

Andrei Lupașco  
Mircea Bernic  
Natalia Țislinscaia  
Marcel Răducan

# **USCAREA CĂTINII ALBE ÎN CÂMP S.H.F.**



Chișinău - 2006

## **Uscarea cătinii albe în câmp S.H.F.**

---

**CZU 664.844.633.878**

În monografie este prezentată informația referitoare la studiul teoretic și practic al utilizării câmpurilor electromagnetice în calitate de sursă eficientă de energie în procesul de deshidratare a fructelor și legimelor, în special a cătinii albe. Monografia prezintă interes pentru specialiștii din domeniul industriei alimentare, studenți, masterați, doctoranzi ș.a., care se interesează de procesele de uscare a produselor agroalimentare.

**Recenzent: Grigore Ganea, doctor habilitat în tehnică, profesor universitar.**

**Redactor: Galina Dicusar, doctor în tehnică, conferențiar universitar.**

**Este recomandată pentru publicație de către Senatul Universității Tehnice a Modovei**

Descrierea CIP a Camerei Naționale a Cărții

Bernic Mircea

Uscarea cătinii albe în câmp U.H.F. /

Andrei Lupașco, Mircea Bernic, Natalia Țislinscaia, Marcel Răducan. – Ch. : UTM, 2006 – 202 p.

Bibliogr. P. 181-202 (225 tit.)

ISBN 978-9975-9798-2-5

200 ex.

664.844.633.878

**ISBN 978-9975-9798-2-5**

**© A.Lupașco, M.Bernic, N.Țislinscaia, M.Răducan.**

**CONȚINUT**

<b>Introducere</b>	3
<b>1. Starea actuală a tehnicii și tehnologiei de uscare a cătinii albe</b>	10
1.1. Bazele teoretice moderne al transferului de masă și de căldură în procesele de uscare	10
1.2. Cătina ca obiect de uscare	20
1.3. Tehnici și tehnologii moderne pentru uscarea cătinii albe	29
1.3.1. Caracteristicile biostructurale ale cătinii albe ca obiect de studiu	30
1.3.2. Uscarea naturală	33
1.3.2.1. Uscarea heleo la aer	33
1.3.2.2. Uscarea heleo	36
1.3.2.3. Uscarea combinată	39
1.3.3. Uscarea artificială	40
1.4. Direcțiile de bază ale perfecționării tehnicii și tehnologiei procesului de uscare a fructelor și boabelor	46
<b>2. Parametrii electrofizici (PEF) ai fructelor și influența lor asupra capacității degajării de căldură</b>	49
2.1. Polarizarea și pierderile dielectrice în materialele omogene	49
2.1.1. Dependența permeabilității dielectrice relative $\epsilon'$ de diferiți factori	54
2.1.2. Pierderile dielectrice în dielectricii omogeni	55
2.1.3. Dependența unghiului pierderilor dielectrice $\text{tg}\delta$ de diferiți factori	56

2.2.	Polarizarea și pierderile dielectrice în sisteme eterogene multicomponente compuse	59
2.2.1.	Tipurile de polarizare a sistemelor compuse	60
2.2.2.	Pierderile dielectrice a sistemelor eterogene multicomponente compuse	62
2.3.	Modelul matematic a parametrilor electrofizici a sistemelor eterogene compuse	66
2.4.	Procedeele și metodele de măsurare și determinare a parametrilor electrofizici a cătinii albe	70
2.4.1.	Metodele punți	70
2.4.2.	Metoda de rezonanță	71
2.4.3.	Metode cu aplicarea liniilor de măsurare (ghid de unde)	74
<b>3.</b>	<b>Cercetarea parametrilor electrofizici ai cătinii albe și metodele de determinare a lor</b>	<b>76</b>
3.1.	Caracteristica succintă a cătinii albe ca obiect de cercetare	76
3.2.	Alegerea și argumentarea metodei de măsurare a parametrilor electrofizici ai cătinii albe	77
3.3.	Instalația experimentală pentru măsurarea și cercetarea parametrilor electrofizici ai cătinii	78
3.4.	Influența frecvenței câmpului electromagnetic asupra parametrilor electrofizici ai cătinii albe	80
3.5.	Influența umidității cătinii albe asupra parametrilor electrofizici	88
3.6.	Influența temperaturii cătinii albe asupra parametrilor electrofizici	92

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

<b>4.</b>	<b>Descrierea instalației experimentale și a metodelor de cercetare a cineticii procesului de uscare a cătinii albe</b>	<b>96</b>
4.1.	Caracteristica generală a instalației experimentale	96
4.2.	Metoda de înregistrare a scăderii masei și temperaturii cătinii albe	98
4.3.	Metoda de măsurare a tensiunii și calcul tensiunii câmpului electromagnetic de frecvență înaltă	99
4.4.	Metoda de măsurare a vitezei aerului în camera de uscare	100
4.5.	Pregătirea cătinii albe pentru experiment și metoda de efectuare	102
<b>5.</b>	<b>Cercetarea cineticii procesului de uscare a cătinii albe</b>	<b>105</b>
5.1.	Uscarea prin convecție convectivă	105
5.2.	Uscarea combinată a cătinii albe cu aplicarea convecției și a curenților de frecvență înaltă	108
5.3.	Compararea metodelor de uscare a cătinii albe după rezultatele cercetărilor	116
5.4.	Influența parametrilor procesului de uscare a fructelor de cătină asupra calității produsului uscat	119
<b>6.</b>	<b>Descrierea matematică a procesului de uscare a cătinii albe cu utilizarea convecție și UHF</b>	<b>128</b>
<b>7.</b>	<b>Realizarea tehnică a procesului de uscare a cătinii albe cu aplicarea UHF</b>	<b>175</b>
	<b>Bibliografie</b>	<b>181</b>

### Introducere

Dezvoltarea continuă a ramurilor industriei alimentare poate fi asigurată atât din contul modernizării proceselor tehnologice existente, cât și prin elaborarea și implementarea noilor metode de producere, bazate pe linii tehnologice de eficiență înaltă.

Toate aceste sarcini este imposibil de rezolvat fără dezvoltarea stabilă a ramurilor complexului agro-industrial, care ocupă un rol important în industria Republicii Moldova.

Eficacitatea lucrului complexului agro-industrial, luând în considerație caracterul sezonier a acestuia, depinde în mare măsură de termenii de prelucrare a materiei prime și a semifabricatelor.

Una din metodele răspândite de prelucrare a produselor horticole este uscarea lor [22, 23, 32, 64, 79]. În legătură cu aceasta apare necesitatea de elaborare a noilor procedee de uscare, care să asigure calitate înaltă a produsului finit, crearea condițiilor pentru o prelucrare mai eficientă a recoltei strânse, reducerea pierderilor de produs, necesitate automatizării și mecanizării, intensificarea acestui proces și desigur reducerea cheltuielilor de energie [3, 6, 13, 15, 23, 33, 42, 45, 62, 65, 70, 79].

Majoritatea produselor horticole este prelucrată de industria alimentară în vederea obținerii produsului uscat de calitate superioară care este considerat semifabricat tradițional pentru prepararea conservelor pe timp de iarnă.

În legătură cu extinderea continue a producerii de fructe și legume uscate, creșterea cerințelor față de calitatea produsului finit și îmbunătățirea tehnologiei de producere apare necesitatea

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

de elaborare a noilor procedee de uscare a produselor horticoale, asigurându-se calitatea înaltă a produsului finit, mecanizarea, automatizarea și intensificarea considerabilă a procesului.

