

## STUDIAREA PROCESULUI DE USCARE A RĂDĂCINILOR DE PĂPĂDIE PRIN METODA CONVECTIVĂ ȘI COMBINATĂ

*A. Lupașco, dr. hab., prof., V. Bantea-Zagareanu, dr. conf., E. Rotari*

*Universitatea Tehnică a Moldovei*

### INTRODUCERE

Calitatea produselor vegetale constituie o condiție esențială pentru asigurarea sănătății populației umane. În scopul în care sunt folosite materiile vegetale, cerințele de calitate sunt mult mai avansate. Principalii indici de calitate a acestora sunt compușii chimici. Acești compuși depind de mai mulți factori, printre care: perioada și zona de recoltare, parametrii procesului de uscare și păstrare a lor.

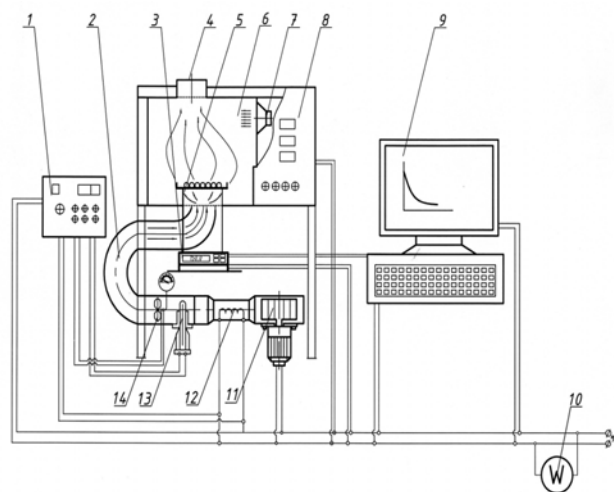
Actualmente uscarea produselor vegetale, în special, a rădăcinilor de păpădie se efectuează prin metode clasice: uscarea la soare, uscarea la umbră, uscarea în role, uscarea în uscătorii cu aportul de căldură convectiv ș.a. Aceste metode au o mulțime de dezavantaje cum ar fi: durata îndelungată de uscare, suprafețe mari de lucru etc.

De aceea pentru realizarea corectă a procesului de uscare este necesară o evidență obiectivă a complexului de fenomene care decurg în sistemele vegetale.

### 1. DESCRIEREA INSTALAȚIEI EXPERIMENTALE ȘI METODA CERCETĂRII CINETICII PROCESULUI DE USCARE

Pentru cercetare s-au selectat rădăcinile de păpădie recoltate în luna august - septembrie, datorită conținutului înalt de substanțe chimice [5]. Uscarea rădăcinilor de păpădie a fost efectuată la instalația experimentală destinată studiului cineticii procesului de uscare a materiei vegetale cu diferite aporturi de energie: convecție și combinate (convecție cu microunde în regim oscilant). Instalația funcționează în modul următor (fig. 1): proba cu materia vegetală este plasată în camera (6), deasupra unui suport (5) fixat perpendicular pe cântarul electric (3). Scăderea de masă înregistrată de cântarul electric (3) este înregistrată la calculatorul (9). Aerul cald este vehiculat în partea inferioară a camerei de lucru prin conducta de aer (2), astfel ca produsul supus uscării să fie în contact direct cu acest flux de aer. Aerul aspirat de către

ventilator (11) este refulat prin caloriferul (12) unde se încălzește până la temperatura de uscare (60 – 100 °C).



**Figura 1.** Schema instalației experimentale de uscare: 1 - sistema de dirijare și control; 2, 4 - conductă de aer; 3 - cântar electric; 5 - suport pentru produs; 6 - cameră de uscare; 7 - magnetron; 8 - panou de control; 9 - calculator; 10 - contor electric; 11 - ventilator; 12 - calorifer electric; 13 - termocuplu; 14 - anemometru.

Agentul termic este eliminat din camera de lucru prin conducta de aer (4). Temperatura agentului termic este reglată cu sistemul electric de control și dirijare „Termostat CIMU-UMU-1”. Pentru înregistrarea temperaturii agentului termic în conducta de aer este instalat termocuplu (13). Pentru uscarea combinată cu utilizarea curenților S.H.F. instalația este dotată cu magnetronul (7). Consumul de energie electrică se înregistrează cu ajutorul contorului electric (10).

