

C.Z.U.: 664.8.047

## **INSTALAȚIA DE LABORATOR PENTRU CERCETAREA CARACTERISTICILOR CINETICE ÎN PROCESUL DE USCARE A PRODUSELOR VEGETALE**

**Lupașco Andrei, Stoicev Petru, Bernic Mircea, Moșanu Aliona,  
Lupu Olga, Balea Vitalie, Cazacu Olesea, Terzi Ilie,  
Netreba Natalia, Rotari Oxana**  
(Universitatea Tehnică a Moldovei, Republica Moldova)

În lucrare se propune aplicarea microundelor în scopul intensificării procesului de uscare a produselor vegetale. Pentru propunerea unor noi regimuri de uscare este necesară cercetarea caracteristicilor cineticii procesului de uscare. Se propune o instalație de laborator pentru cercetarea cineticii procesului de uscare. De asemenea, sînt prezentate metodele de calcul al vitezei aerului în conductă, al masei finale a produsului, al conținutului de umiditate în orice moment de timp și formulele de calcul al vitezei de uscare a produsului.

### **Introducere**

Procesul de uscare este pe larg folosit în industria alimentară. Ca obiect de uscare pot fi folosite diferite materiale la diferite stadii de prelucrare a lor (materie primă, semifabricate, produse finite). Uscarea constituie una dintre cele mai eficiente metode de conservare și păstrare a produselor alimentare [1, 2]. Un aspect important, la momentul actual, îl constituie dezvoltarea industriei de producere și îmbunătățirea calității producției fabricate. Acest aspect poate fi realizat prin modernizarea și optimizarea proceselor tehnologice existente, dar și prin elaborarea unor noi utilaje automate (linii și agregate în flux) cu o capacitate de producere înaltă.

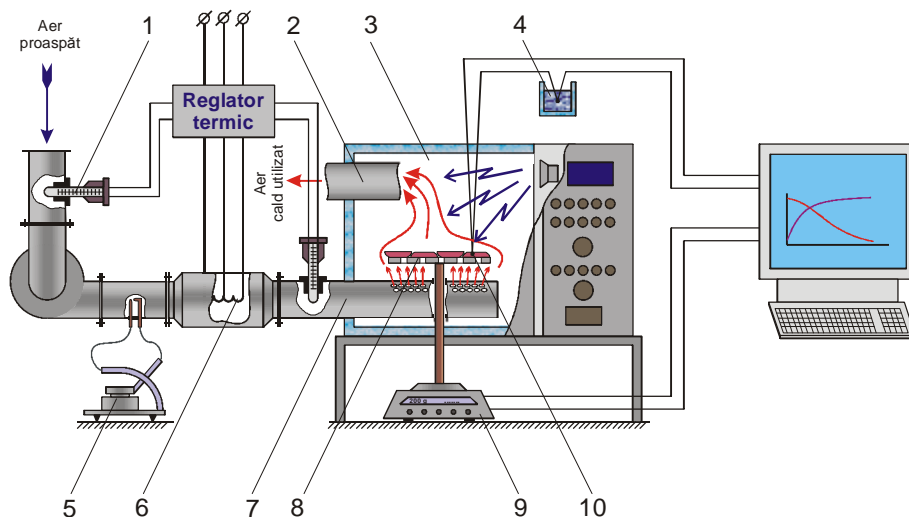
În legătură cu aceasta apare necesitatea de a elabora noi metode de uscare care ar asigura o calitate înaltă a produsului, de a crea condiții pentru prelucrarea mai eficientă a fructelor și legumelor, micșorarea pierderilor, automatizarea și mecanizarea acestui proces și, de asemenea, micșorarea cheltuielilor de energie.