Până în prezent rezolvarea sarcinilor actuale în domeniul tehnicii și tehnologiei de uscare sunt îndreptate spre:

- a) cercetarea și aprofundarea studiului caracteristicilor fizice și a legilor de transfer de energie și transfer de masă la diferite metode de uscare;
- b) studierea continuă a proprietăților materialului ca obiect de uscare;
- c) utilizarea celor mai noi metode fizico-chimice de cercetare care explică procesul de transfer a umidității în interiorul produsului în timpul procesului de uscare;
- d) elaborarea metodicii științifice bazate pe aprecierea tehnico-economică a instalațiilor de uscare.

În afară de aceasta este necesar de trecut la proiectarea instalațiilor de uscare cu utilizarea principiului de monobloc și a sistemelor moderne de automatizare [207, 208].

Uscarea produselor umede este un proces termic și de difuzie a masei foarte dificil. Pentru sistemele multi-complexe, așa cum este produsul alimentar, procesul de uscare se prezintă prin două componente: termo-fizic și termo-tehnologic [22, 23, 64, 79].

Dacă din punct de vedere termo-fizic procesul de uscare determină numai transferul căldurii și a umidității prin grosimea stratului de produs, atunci, din punct de vedere tehnologic procesul de uscare prezintă combinarea proceselor de transfer de căldură și umiditate, însoțite de transformări chimice, biochimice și structural-mecanice. De aceea, alegerea procedeeului de uscare, regimului optim și a construcției instalației de uscare trebuie să fie strâns legată de caracteristicile materialului și tehnologia de uscare a unui sau a altui produs, bazându-se pe teoriile științifice a tehnologiei de uscare.

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

În prezent tehnologia procesului de uscare este legată de legile de bază a transferului de căldură și umiditate în diferite produse inclusiv cele alimentare [6, 13, 21, 24, 30, 31, 43, 44, 49, 52].

Intensificarea procesului de uscare a produselor alimentare inclusiv a produselor horticoale trebuie să fie direct legată de caracteristicile produsului și trebuie să se desfășoare cu asigurarea calității înalte a produsului finit. De regulă, pentru intensificarea procesului de uscare a produselor horticoale și creșterea eficacității economice a instalațiilor de uscare, se utilizează diferite căi, printre care pot fi:

- Utilizarea câmpurilor de temperaturi înalte (mai mult de 100<sup>0</sup>C). Dar în cazul dat este necesar de luat în considerație coeficientul de termorezistență pentru fiecare produs concret.
- Utilizarea metodelor noi a aportului de căldură, utilizând concomitent metodele aportului de căldură deja cunoscute (uscarea în strat fluidizat și altele).
- Utilizarea metodelor electrofizice de acționare asupra produsului: radiația infraroșie și utilizarea lămpilor cu descărcare în gaze (LDG), curenți de frecvență înaltă și curenți de frecvență supra - înaltă și combinarea acestora cu alte metode mult mai ieftine.

În ultima vreme s-au realizat un șir de cercetări științifice și s-a acumulat o oarecare experiență în domeniul utilizării metodelor electrofizice pentru realizarea proceselor de uscare a produselor alimentare, cât și a celor horticoale.

Rezultatele acestor eforturi sunt reflectate în lucrările cercetătorilor Ginzburg A. S., Rogov I. A., Krasnikov V. V., Musteață V. T., Lupașco A. S. În aceste lucrări se conchide că utilizarea aportului de căldură cu folosirea curenților de frecvență înaltă (U.H.F) și curenților de frecvență supraînaltă (S.H.F.) pentru tratarea termică a produselor alimentare și în același rând



## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

a produselor horticole, este una din cele mai progresive și progresul tehnic în industria alimentară este strâns legat de utilizarea lor.

O importanță deosebită în ultimul timp se atrage întrebărilor legate de folosirea materiei prime nu numai ca produs alimentar, dar și în scopuri medico-biologice, la acestea referindu-se și cătina albă. În prelucrarea tehnologică cătina albă la fel se supune procesului de uscare. De aceea, pentru ea trebuie de stabilit așa metode de tratare termică, care ar permite nu numai să atingem scopurile tehnologice finale, dar și să obținem și alte efecte folositoare, capabile să acționeze pozitiv asupra organismului uman din punct de vedere al medicinei.

Este cunoscut, că procesul de uscare al cătinii albe are loc pe șantiere închise sau deschise bine ventilate ori în încăperi. Acest proces este îndelungat și duce la pierderi a produsului finit, necesită ocuparea unor suprafețe mari, înrăutățește calitatea produsului finit și favorizează micro- și macro-flora. Toate acestea, din punct de vedere al medicinei, micșorează efectul pozitiv necesar [200, 201].

În prezent sunt insuficient studiate întrebările legate de determinarea metodelor și regimurilor raționale de uscare pentru produsele horticole, ce au o importanță medico-biologică, așa cum este cătina albă. Prezența acestor date ar permite de a elabora regimuri raționale de uscare din punct de vedere al respectării cerințelor tehnologice, al reducerii de cheltuieli și păstrarea componentilor biologic-activi ai produsului.

Utilizarea curenților de frecvență înaltă (U.H.F.) poate să dea perspective clare în intensificarea procesului de uscare a cătinii albe cu îmbunătățirea calității produsului finit. De aceea, elaborarea bazelor teoretice pentru realizarea procesului de uscare a cătinii albe cu ajutorul curenților de frecvență înaltă, este o sarcină actuală și are o mare importanță teoretică și practică.

### **1. STAREA ACTUALĂ A TEHNICII ȘI TEHNOLOGIEI DE USCARE A CĂTINII ALBE**

#### **1.1. Bazele teoretice moderne al transferului de masă și de căldură în procesele de uscare**

Baza teoretică a uscării materialelor le reprezintă legăturile transferului de căldură și de umiditate în materialele umede în prezența transformărilor fazice, în prezența interacțiunii lor cu gazele încălzite, cu suprafețele fierbinți, precum și prin aplicarea cu procesele câmpurilor electromagnetice, etc.

Uscarea materiilor umede este însoțită de multiple fenomene condiționate de transferul de căldură și de masă. Aceste transferuri cuprind atât regiunea interioară a materialelor umede, cât și mediul în care se află materialul propriu zis.

Uscarea materialelor este un proces tehnologic complex, care include transferul de căldură și de masă, axat nu numai pentru păstrarea unui șir de proprietăți ale materialelor, dar în unele cazuri, conduce la îmbunătățirea lor [48, 49, 105, 125].

În majoritatea cazurilor intensitatea procesului de uscare se determină conform vitezei deplasării umidității din straturile interioare ale materialului spre straturile periferice. Multiple cercetări au demonstrat, că acest proces, care este determinat de structura materialului, de formă și modul de legare a umidității cu scheletul materialului și de alți factori, este greu de dirijat și foarte modest studiat [49, 54, 73, 93, 94, 107, 116].

Teoria modernă de transfer de căldură și de masă studiază transferul interior de căldură și de masă în corpurile umede ca un complex de fenomene termodinamice nestaționare indirecte,

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

legate organic între ele și influențând unul asupra altuia, care au loc sub acțiunea unui șir de forțe motrice termodinamice.

La baza acestei teorii stau lucrările diferitor școli al fizicienilor cunoscuți (O. Onzagher, K. Denbig, S. De Groot, I. Prigojin și alții [64, 172] și care au fost prelungite de învățații din statele CSI [38, 48, 56, 73, 105, 111, 117, 125, 141, 143].