Pe parcursul experiențelor s-au înregistrat: parametrii aerului la intrare în calorifer (temperatura inițială  $t_0$  și umiditatea relativă a aerului  $\varphi_0$ ) și la ieșirea din calorifer  $t_1$  [1]. Uscarea rădăcinilor de păpădie cu folosirea microundelor a fost efectuată la trei regimuri de oscilație 5 s, 10 s și 15 s cu pauza dintre pulsații de 10 s. Temperatura agentului termic variază de la 60 până la 100 °C, cu pasul de 10 °C. Masa inițială a probei a constituit  $150 \pm 0,1$  g.

Conform umidității inițiale a produsului cercetat, s-a determinat umiditatea raportată la substanța uscată în orice moment de timp [2, 4]:

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

Masa finală a probei analizate, pînă la care este necesar de efectuat procesul de uscare, sa calculat după formula:

$$G_{fin} = \frac{u_{fin}^c \cdot G_{usc}}{100} + G_{usc} = G_{usc} \left( \frac{u_{fin}^c}{100} + 1 \right), \quad (2)$$

în care:  $u_{fin}^c$  - este conținutul final de umiditate în produs raportat la substanța uscată.

În baza rezultatelor obținute s-au trasat curbele de uscare și curbele vitezei de uscare care s-au determinat prin diferențierea discretă a funcțiilor tabelate conform relației [6]:

$$\frac{du}{d\tau} \left( \overline{u_0} \right) = \frac{\sum_{m=-p}^p m \cdot \overline{u_m}}{\sum_{m=-p}^p m^2} \quad (3)$$

în care:  $\frac{du}{d\tau} \left( \overline{u_0} \right)$  - este valoarea vitezei de uscare pentru conținutul de umiditate mediu  $\overline{u_0}$ , %/ timp (min);

$\overline{u_0}$  - valoarea medie a conținutului de umiditate în masa materialului înainte și după momentul de timp, la care umiditatea a fost  $\overline{u_0}$ , %;

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

Valoarea vitezei de uscare pentru primele și ultimele două puncte s-a determinat cu formulele:

- pentru primul punct:

$$\frac{du}{d\tau} \left( \overline{u_1} \right) = \frac{-21\overline{u_4} + 13\overline{u_3} + 17\overline{u_2} - 9\overline{u_1}}{20 \cdot n}, \quad (4)$$

- pentru al doilea punct:

$$\frac{du}{d\tau} \left( \overline{u_2} \right) = \frac{-11\overline{u_4} + 3\overline{u_3} + 7\overline{u_2} - \overline{u_1}}{20 \cdot n}, \quad (5)$$

- pentru penultimul punct:

$$\frac{du}{d\tau} \left( \overline{u_{n-1}} \right) = \frac{-\overline{u_n} + 7\overline{u_{n-1}} - 3\overline{u_{n-2}} + 11\overline{u_{n-3}}}{20 \cdot n} \quad (6)$$

- pentru ultimul punct:

$$\frac{du}{d\tau} \left( \overline{u_n} \right) = \frac{-9\overline{u_n} - 17\overline{u_{n-1}} - 13\overline{u_{n-2}} + 21\overline{u_{n-3}}}{20 \cdot n} \quad (7)$$

Caracteristicile cinetice ale procesului de uscare și anume coeficientul vitezei de uscare în prima perioadă de uscare  $K_1$  și coeficientul de

uscare în a doua perioadă de uscare  $K_2$  s-au calculat conform formulelor 8 și 9 [4]:

$$K_1 = \frac{du/d\tau}{S \cdot (x_s - x_0)} \cdot \frac{\%}{s \cdot m^2 \cdot kg/kg \text{ aer uscat}}, \quad (8)$$

în care:  $du/d\tau$  - viteza constantă de uscare (viteza în prima perioadă), % /min;

$S$  - aria de contact a rădăcinilor uscate cu agentul de uscare,  $m^2$ ;

$x_0$  - conținutul de umiditate a aerului la intrare în instalația de uscare, kg / kg aer uscat;

$x_s$  - conținutul de umiditate a aerului saturat la temperatura uscării, kg / kg aer uscat (pe suprafața materialului).