Actualmente, uscarea produselor vegetale se efectuează prin metode clasice cum ar fi uscarea la soare, uscarea la umbră, uscarea în uscătorii cu aportul de căldură convectiv ș.a [1, 2]. Aceste metode de uscare posedă o serie de neajunsuri cum ar fi, de exemplu, durata îndelungată a procesului de uscare, calitatea proastă a produsului din cauza dezvoltării macro- și microflorei, necesitatea de suprafețe mari de uscare ș.a. În scopul depășirii acestor neajunsuri, în opinia noastră, este necesară utilizarea câmpurilor electromagnetice de frecvență înaltă SHF. Pentru elaborarea regimurilor de uscare a produselor vegetale este necesară cercetarea cinetică a procesului de uscare cu diferite aporturi de energie și anume: convecție, microunde și combinat (convecție cu microunde).

## Descrierea instalației de laborator pentru cercetarea cineticii procesului de uscare

Pentru cercetarea cineticii procesului de uscare, a fost proiectată și executată o instalație de laborator, în baza cuptorului modern cu unde de frecvență înaltă (microunde) Bosh cu puterea nominală de 1,5 kW și frecvența câmpului electromagnetic de 2450 MHz.

Instalația de uscare constă din camera de uscare 3, în interiorul căreia este amplasat suportul de fluoroplast perforat 8 pe care se plasează produsul analizat. La camera de uscare sunt conectate racordurile 2 și 7 pentru intrarea și evacuarea agentului de uscare. Drept agent de uscare, este utilizat aerul încălzit. Agentul de uscare încălzit în caloriferul electric 6, cu ajutorul ventilatorului este refulat în camera de uscare. Produsul destinat uscării este cântărit continuu cu ajutorul cântarului electronic 9, datele fiind înregistrate de calculator pentru prelucrarea ulterioară. Temperatura agentului de uscare se măsoară cu ajutorul termometrului 1 și se reglează cu ajutorul regulatorului de temperatură. Viteza aerului se măsoară cu ajutorul manometrului diferențial 5.



Instalația de laborator pentru studierea caracteristicilor cinetice ale procesului de uscare a produselor vegetale: 1 – termometru; 2 – conductă de evacuare; 3 – cameră de lucru; 4 – vas Diyar; 5 – manometru diferențial; 6 – calorifer; 7 – conductă de alimentare; 8 – suport de fluoroplast perforat pentru produsul supus uscării; 9 – cântar electronic; 10 – termocuplu.

Camera SHF (de rezonanță) se închide ermetic, iar, în cazul deschiderii ușii, alimentarea cu energie electrică în camera de lucru încetează și se conectează iluminarea. Firul de rețea servește pentru conectarea cuptorului la rețeaua electrică. Pe panoul de comandă sunt instalate: blocul de reglare a puterii, blocul de reglare a timpului, indicatorii pasului de execuție și conectării blocului de execuție, butoanele iluminării camerei de lucru, pornirii și opririi programelor de lucru. Blocul de reglare a puterii constă din butoane corespunzătoare pentru fiecare putere

a magnetronului: 90, 180, 360, 600 și 800W. Viteza aerului se măsoară în conducta de aer 7, în direcția ventilator - cameră de uscare.

Pentru experimentarea preventivă se cântărește 150 - 200 g de produs, care apoi se introduce în cuptor și se cântărește, repetat, în regim automat.

După cum a fost menționat mai sus, micșorarea masei probei analizate în procesul de uscare cu microunde este înregistrată de cântarul electric automat (partea electronică a cântarului se izolează minuțios de câmpul electromagnetic). Schema electronică a cântarului constă din rezistențe active și, de regulă, exclude elementele semiconductoare și inductive.

Pentru excluderea erorilor în cadrul cercetărilor, a fost aplicat cântarul electronic de tipul JW-1 cu ieșire la calculator. Sensibilitatea cântarului a constituit 2 g/unit, exactitatea de cântărire  $\pm 5\%$ .