Un timp îndelungat se considera, că termenul „ireversibilitatea” proceselor în structurile științelor naturale și legile abea apărute, determină adevărul despre natură „cum ea este” în realitate. Cu atragerea în acest proces nu numai a legității doar a naturii singure „cum ea este”, ci și apărerii observatorului a dat posibilitatea de a descoperi, ce în termodinamică se subînțelege prin cuvântul ireversibilitate. În [60, 61] se menționează, că în termodinamică apare doar impresia de ireversibilitate, dar în realitate, procesele sunt reversibile. Astfel, sistemul care se menționează în [61] se va întoarce la starea inițială dar noi aceasta „nu o vom observa”.

Teoria proceselor indirecte se bazează pe două principii: de liniaritate și reciprocitate, propuse de O. Onzagher. Conform principiului de liniaritate fluxul  $J$  și forța  $X$  sunt legate liniar [41, 129, 179, 225]:

$$\begin{aligned} J_1 &= L_{11}X_1 + L_{12}X_2 + L_{13}X_3 \\ J_2 &= L_{21}X_1 + L_{22}X_2 + L_{23}X_3 \\ J_3 &= L_{31}X_1 + L_{32}X_2 + L_{33}X_3 \end{aligned} \tag{1.1}$$

în care  $L$  este coeficientul cinetic al lui Onzagher.

Acest sistem de ecuații liniare descrie procesul de propagare a fluxurilor în direcția celor 3 coordonate -  $X$ ,  $Y$  și  $Z$ . Aici fiecare direcție este influențată de celelalte 2. Relațiile (1.1), exprimă adecvat orișice fenomene și sunt valabile pentru orișice număr de fluxuri.

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

Principiul de reciprocitate constă în egalarea coeficienților cinetici încrucișați:

$$\begin{aligned}L_{12} &= L_{21} \\L_{13} &= L_{31} \\L_{23} &= L_{32}\end{aligned}\tag{1.2}$$

Aceste egalități exprimă prezența simetriei în influența reciprocă a fluxurilor.

Corelațiile reciprocității (1.2) exprimă principiul transformării microscopice, propus de Tolmen [11]. Aceste corelații de asemenea, cum a arătat S. De Groot [64], cu succes pot fi folosite și pentru fenomenele nestaționare de transmitere a intensității nu prea înalte.

A. V. Lîcov în [124, 201] accentuează, că în cazul proceselor nestaționare de intensitate înaltă principiul de liniaritate, de regulă, se încalcă. Cu toate acestea, corelația dintre fluxul  $J$  și forța termodinamică  $X$  poartă un caracter neliniar. Partea cantitativă a influenței reciproce a diferitor fluxuri, poate fi apreciată diferențiind relațiile (1.1):

B.

$$\begin{aligned}\left(\frac{\partial J_1}{\partial X_2}\right)_{X_1} &= L_{12} & \left(\frac{\partial J_2}{\partial X_1}\right)_{X_2} &= L_{21} \\ \left(\frac{\partial J_1}{\partial X_3}\right)_{X_1} &= L_{13} & \left(\frac{\partial J_3}{\partial X_1}\right)_{X_3} &= L_{31} \\ \left(\frac{\partial J_2}{\partial X_3}\right)_{X_2} &= L_{23} & \left(\frac{\partial J_3}{\partial X_2}\right)_{X_3} &= L_{32}\end{aligned}\tag{1.3}$$

Atunci cu calculul coeficienților din (1.2), obținem:

$$\begin{aligned}\left(\frac{\partial J_1}{\partial X_2}\right)_{X_1} &= \left(\frac{\partial J_2}{\partial X_1}\right)_{X_2} \\ \left(\frac{\partial J_1}{\partial X_3}\right)_{X_1} &= \left(\frac{\partial J_3}{\partial X_1}\right)_{X_3} \\ \left(\frac{\partial J_2}{\partial X_3}\right)_{X_2} &= \left(\frac{\partial J_3}{\partial X_2}\right)_{X_3}\end{aligned}\tag{1.4}$$

Analiza egalităților, prezentate în (1.4), demonstrează că este de ajuns de calculat una din ele. Reieșind din I egalitate, se vede, că creșterea fluxului de căldură, atribuită la creșterea forței cinetice, condiționând difuzia  $X_2$ , este egală cu creșterea fluxului de substanță, referită la creșterea forței  $X_1$ , condiționând transferul de căldură și masă în una din cele 3 direcții.

Forțele motrice termodinamice ale transferului precum și în termodinamica proceselor indirecte, se determină din corelația [216]:

$$T \frac{\partial S_v}{\partial \tau} = JX\tag{1.5}$$

în care  $\frac{\partial S_v}{\partial \tau}$  este viteza de apariție a entropiei în unitatea volumetrică a sistemului;

T - temperatura absolută a sistemului.

R. Clausis a demonstrat, că pentru sistemele izolate (adică sistemele, pentru care schimbul de energie și masă cu mediul

## Uscarea cătini albe în camp S.H.F.

înconjurător este imposibil) entropia  $S$  crește monoton pînă nu atinge valoarea maximă în regim de echilibru termodinamic.

$$\frac{\partial S_V}{\partial \tau} \leq 0$$

Prin urmare, toate sistemele echilibrate se caracterizează prin criterii universale de evoluție, care pot fi exprimați în forma:

$$\max S(U, V, n_i), \quad \partial S = 0$$

în care  $U$  este energie internă;

$V$ - volumul;

$n_i$  – numărul de componente ( $i=1, 2, \dots$ ).

Conform principiilor de bază a termodinamicii proceselor indirecte [225], legea transferului interior de masă referitor la uscarea materiilor umede, poate fi exprimată în felul următor:

$$J_m = -D_m \rho_0 \nabla u - D \rho_0 \delta \nabla T \quad (1.6)$$

în care  $D_m$  - coeficientul de difuzie,  $m^2/s$ ;

$\delta$ - coeficient al gradientului de temperatură,  $1/grad$ ;

$\nabla u$  și  $\nabla T$  - gradientii umidității și temperaturii;

$\rho_0$  - densitatea aerului uscat,  $kg/m^3$ .

Din (1.6) se observă, că gradientul de temperatură stopează transferul de umiditate spre suprafața materialului. Transferul de masă prin (1.6) este caracteristic pentru metoda convectivă a aportului de căldură.

Conform cercetărilor efectuate de A. V. Netușil, A. B. Ptușkin, P. D. Lebedev, I. A. Rogov, N. P. Jmachin, G. A. Maximov, N. L. Perșanov [29, 76, 130, 145, 146, 144, 166, 173,

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

175, 176] și alții, s-a constatat, că la folosirea metodelor de aport de căldură la intensități înalte a câmpurilor electromagnetice un rol important îl joacă gradientul de presiune  $\nabla p$ .

Viteza mare a aportului de căldură la încălzirea în câmp electromagnetic de frecvență înaltă a materiilor umede, după cum au demonstrat cercetările lui G. A. Maximov [130] și N. P. Jmakin [75, 76], provoacă formarea intensivă a aburilor în produs. Evaporarea umidității are loc în tot volumul corpului, însă după [75, 130, 173, 176], în centrul corpului acest proces are loc mai intens, decât la suprafața lui, deoarece temperatura straturilor centrale este cu mult mai înaltă, decât temperatura straturilor periferice. În urma acesteia, apare gradientul de presiune general, care după părerea autorilor [130] și este forța motrice de bază a aportului de abur în interiorul corpului. A. V. Lîcov a expus ipoteza, că în câmpul electric variabil are loc și aportul de umiditate sub acțiunea difuziei electrice ( $D^3\rho_0E$ ).

