &\quad + \frac{\rho_B Q^*}{c\rho} \left[\left[\frac{\partial D_x}{\partial x} \frac{\partial c_{01}}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} \frac{\partial c_{01}}{\partial y} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \frac{\partial D_z}{\partial z} \frac{\partial c_{01}}{\partial z} \right] \right] \\ &\quad + \left[D_x \frac{\partial^2 c_{01}}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 c_{01}}{\partial y^2} \right. \\ &\quad \left. + D_z \frac{\partial^2 c_{01}}{\partial z^2} \right] \end{aligned} \quad (17)$$

Dacă de substituit căldura specifică a transferului de umiditate Q^* cu ecuația (10), atunci viteza variației temperaturii la transferul de căldură în produsele supuse efectului de electroplasmoliză poate fi calculată cu formula:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial T}{\partial \tau} \\ &= a \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \\ &+ \frac{\rho_B U^2 \cdot \left(\frac{3 \cdot 10^{11} \rho k_{cu}}{E^3 \cdot T} v - 2x \right) h \cdot k_k}{c \rho \rho_i l Q} \\ &* \left[\frac{\partial D_x}{\partial x} \frac{\partial c_{01}}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} \frac{\partial c_{01}}{\partial y} + \frac{\partial D_z}{\partial z} \frac{\partial c_{01}}{\partial z} \right] \\ &+ \left[D_x \frac{\partial^2 c_{01}}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 c_{01}}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 c_{01}}{\partial z^2} \right] \end{aligned} \quad (18)$$

Dacă de acceptat coeficientul difuziei moleculare ca constant în timp ($D = const$), atunci ecuația (18) va obține forma următoare:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial T}{\partial \tau} \\ &= a \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \\ &+ \frac{\rho_B U^2 \cdot \left(\frac{3 \cdot 10^{11} \rho k_{cu}}{E^3 \cdot T} v - 2x \right) h \cdot k_k D}{c \rho \rho_i l Q} \\ &* \left[\frac{\partial^2 c_{01}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c_{01}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c_{01}}{\partial z^2} \right] \end{aligned} \quad (19)$$

Ecuația (19) prezintă modelul matematic al transferului de căldură în procesul de uscare a produselor vegetale umede prelucrate prelinibar prin electroplasmoliză. Rezolvarea ecuației diferențiale date permite determinarea temperaturii corpului în orice moment de timp a procesului. Aceasta ne permite dirijarea procesului tehnologic și alegerea parametrilor optimi a electroplasmolizatorului.

Bibliografie

1. **Banu, C., s.a.,** *Biotehnologii in industria alimentara*, Editura Tehnica Bucuresti, 2000. – pag 528;
2. **Botosan, N.I., Bologa, M.K., and Berzoi, S.E.,** *Model for Description of Electropasmolysis of Two-Component Biological Raw Material*, *Elektron. Obrab. Mater.*, 2005, no. 2, pp. 64–68.
3. **Botoșanu N.I., Bologa M.C., Berzoi S.E., Tardea I.D.,** *Minimizarea pierderilor de energie la electroplasmoliză. / În lucrările conferinței naționale de termptehnică. Sibiu, Ed. Universității „Lucian Blaga”, 2000. – pag. 7-12;*
4. **Jasim Ahmed, Mohammad Sh.R.** *Handbook of food process design. Ed. Wiley-BlackWell., Vol.1-2, pp. 1470.*

5. **Багаев А.А., Багаев А.И., Куликова Л.В.** *Электротехнология. - Барнаул: Изд-во АГАУ, 2006/. - 320с.*

6. **Карасенко В.А.** *Электротехнология / В.А. Карасенко, Е.М. Заяц, А.Н. Баран – М.: Колос, 1992. – 304 с.*

7. **Лыков А.И.** *Теория теплопроводности. М, Высшая школа, 1967-599с.*

8. **Соблиров А.А.** *Интенсификация процесса сушки трав с применением электроплазмоллиза. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции молодых учёных (7-9 апреля). М., ВДНХ, 1982, с. 86-87.*

9. **Сорачану Н.С.** *Исследование электроплазмоллиза растительных материалов с целью интенсификации процесса их сушки. Автореф. дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Челябинск, 1979, 21 с.*