Suportul de fluoroplast perforat a fost fixat pe cântar cu elemente speciale. În procesul de uscare, cântarul permite măsurarea micșorării masei produsului continuu. Înregistrarea micșorării masei se efectuează la intervale egale de timp, în dependență de aportul de energie.

Datele cântării sunt înregistrate de calculator, iar, ulterior, operatorul le poate prelucra.

În camera de lucru se instalează un termocuplul compus din crom-cobel 10, elaborat cu diametrul conductoarelor de 0,1mm. Datele indicate de către termocuplu sînt înregistrate de către potențiometrul electronic de tipul KCIИ-04-12M 4.

### **Metodele de măsurare și de calcul ale parametrilor instalației**

Pentru măsurarea vitezei agentului de uscare în conductă se folosesc două tuburi capilare pneumatice cu diametrul interior de 0,8 mm. Tuburile capilare pneumatice se fixează și se unesc, cu ajutorul unui garou de cauciuc, cu manometrul MMH 5. Micromanometrul este umplut cu alcool etilic cu densitatea de 809,5 kg/m<sup>3</sup>. Unul din tuburi, așezat orizontal, măsoară fluxul total, iar cel așezat sub 90° pe direcția de mișcare a aerului măsoară fluxul static. Presiunea dinamică reală în MPa se calculează după formula:

$$\Delta P = h \cdot k \cdot g \cdot \Delta \cdot d, \quad (1)$$

unde:  $h = h_1 - h_2$ ,

$h_1$  – valoarea de pe scara manometrului în timpul măsurării,  $m$ ,

$h_2$  – valoarea de pe scara manometrului până la începutul măsurărilor,  $m$ ,

$k$  – coeficientul dependent de unghiul de înclinare a tubului;

$g$  – accelerația căderii libere,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ,

$D = \frac{r_0}{r}$  – coeficient de corecție la condițiile atmosferice,

$\rho_0$  – densitatea aerului în condiții normale,  $\text{kg/m}^3$ ,

$\rho$  – densitatea aerului în condițiile de măsurare,  $\text{kg/m}^3$ ,

$d = \frac{r_m}{809.5}$  – coeficient de corecție în dependență de densitatea alcoolului,

turnat în micromanometru,

$\rho_m$  – densitatea reală a alcoolului etilic,  $kg/m^3$ ,

809,5 – densitatea normală pentru alcoolul din manometru,  $kg/m^3$ .

Mărimea vitezei aerului la intrare în camera de uscare se determină după formula:

$$v_0 = 1.41 \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}, \quad (2)$$

unde:  $\Delta P$  este presiunea dinamică,  $N/m^2$ ,

$\rho$  – densitatea aerului,  $kg/m^3$ .

Densitatea aerului, în dependență de temperatură, se determină după tabelele din literatura de specialitate.

Viteza agentului de uscare se calculează după formula:

$$v_c = v_0 \cdot \frac{p \cdot d^2}{4 \cdot a \cdot b} \cdot \frac{r_0}{r_c}, \quad (3)$$

unde:  $d$  este diametrul conductei de aer la intrarea în camera de uscare,  $m$ ,

$a, b$  – dimensiunile secțiunii transversale a camerei de uscare,  $m$ ,

$\rho_0$  – densitatea aerului la intrare în camera de uscare,  $kg/m^3$ ,

$\rho_c$  – densitatea aerului în camera de uscare,  $kg/m^3$ .

Cunoscând greutatea inițială a produsului cercetat ( $G_{ap}$ ), și greutatea produsului uscat ( $G_{usc}$ ), în orice moment, se determină umiditatea substanței uscate după formula [3, 4]:

$$U^c = \frac{G_{ap}}{G_{usc}} \cdot 100 = \left( \frac{G_i}{G_{usc}} - 1 \right) \cdot 100. \quad (4)$$

Masa finală, după uscare, a probei analizate se calculează după formula:

$$G_{fm} = \frac{U_{fm}^c \cdot G_{usc}}{100} + G_{usc} = G_{usc} \left( \frac{U_{fm}^c}{100} + 1 \right), \quad (5)$$

unde  $U_{fm}^c$  este umiditatea în produsului finit.