Astfel relația (1.6) obține următoarea formă [125, 216]:

$$J_m = -D_m\rho_0 \nabla u - D_m\rho_0 \nabla T - K_p \nabla p - D^3\rho_0 E \quad (1.7)$$

Fluxul de masă propus de A. V. Lîcov în câmpul electromagnetic de înaltă frecvență, care determină difuzia electrică nu ia în considerație multicomponența sistemului. În cazul folosirii fructelor acesta este foarte important. Această întrebare au fost discutate în [99].

Gradul de influență al fiecărui din gradientele indicate în ecuația (1.7) se determină prin metoda aportului de energie, prin intensitatea lui, precum și prin structura interioară a materialului și starea lui termică. De exemplu, gradientul  $\nabla u$  și  $\nabla T$  sunt caracteristici a încălzirii prin convecție, a aportului de căldură și iradierii atunci când fluxul de căldură se mișcă de la suprafața încălzită spre straturile superioare ale materialului [46, 125, 201]. La încălzirea materialului prin convecție și prin iradiere starea lui

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

termică se caracterizează printr-un câmp de temperaturi, care frânează trecerea umidității din straturile centrale spre suprafață, ce reprezintă zona de evaporare. Aceasta conduce la durată mai lungă a procesului de uscare [125, 216].

În prezent sunt realizate cercetări profunde ale câmpurilor de umiditate și de temperatură la metodele aportului de energie prin convecție, prin conducție și IR cu scopul dezvăluirii posibilităților de intensificare a procesului de transfer de masă interior din contul gradientilor  $\nabla u$  și  $\nabla T$  [2, 46, 73, 105, 107, 125, 127, 179, 216].

În lucrările [130, 154] s-a demonstrat, că la încălzirea prin convecție intensivă, în material de asemenea apare presiunea abundentă, care relaxându-se atât spre suprafață, cât și spre centru, creează un gradient negativ. Astfel, în procesele de uscare prin convecție, prin radiație și prin conducție, unicul gradient pozitiv este gradientul de umiditate  $\nabla u$ . La încălzirea cu intensitate mică și frecvență înaltă a materialelor umede gradientii  $\nabla u$ ,  $\nabla T$  și  $\nabla p$  contribuie la transferul de masă în straturile periferice ale materialului. Prin aceasta și se deosebește această metodă de încălzire de altele. În aportul de căldură intensiv influența tuturor gradientilor asupra transferului de masă devine foarte mică în comparație cu transferul de masă, determinat de gradientul de presiune  $\nabla p$ . În acest caz ecuația transferului de umiditate în material obține forma [216]:

$$J_m = -K_p \nabla p \quad (1.8)$$

Conform [46, 99, 105, 125], asupra fluxului de căldură influențează aceleași forțe. La uscarea materialelor umede transferul de umiditate depinde de proprietățile fizico-coloidale ale materialului și forma de legătură cu scheletul corpului, de structura poroasă a corpului și de condițiile interacțiunii materialului cu mediul înconjurător.



## Uscarea cătini albe în camp S.H.F.

---

Paralel cu acesta cum este menționat [73, 128] în materialul ce conține umiditate, transferul de umiditate poate avea loc în formă lichidă și vapori pe cale molaro-moleculară.

Absorbția și deplasarea umidității în materialele umede într-o oarecare măsură depind de prezența în ele a capilarelor de diferite dimensiuni. După cum a demonstrat L. Cavcazov, în procesul de sorbție a umidității din aer, la presiuni normale, se umplu cu umiditate doar microcapilarele cu dimensiuni  $r < 10^{-4}$  mm. Macrocapilarele ( $r > 10^{-4}$  mm) sunt capabile să se umple cu umiditate numai la contactarea corpului dispersat cu lichidul.

La prezența gradientului de temperatură, în corpul umed are loc deplasarea lichidului în direcția fluxului de căldură [108]. Lucrări importante de cercetare a mecanismului de transfer al umidității prin membrane în capilare au fost efectuate de B. V. Dereaghin, N. V. Ciuraev, S. V. Nerpin și alții [69, 143]. După B. V. Dereaghin, potențialului transferului de umiditate prin membrane este gradientul presiunii de dispersare. Asupra procesului de restituire a umidității materialelor umede și procesului de uscare, o mare influență o are circulația aerului umed în macropori. Ultima se observă în prezența gradientului de temperatură. Pe lângă aceasta, are loc și separarea termodifuzică a aerului (abur mai ușor  $\mu=18$  și aer  $\mu=28$ ), ceea ce duce la îmbogățirea capetelor încălzite a capilarelor cu abur și afluxul aerului exterior mai uscat spre capetele mai puțin calde a capilarelor.

În baza legii acumulării energiei și a masei A. V. Lîcov [123, 125], a obținut sistemul de ecuații diferențiale al transferului de căldură și de masă în materiile umede în prezența transformărilor fazice cu evidența aportului convectiv de căldură cu ajutorul fluxului de abur și umidității în material la presiunea constantă, care are următoarea formă:

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

---

$$c\rho_0 \frac{\partial t}{\partial \tau} = -divJ_q + \varepsilon r \rho_0 \frac{\partial u}{\partial \tau} \quad (1.9)$$

$$\rho_0 \frac{\partial u}{\partial \tau} = -divJ_m \quad (1.10)$$

în care  $c$  este capacitatea termică specifică a materialului umed, în J/kg·grad;

$r$  – căldura specifică de tranziție, în J/kg;

$\varepsilon$  – criteriul de trecere fazică.

La uscarea materiilor umede cu curenți de frecvență înaltă apar surse interioare de căldură. În acest caz, ecuațiile transferului de masă și căldură vor fi [123, 125, 130]:

$$c\rho_0 \frac{\partial t}{\partial \tau} = -divJ_q + \varepsilon r \rho_0 \frac{\partial u}{\partial \tau} + P_v \quad (1.11)$$

$$\rho_0 \frac{\partial u}{\partial \tau} = -divJ_m \quad (1.12)$$

în care  $P_v$  este puterea sursei de căldură într-o unitate volumetrică de material la aplicarea câmpului electromagnetic de frecvență înaltă, în V/m<sup>3</sup>.

Se determină conform expresiei [29, 199]:

$$P_v = 0,555 \cdot E^2 \cdot f \cdot tg\delta \cdot 10^{-6} \quad (1.13)$$

După cum se observă din (1.13), puterea sursei de căldură într-o unitate volumetrică de material este direct proporțională cu permeabilitatea dielectrică relativă  $\varepsilon$ , tangenta unghiului de pierderi dielectrice  $tg\delta$ , frecvența câmpului electromagnetic  $f$  (Hz) și pătratul intensității câmpului electromagnetic  $E$  (V/m).

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

Coeficienții de transfer, introduși în (1.11) și (1.12), depind atât de factorii interni al sistemului, cât și de factorii externi ai lui. De aceea calcul relațiilor (1.11) și (1.12) se efectuează doar cu condiția că coeficienții de transfer au valori constante.

Coeficienții termici a materialelor, care sunt incluși în (1.11) și (1.12), se determină pe cale experimentală pentru fiecare material în parte, sau pentru un grup de materiale. Aprecierii acestor coeficienți au fost consacrate lucrările următorilor savanți: L. M. Nikitina, M. F. Kazanskii, V. P. Dușenco, V. P. Juravleova, G. A. Maximov și alții [45, 72, 76, 121, 130, 147, 166, 175, 218].

Sistemul de ecuații diferențiale (1.11) și (1.12) este prezentat fără calculul ultimului membru al ecuației (1.7). Acest membru poate fi calculat în torentul general, dacă determinăm coeficienții transferului de masă și căldură. Determinării acestor coeficienți sunt consacrate lucrările lui V. T. Musteața. O. A. Kremneva, V. P. Dușenco, M. S. Pancenco, S. G. Romanovskii, ș.a. [76, 78, 107, 139, 156].