$x_0$  și  $x_s$  se determină din diagrama lui Ramzin, cunoscînd parametrii aerului: temperatura și umiditatea relativă.

$$K_2 = \frac{du/d\tau}{u'_{cr} - u_{ech}}, \quad (9)$$

în care:  $du/d\tau$  - viteza constantă de uscare (viteza în prima perioadă), %/s;

$u'_{cr}$  - umiditatea critică redusă a rădăcinilor de pădădie determinată după curba vitezei de uscare, %;

$u_{ech}$  - umiditatea de echilibru a rădăcinilor de pădădie în raport cu substanța uscată, %.

În baza datelor obținute s-a prezentat corelația dintre coeficienții vitezei de uscare pentru prima și a doua perioadă și temperatura agentului termic.

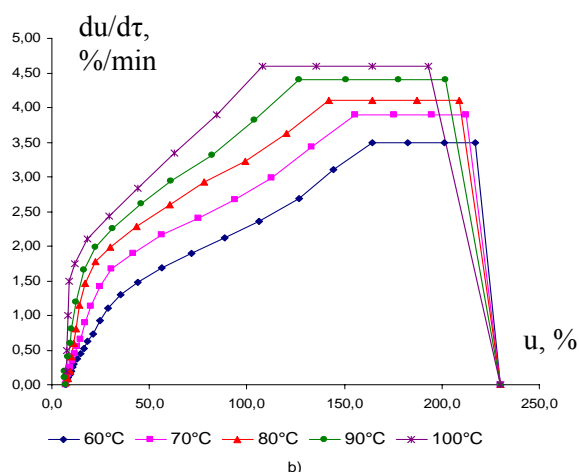
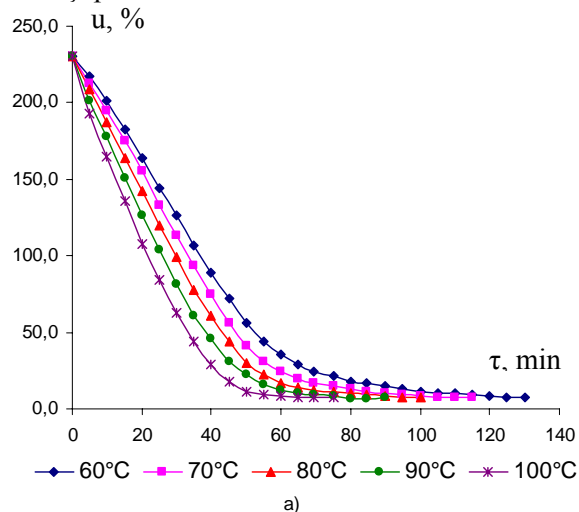
## 2. REZULTATE ȘI DISCUȚII

Conform curbelor de uscare a rădăcinilor de pădădie (fig. 2.a) prin convecție, se observă că odată cu mărirea temperaturii agentului de uscare, durata de uscare a rădăcinilor de pădădie se micșorează. Astfel, la temperatura agentului termic de 60 °C, de la umiditatea inițială 230,3 % pînă la cea finală de 7,2 %, durata constituie 130 min., însă începînd cu temperaturile de 70, 80, 90 și 100 °C procesul de uscare decurge respectiv în 115, 100, 90 și 75 min. De aici rezultă, că majorînd temperatura agentului de uscare de la 60 la 100 °C durata procesului de uscare scade de 1,73 ori.

Curbele vitezei de uscare ale rădăcinilor de pădădie au fost obținute la derivarea funcției tablare a curbei de uscare (fig. 2.a și 3.a.). Forma curbelor corespunde formei celei descrise în literatură, pentru corpurile coloidale capilar-poroase [2, 4].

Analiza curbelor vitezei de uscare (fig. 2 b și 3 b) a rădăcinilor de pădădie, demonstrează că la utilizarea aportului de căldură prin convecție se

adeveresc noțiunile teoretice cunoscute în ceea ce privește mecanismul transferului de masă în procesul de uscare. Se evidențiază trei perioade: perioada de încălzire, perioada vitezei constante de uscare și perioada vitezei de uscare descrescînde.