Consecutivitatea operațiilor și a calculelor se respectă pentru toate experiențele.

În baza datelor obținute în procesul de cercetare, au fost construite curbele uscării  $u = f(\tau)$ .

Curbele vitezei de uscare  $\frac{dU}{dt} = f(U)$  s-au construit după punctele, obținute prin diferențierea funcției tabulare  $U = f(\tau)$  după formula [5]:

$$\frac{dU}{dt}(\bar{U}_0) = \frac{\sum_{m=-p}^p m \cdot \bar{U}_m}{\sum_{m=-p}^p m^2}, \quad (6)$$

unde:  $\frac{dU}{dt}(\bar{U}_0)$  este valoarea vitezei de uscare pentru conținutul de umiditate mediu

$U_0, \%$ , raportat la durata uscării (h, s, min),

$\bar{U}_0$  - valoarea medie a conținutului de umiditate în masa materialului înainte și după momentul de timp, la care umiditatea a fost  $U_0, \%$ ,

$m = -2; -1; 0; 1; 2.$

Valoarea vitezei de uscare pentru primele două și ultimele două puncte s-a determinat după formulele [42]:

Pentru primul punct:

$$\frac{dU}{dt}(\bar{U}_1) = \frac{-2\bar{U}_4 + 13\bar{U}_3 + 17\bar{U}_2 - 9\bar{U}_1}{20 \cdot n}, \quad (7)$$

Pentru al doilea punct:

$$\frac{dU}{dt}(\bar{U}_2) = \frac{-11\bar{U}_4 + 3\bar{U}_3 + 7\bar{U}_2 - \bar{U}_1}{20 \cdot n}, \quad (8)$$

Pentru penultimul punct:

$$\frac{dU}{dt}(\bar{U}_{n-1}) = \frac{-\bar{U}_n - 7\bar{U}_{n-1} - 3\bar{U}_{n-2} + 1\bar{U}_{n-3}}{20 \cdot n}, \quad (9)$$

Pentru ultimul punct:

$$\frac{dU}{dt}(\bar{U}_n) = \frac{-9\bar{U}_n - 17\bar{U}_{n-1} - 13\bar{U}_{n-2} + 2\bar{U}_{n-3}}{20 \cdot n}, \quad (10)$$

## Concluzii

Elaborarea instalației de uscare permite cercetarea cineticii procesului de uscare a tuturor produselor vegetale. Ea permite efectuarea cercetărilor la diferite aporturi de căldură (prin convecție, prin microunde și combinat). Uscarea convectivă a produselor vegetale este posibilă la temperaturile agentului termic de la 50°C la 200°C. Uscarea combinată (cît și uscarea prin convecție sau microunde) este posibilă la aceleași temperaturi ale agentului termic cu convecție continuă pentru toate regimurile de lucru ale instalației, inclusiv pentru regimuri impuls-discrete: 5s/10s, 10s/10s, 15s/10s și 20s/10s, unde numitorul fracției reprezintă durata de acțiune a undelor asupra produsului, iar numărătorul durata de repaos.

## Bibliografie

1. Гинзбург А.С. *Технология сушки пищевых продуктов*. – М.: Пищевая промышленность, 1976. –248 с.
2. Кац З.А. *Производство сушеных овощей, картофеля и фруктов*.– М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.–216 с.
3. Лыков А.В. *Теория сушки*. – М.: Энергия, 1968. – 470с
4. Гинзбург А.С. *Основы теории и техники сушки пищевых продуктов*. – М.: Пищевая промышленность, 1973. –528 с.
5. Вержбицкий В. М. *Основы численных методов: учебник для вузов*. –М.: Высшая школа, 2005.-840с.