Din lucrările menționate [107, 139], și conform lucrărilor A. A. Lisencov [144, 145, 146] reiese, că ignorarea membrului al patrulea în sistemul de ecuații (1.11) și (1.12, duce la diminuarea potențialului de transfer.

Modelul fizic al procesului de încălzire a materiilor umede la aplicarea câmpurilor electromagnetice de frecvență înaltă, cum se menționează în [33, 73, 97, 126, 141, 191], este determinat de condițiile naturii de extindere a energiei electromagnetice. Mărimea ce determină modelul este grosimea obiectului, egală cu adâncimea dublă la pătrunderea energiei cu frecvență înaltă cu evidența atenuării după legea exponențială. În același timp, un șir de prezentări [196], sunt de părerea, că modelul fizic ales nu este total adecvat obiectului corectat și caracterului răspîndirii căldurii. Reieșind din analiza curbelor uscării și vitezei de uscare

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

sunt de părerea, că uscarea ar trebui să fie examinat corect ca convectivă cu o sursă internă de energie U.H.F.

Problemei transferului de masă interior în material, prin aplicarea câmpurilor electrice sunt dedicate multe lucrări. Însă ele nu cuprind toate problemele, care apar în cazul acestor fenomene complicate. Un șir de întrebări, ca determinarea coeficienților de transfer la aplicarea câmpurilor electrice, rolul fluxului de umiditate în curentul total de transfer de masă, viteza de relaxare a câmpurilor potențiale în materiile umede, rezolvarea analitică a sistemelor neliniare de ecuații a schimbului de căldură și masă ș. a., trebuie să fie cercetate în continuare.

### **1.2. Cătina ca obiect de uscare**

Din timpuri îndepărtate cătina albă era folosită ca materie primă pentru producerea produselor alimentare și a preparatelor medicinale.

Cătina albă (*Hippopae hamnoides* L.) - denumirea generică. Denumirea greacă a plantei este „*hippophaes*” de la „*hippos*” – cal și „*phaos*” – luciu, latinescul *hamnoides* de la *hamnos* – denumirea tufișului ghimpat și *oides* – similar.

În Grecia Antică crengile tinere și frunzele cătinii albe se folosesc pentru lecuirea cailor. Animalele se însănătoșeau, blana le lucea. Aceasta și a servit drept exemplu pentru denumirea generică a cătinii [77, 155].

Din punct de vedere al botanicii și a structurii biofuncționale ca și toate plantele cătina albă este compusă din două părți: partea terestră și subterană. La partea superioară se referă frunzele, florile, fructele, mugurii, coaja, iar la cea subterană – rădăcinile.

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

În scopuri alimentare și medico-biologice, cum s-a constatat de mulți autori [19, 71, 74, 77, 112, 155, 215, 220, 221] la cătină se folosesc fructele.

Cătina albă are rădăcini dezvoltate. La tufișul cu vârsta de 5 ani rădăcinile se extind pe o rază de 5-6 m și dau pînă la 20 lăstari. Frunzele sunt alterne, simple, liniare sau liniar-lancelate, contrare, cu peduncule scurte, cu lungimea de 2-8 cm, lățimea - 0,3-0,8 cm. Limbul frunzei în partea de sus este de culoare albă cu nuanță sur-argintie. Florile sunt unisexuate, mărunte, neatractive [74].

Fructele proaspete de cătini albe trebuie să aibă culoarea de la galben la oranj închis, gustul dulce-acriș de ananas, miros slab. Cu cît culoarea cătinii este mai aprinsă, cu atît în ea se conține mai multă carotină. Fructe necoapte nu trebuie să conțină mai mult de 1%; vătămate de dăunători nu mai mult de 2%; crengi și alte părți ale plantei nu mai mult de 1%; substanțe minerale nu mai mult de 0,5%; fructe strivite în condițiile de păstrare a sucului să nu fie mai mult de 35%. Aciditatea fructelor nu trebuie să fie mai înaltă de 5%, conținutul în ele a carotinoizilor nu mai mult de 10 mg-%.

Fructul este o drupă succulentă. Pericarp succulent și aromat. Rodește bogat și regulat. Sâmburele este neted, din ambele părți este lucios cu brazda longitudinală de culoare cafeniu deschis sau închis, uneori aproape neagră, în formă de ou – alungit, cu lungimea de 4-7 mm, lățimea și grosimea 4-5mm. Fructele amplasate fascicular, care acoperă dens baza lăstarilor tineri scurtați pe creșcăturile anului trecut. Forma fructelor este diferită: rotundă, ovală, în formă de ou, alungită, cilindrică, în formă de nap. Dimensiunile și masa fructelor și a semințelor sunt variate chiar și în condițiile aceleiași populații. De obicei, masa medie a 100 de pomușoare de cătină albă sălbatică este 25-45 g, cătina de calitate – 40-60 g. Este diferită și culoarea fructelor [15, 155, 204].

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

Fructele cătinii se strâng doar coapte, atunci când ele obțin dimensiunile și culoarea caracteristică fructelor de acest tip și când acumulează conținutul maximal de ulei și alte substanțe biologic-active. Este bine de strâns fructele, când ele nu sunt umede, deoarece în acest caz ele mai puțin se murdăresc [112, 120, 136].

Fructele cătinii se strâng prin metoda smulgerii, scurtării, tăierii crengilor roditoare și cu ajutorul diferitor dispozitive și mecanisme [112, 120, 136].

Cătina albă se socotește unul din cele mai prețuite plante cu o cantitate mare de vitamine. Datorită conținutului de vitamina C cătina ocupă locul III [71, 84] după măcieș și actinide (de la 100 pînă la 700 mg-%), este bogată, de asemenea, în vitamine B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>9</sub>, K<sub>1</sub>, P, substanțe active (50-100 mg-%), pectină [238]. În starea congelată și pisată ea nu-și pierde conținutul de vitamine chiar și pînă la primăvară. De aceea ea este cumpărată la sfârșitul iernii, când se termină resursele de fructe și legume și se observă o insuficiență de vitamine [82, 221]. Unii autori [174, 219], datorită conținutului diferit de vitamine numesc cătinile „bombe de vitamine, surse lecuitoare, dulciuri apetisante”, și de asemenea „anas Siberian” [137].

Cătina crește pe malurile și bancurile de nisip ale lacurilor, mărilor, pe nisipuri și stînci, coaste abrupte.

Unele țări (Rusia, China) folosesc cătina ca o plantă care întăresc malurile contra prăbușirii și le păstrează de la alunecarea straturilor terestre [74, 96, 222], deoarece rădăcinile ei se extind aproape de suprafață.

Cătina și semifabricatele ei se folosesc pentru obținerea diferitor produse alimentare. La ele se referă diferite tipuri de pișcot, biscuiți, înghețată, creme, magiun și pastile, sufleu, pereu, geļu și altele. De asemenea, din suc stabilizat de cătina [90] se obțin diferite băuturi – de mere, de mere cu morcov, cu afin și miere și diferite combinații ale sucurilor de fructe și legume cu

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

sucul de cătină. De asemenea, din cătină se produc diferite tipuri de băuturi alcoolice și nealcoolice – lichior, rachiu, balsam [96], vin [165] și cocteiluri alcoolice, concentrate [161]. Diferite gustări – cătină cu dovleac și mere; cu hrean, mere și morcov și altele. Diferite tipuri de paste, budinci, blinele, pîine [89], plăcinte și alte tipuri de produse.

Compoziția sucului de cătină și a altor adaosuri alimentare a permis de a obține un produs granulat care are o activitate biologică ridicată [26, 77, 82, 151]. De asemenea, în [160] este descrisă metoda de obținere a adaosurilor alimentare din șrot de cătină.