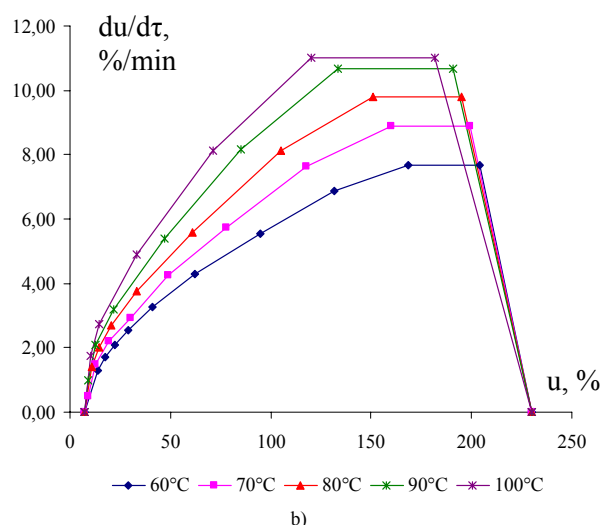
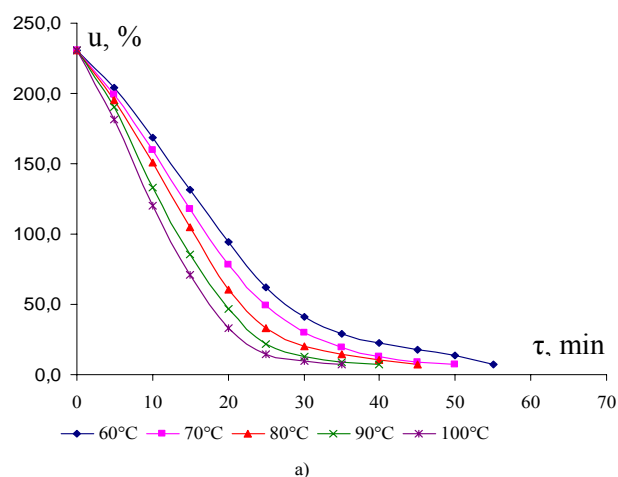


**Figura 2.** Curbele de uscare (a) și vitezei de uscare (b) a rădăcinii de pădărie prin metoda convectivă

Valoarea vitezei maximele de uscare după cum se observă din curbe se mărește odată cu creșterea temperaturii agentului de uscare (fig. 2. b). Prin urmare, la temperatura 60 °C ea constituie 3,50 %/min, iar la temperatura de 100 °C – 4,60 %/min. Astfel, viteza maximală de înlăturare a umidității se mărește odată cu temperatura agentului de la 60 °C la 100 °C de cca. 1,57 ori.

Conform figurii 3.a se observă că odată cu mărirea temperaturii agentului de uscare de la 60 °C la 100 °C durata de uscare se micșorează. Ca exemplu, la temperatura agentului termic de 60 °C procesul de uscare constituie 55 min., iar la temperatura agentului termic de 100 °C - 35 min. De aici rezultă, că procesul de uscare a rădăcinilor de pădărie se reduce odată cu creșterea temperaturii agentului termic, de 1,57 ori.

Valoarea vitezei maximele de uscare se mărește odată cu creșterea temperaturii agentului de uscare (fig. 3 b). Astfel, la temperatura 60 °C ea constituie 7,66 %/min, iar la temperatura de 100 °C, corespunzător 11,01 %/min. Deci, viteza maximală de înlăturare a umidității crește odată cu creșterea temperaturii de la 60 – 100 °C, astfel se mărește de 1,43 ori.