Diferite produse de culinarie în [88, 202] se propun de obținut din reziduurile de prelucrare a cătinii.

Sucul de cătină are o influență bactericidă în ceea ce privește stafilococii, agenții fibrei tifoide [177], dizenteria, salmonelleza. El stimulează digestia [34], mărind secretarea fermenților digestivi și a bilei, mărește rezistența animalelor la infecții, exercită o influență boistimulatoare (acelerează creșterea animalelor; mărește numărul eritrocitelor; mărește cantitatea de hemoglobină, de proteine ale sîngelui, de fosfolipide; crește coeficientul albumină/globulină). În condițiile hepatitei toxice experimentale sub influența sucului la animale se micșorează intensificarea proceselor distrofice și necrotice în celulele ficatului. Cătina albă este cea mai bogată sursă de vitamine naturale, după conținutul de vitamina E ea întrece toate fructele și pomușoarele cunoscute din Rusia.

Valoarea de bază a cătinii – uleiul. Uleiul de cătină are o consistență densă, de culoare oranj aprinsă, cu gust și miros specific [110]. Uleiul de cătină albă, obținut din pulpele fructelor – preparat univesal cu un conținut mărit de vitamine și lecuitor. Pentru obținerea 1 kg de ulei trebuie de prelucrat 25 kg de fructe. Dar cel mai prețuit ulei este acela, obținut din semințele de cătină (de culoare galbenă). Efectul lecuitor al uleiului se datorează

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

substanțelor biologic-active, care se conțin în el: carotinoide, tocoferoli, acizi grași și fitosterini, fosfolipide, vitaminele A, C, K, P și vitaminele grupei B și altele.

Cercetările bacteriologice au arătat, că uleiului de cătină albă îi sunt caracterisice proprietăți antibacteriale. El are o activitate biologic-activă înaltă, contribuie la accelerarea epitelizării și exercită o influență stimulatorie la vindecarea ulcerului trofic și a rănilor. Uleiul de cătină se folosește cu succes în practica oncologică, chirurgicală, genecologică și dermatologică pentru lecuirea diferitor disfuncții trofice – decubitusului, eroziei, arsurilor, dermatitelor solare, eczemelor și altele. Astfel de boli ale pielii ca heilita, eczema, psoriazul, boala ulceroasa, boala lui Darie, cu succes se vindecă cu ajutorul uleiului de cătină, care se administrează în cantitate de 2 ml pe zi și se unge la exterior cu unguent de 5% [177].

Uleiul de cătină contribuie la resorbirea rapidă a infiltratelor, scoate eritema, edemele, bolile și arsurile, încetează cojirea, contribuie la epitelizarea și la dispariția pruritei (mâncărimii). El ajută de asemenea la leziunile mucoasei cavității bucale, la crăpături, la apariții de pete și la alte defecte ale pielii și la îmbolnăviri ale ochilor. Uleiul de cătină se folosește în cazul colpitei, endocervicitei și eroziei colului uterin [110, 177].

El are acțiune sedativă, stopează dezvoltarea aterosclerozei și a schimbărilor de vîrstă a oamenilor înstăriți. Preparatele din cătină albă au proprietăți antiinfarctice, antiaterosclerotice, îmbunătățesc văzul, previn formarea trompelor.

Lecuirea cu ajutorul uleiului de cătină a bolnavilor cu ulcer stomacal și duodenal contribuie la îmbunătățirea stării lor, pe lângă aceasta aciditatea sucului gastric nu se schimbă considerabil. Este efectiv de folosit, de asemenea, uleiul de cătină în cazul proctitei ulcero-erozive, sfincteritei ulcero-



## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

erozive, proctitei catarale și atrofice, hemoroizilor interni la bolnavii de enterocolita cronică.

În afară de aceasta, uleiul de cătină se folosește în caz de haimorita, în perioada postoperațională după tonzilactomiei, în cazul tonzilitelor cronice, la lecuirea pulpitelor și a periodontitei. Uleiul de cătină intră în componența preparatului combinat „Олазол”, în care intră, de asemenea, levomicetina anestezina, acidul boric și alte ingrediente. Preparatul se află sub presiune în balon cu mecanism de dozare. Preparatele din cătină nu provoacă efecte secundare [17].

Uleiul de cătină (Oleum Hippophaeae) se obține atât din pulpa fructelor, cât și din sîmburi. Eliminarea uleiului de cătină se înfăptuiește prin 2 metode de bază – „fierbinte” și „rece”. Metoda fierbinte constă în extragerea uleiului prin procedeul încălzirii din materialul mărunțit pînă la temperatura 80-100<sup>0</sup>C. De asemenea, uleiul se folosește, îndeosebi, în scopuri alimentare și tehnice [25, 102, 204]. Metoda rece de extragere este fără încălzire [25, 102, 204]. În particular, din pomușoare se stoarce sucul și se limpezește în loc rece. Uleiul în timpul limpezirii se ridică la suprafață și apoi se strînge. Uleiul obținut prin așa procedeu se socoate cel mai calitativ. Tescovina rămasă după stoarcerea sucului adăugător se mărunțește, se acoperă cu ulei vegetal (de floarea-soarelui [204], de măsline [221]), se lasă și se separă prin presare. Acest ulei este mai deschis la culoare și nu se prețuiește atât de mult.

Există și alte metode de obținere a uleiului de cătină. Astfel, fructele coapte de cătină se trec prin sită. Semințele împreună cu coaja rămasă se usucă și se păstrează separat. Masa obținută la presare se încălzește pînă la 80-90<sup>0</sup>C, se toarnă în bănci de sticlă și se închide ermetic. În procesul de păstrare (2-3 luni) masa obținută la presare se separă în două straturi. Stratul de sus care conține 25% ulei atent se separă și se toarnă în cratiță de email, se adaugă semințele și coaja, obținute la trecerea prin

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

sită a cătinii. Uleiul de floarea-soarelui (0,5 l la 1 kg de pastă de cătină) se fierbe și se toarnă fierbinte în pasta cu coajă. Masa obținută se pune în cuptorul de copt, agitând, se topesc la temperatura de 60-70<sup>0</sup>C în timp de 2 zile. Așa procedură se poate înfăptui pe baia de apă. La încălzire uleiul de cătină se extrage cu ajutorul uleiului de floarea-soarelui. Peste 2 zile uleiul se filtrează prin săculeț de tifon, care se suspendează pentru scurgerea uleiului.

Diferite metode de extragere a uleiului din cătină sunt descrise în [25, 102, 132, 204].

Cum se evidențiază în [136] uleiul trebuie păstrat în tară de sticlă astupată în loc rece și la întuneric nu mai mult de 1,5 ani.

Pentru administrarea interioară uleiul de cătină este interzis în cazul proceselor inflamatoare în vizica biliară, ficat, pancreas, în cazul litezei biliare.

Metodele folosite au dezavantaje serioase cum se evidențiază în [52]. În particular, din cauza existenței proceselor fermentative și folosirii temperaturilor comparativ înalte, ele duc la scăderea calității uleiului. Pentru înlăturarea acestor dezavantaje [52] se propune (fig.1.1) tehnologia de prelucrare complexă a fructelor de cătină pe baza proceselor hidroacustice și membranale.