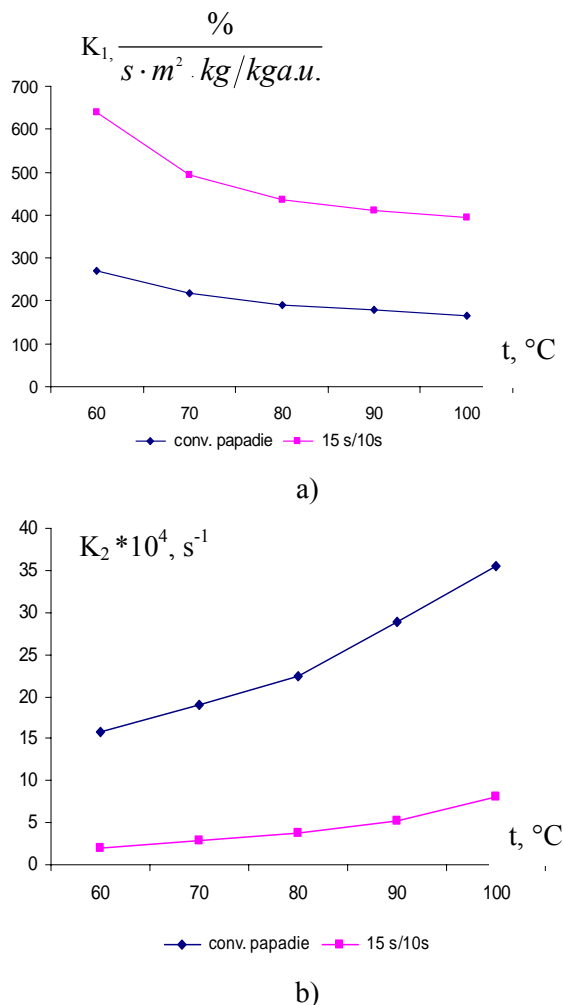
**Figura 3.** Curbele de uscare (a) și vitezei de uscare (b) a rădăcinilor de pădărie prin metoda combinată în regimul de oscilații de 15 s/ 10 s

Pe baza curbelor de uscare și curbelor vitezei de uscare au fost calculate constantele vitezei de uscare în prima și a doua perioadă [3, 4]. Influența temperaturii agentului de uscare asupra constantelor în cele două perioade, este prezentată grafic în figura 4 a și b.

Conform fig. 4. a odată cu creșterea temperaturii agentului termic, coeficientul de uscare  $K_1$  este în descreștere conform unei legități liniare. Totodată, este de menționat că valorile lui  $K_1$  la uscarea combinată la regimul menționat sunt mai

mari în comparație cu regimul de uscare prin convecție de cca 1,62 ori.

Scăderea valorilor  $K_1$  la uscarea combinată influențată de creșterea temperaturii agentului termic este mai rapidă decât la uscarea prin convecție.



**Figura 4.** Influența temperaturii agentului de uscare asupra constantelor vitezei de uscare în prima perioadă (a) și în a doua perioadă (b) pentru uscarea convectivă și combinată

Dacă constanta de uscare  $K_1$  pentru prima perioadă descrește odată cu temperatura agentului de uscare pentru ambele metode, apoi constanta de uscare  $K_2$  crește conform aceleași legități liniare (fig. 4. b). Mărirea temperaturii agentului de uscare în limitele 60 - 100 °C a provocat o creștere a constantei de uscare  $K_2$  de 2,2 ori, pentru uscarea prin convecție și de 4 ori pentru uscarea combinată.

## CONCLUZII

Analizând datele expuse mai sus sa constat că aplicarea energiei microundelor pentru uscarea

rădăcinilor de pădărie duce la intensificarea acestui proces. Aceasta a fost demonstrat și de către majorarea constantele vitezelor de uscare în prima și în a doua perioadă, datorită creșterii vitezelor de uscare. Deci, uscarea combinată: convecție cu microunde poate fi considerată o metodă optimală de uscare a rădăcinilor de pădărie.

## Bibliografie

1. Lupașco A., Bantea-Zagareanu V., Rotari E. *Procedeele de uscare a rădăcinilor de brusture cu aplicarea cîmpurilor S.H.F. In: Fizică și tehnică. Procese, modele, experimente.* 2010.
2. Ginzburg A. S. *Osnovy teorii i tekhniki sushki pishhevyykh produktov.* – M.: Pishhevaya promyshlennost', 1973. – 528 s.
3. Ghinzburg A. Savina I. *Massovlagoobmennye xarakteristiki pishhevaya produktov.* – M.: Lyogkaya i pishhevaya promyshlennost', 1982 – 280 s.
4. Lykov A. V. *Teoriya sushki.* – M.: Energiya., 1968 – 470 s.
5. Vorob'ev M. P. *Lekarstvennyye rasteniya. Yaga Rossii, ZAO Kniga 2010, - 544 s.*
6. Verzhbiczkiy V. M. *Osnovy chislennykh metodov uchebnik dlya vuzov.* – M. Vysshaya shkola, 2005 – 480 s.