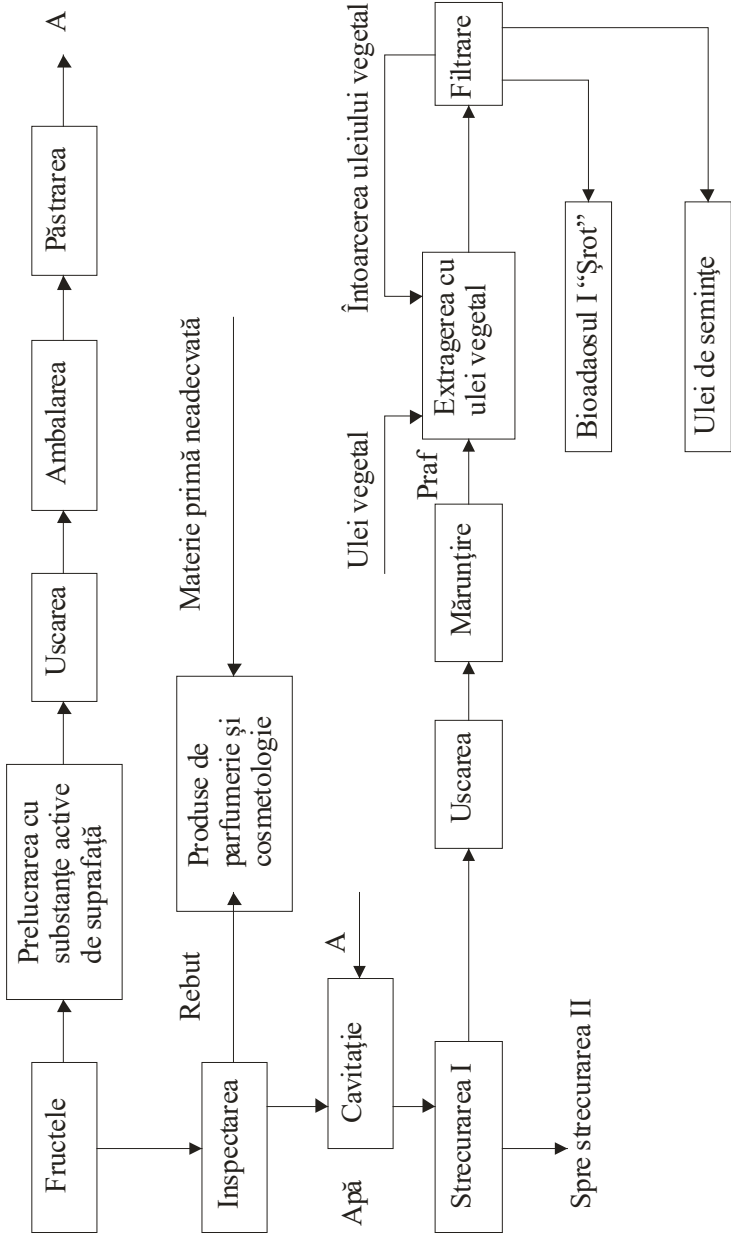


Fig. 1.1. Schema de prelucrare complexă a fructelor de cătină albă

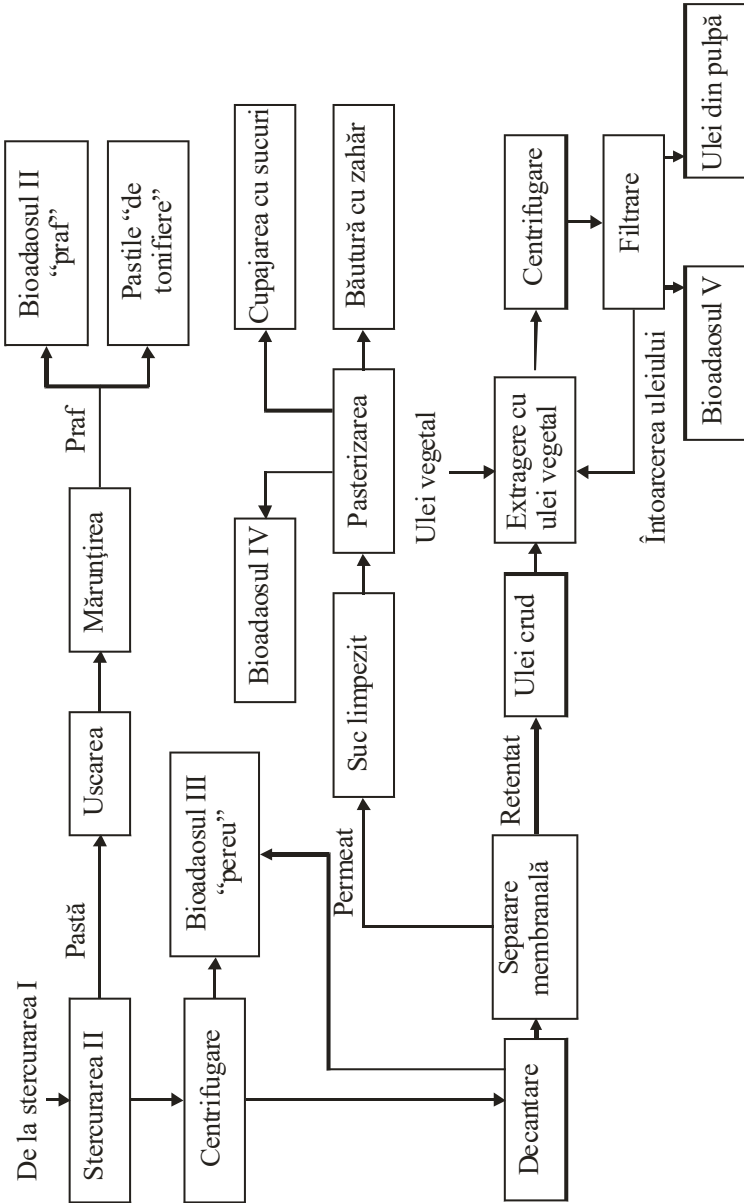


Fig. 1.1. Schema de prelucrare complexă a fructelor de cătină albă (continuare)

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

Tehnologia fără deșeuri propusă, cum se evidențiază în [52] permit de a primi concomitent câteva tipuri de produse (suc, ulei, bioadaosuri), de a mări gradul de păstrare a substanțelor biologic-active din contul excluderii aplicării temperaturilor.

În [159] se propune, de asemenea, linia, care asigură prelucrarea pomușoarelor de cătină albă în condițiile mediului gazos biologic-inert, care exlude oxidarea substanțelor biologic-active și schimbarea structurii și proprietăților, care permit de a accelera vitezele și adâncimea de prelucrare a pomușoarelor de cătină.

Din coaja de cătină [136] este extrasă 5-oxitriptomina, care are acțiune contra tumorilor. Tot acolo, se evidențiază, că fructele, frunzele și coaja cătinii au o largă răspândire în medicina din Tibet: pentru lecuirea bolilor de plămîni și rinichi, ulcerului stomacal și duodenal și altele.

Mulți autori [71, 221] marchează, că cătina a găsit o aplicare largă în cosmetologie. Cu ajutorul ei se poate de a avea grijă nu numai de piele și de păr, dar și de unghii.

### **1.3. Tehnici și tehnologii moderne pentru uscarea cătinii albe**

Cătina albă uscată prezintă un produs de valoare datorită gamei largi de substanțe nutritive utile corpului uman pe care le posedă. Cele mai utile pentru uscare se consideră fructele de cătină cu pulpa densă, succulentă (masa mai mare de 0,7 gr./buc). În Republica Moldova pentru uscare se folosește soiul de cătină albă verigăroasă (*Hippophae rhamnoides*) [19, 34, 89, 96, 102, 134, 155, 169, 215, 221].

Tehnologia producerii uleiului din cătina albă presupune o totalitate de operații tehnologice, și anume: depozitarea cătinii albe la întreprindere, transportarea și inspecția, spălarea,

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

blanșarea, separarea pulpei de semințe, uscarea semințelor, zdrobirea-măcinarea, presarea.

Calitatea produsului finit și gradul de extragere a uleiului din cătină sunt influențate într-o oarecare măsură de corectitudinea îndeplinirii fiecărei operații în parte, dar aportul decisiv, totuși îl are metoda de uscare aleasă și respectarea parametrilor optimați ai acesteia.

Fructele de cătină albă se usucă prin metoda naturală (heleo cu aer) și artificială (prin convecție). Metoda de uscare se alege în funcție de mai mulți factori:

1. Amplasarea geografică a punctelor de colectare și de uscare a fructelor;
2. Temperatura medie lunară în perioada de uscare;
3. Durata medie de timp cu soare pe parcursul zilei;
4. Prezența resurselor energetice și odul de conectare la ele;
5. Prezența suprafețelor de depozitare a materiei prime;
6. Volumul de materie primă;
7. Cerințele față de calitatea cătinii albe uscate;

### **1.3.1. Caracteristicile biostructurale ale cătinii albe ca obiect de studiu**

Cătina albă (*Hippophae rhamnoides*) este un arbore fructifer cunoscut ca parte componentă a florei spontane a Republicii Moldova, care se utilizează în mod egal în industria alimentară, farmaceutică, silvicultură ca plantă ornamentală.

Fructele de cătină albă sunt renumite prin gama largă de vitamine pe care le conține: A, B1, B2, B9, E, K, P, F. El conține o cantitate de vitamina C de două ori mai mare de cât măceșul și de 10 ori mai mare de cât fructele citrice. În fructele coapte conținutul de vitamina C depășește 400...800 mg la 100 g. suc proaspăt. În fruct mai regăsim celuloză, beta-caroten (într-un

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

procent net superior celui din pulpa de morcov), microelemente ca fosfor, calciu, magneziu, potasiu, fier de sodiu, uleiuri complexe etc. [34, 104,169].

Cătina se prezintă ca un arbust de înălțimea 1,5...3,0 m., cu numeroși țepi puternici.

După cum menționează un șir de autori [15, 82, 88, 90, 102, 159], toate elementele structurale ale cătinii posedă proprietăți utile importante și pot fi folosite în diferite domenii: alimentar, medico-biologic, farmaceutic ș.a. Din punct de vedere nutritiv, se utilizează frunzele, mugurii, florile, fructul și semințele, rădăcina [34, 52, 77, 102, 134, 136, 202, 204, 221].

Cătina albă începe să rodească în al treilea an după plantare și are o durată de producție de 18...20 ani. Sistemul radicular al pomului este bine dezvoltat, răspândit mai mult la suprafața solului, la 20 cm. adâncime și are mare capacitate de drajonare. Pe rădăcini se formează nodozități fixatoare de azot, ca la leguminoase. Prezența acestor formațiuni permite acumularea unor elemente ca bor, molibden, calciu, sulf. În interiorul acestor nodozități se incubează bacterii, care se dezvoltă, se înmulțesc și fixează azotul atmosferic transformându-l în azot asimilabil.

Tulpina are o scoarță netedă de culoare brună-verzuie, care cu timpul se întunecă la culoare. O particularitate a cătinii este prezența numeroșilor spini puternici, lignificați, foarte ascuțiți. Toate creșterile anuale de pe tulpină și amuri se termină cu astfel de ghimpi.

Frunzele sunt mici, dispuse altern, scurt petiolate, cu limbul îngust și lung de 5...6 cm., cu perișori solzoși de culoare cenușiu-argintie de ambele fețe. De la această caracteristică și vine denumirea populară de cătină albă. Frunzele ca și fructul sunt bogate în vitamina C.

Cătina albă este o plantă unisexuat dioică, având plante atât femele, cât și masculine. Plantele masculine sunt mai viguroase de cât cele femele, au ramuri anuale mai lungi, mai groase și de culoare

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

închisă, precum și muguri mai mari. Florile masculine sunt grupate în conuri scurte de culoare brună, și se află pe ramurile anuale. Florile femele sunt grupate câte 10...12 într-un racem foarte scurt.

Fructele prezintă niște drupe false mici, de formă variabilă, de la ovoidă la glubuloasă. Culoarea lor predominantă este portocalie, cu treceri spre galben. Mai rar apar și fructe de culoare roșie. Fiind în număr foarte mare, scurt pedunculat și așezate unul lângă altul, fructele îmbracă ramurile ca un manșon. Pulpa fructului este de culoare galbenă sau portocalie, foarte succulentă și lase pete unsuroase. Fructele de cătină au un miros plăcut și aromat, dar în stare proaspătă nu se consumă cu plăcere fiind acre și astringente. La maturitate completă, ele pierd multă aciditate și au o aromă particulară, mai puternică când se recoltă după primul îngheț [17, 34, 174, 204, 221].

În prezent din cătină se obțin următoarele produse: ceairi din fructe, muguri și frunze, siropuri din fructe, uleiuri din fructe. Acesta din urmă și este cel mai valoros din punct de vedere medicinal. Uleiul din cătină albă este utilizat în tratamentul multor maladii ca: ulcerul gastric și duodenal, alergiile, diarea, urticaria, reumatismul, afecțiunile neuroendocrinologice, circulatorii, hepatice. Are o acțiune reconfortantă, chiar cu efecte ușor narcotice. De asemenea se mai folosește alcoolism, anemii, asetnie și stres. Se utilizează și în geriatrie cu rezultate spectaculoase. Cu cătină se tratează afecțiunile oftamologice, coronariene, hipertensiunea arterială și gingivitele. În laboratoarele farmaceutice din cătină se obțin medicamente pentru tratarea depresiilor, bolii Parkinson, tumorilor, adenoamelor și leucemiei. Mugurii de cătină au efect afrodisiac. Cătina este și un bun antiinflamator, inhibă pfta de mâncare în cazul unor tratamente ale obezității [71, 215, 219, 221].



## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

În industria alimentară din fructele de cătină albă se prepară diferite nectaruri, siropuri, sucuri, gemuri, jeleuri, dulcețuri, lichioruri, diverse băuturi alcoolice [17, 90, 159, 161].

Datorită capacităților mari de drajonare, cătina albă se utilizează pentru consolidarea terenurilor în pantă, dar și în calitate de gard viu, având în vedere numeroșii spini puternici care împiedică pătrunderea iepurilor și a altor animale în spațiile care necesită protecție (livezi, vii, podgorii) [13, 222].

Majoritatea componentelor cătinii se supun procesului de uscare. Unele pentru mărirea duratei de păstrare (rădăcina, frunzele) altele pentru extragerea uleiului și a altor microelemente utile (sâmburii, tuberculele rădăcinilor). Uscării este supusă și tescovina obținută după extragerea sucului din pulpă pentru producerea prafului de cătină [88, 158, 160, 169].

### **1.3.2. Uscarea naturală**

Cea mai răspândită metodă de uscare a cătinii albe este cea naturală. Ea este caracteristică gospodăriilor fermiere individuale amplasate în raioanele cu condiții climaterice temperate. Acestea sunt Moldova, Ucraina, Rusia, China, Mongolia.

#### **1.3.2.1. Uscarea heleo la aer**

Uscarea heleo la aer a fructelor de cătină se realizează ca consecință a interacțiunii fructelor cu fluxul de aer din atmosferă. Ea se petrece pe plase metalice sau din lemn (loznițe) în încăperi ventilate, sau pe suprafețe deschise umbrite. Ca regulă suprafețele deschise sunt betonate [27] sau formate din talere de lemn [39]. Durata de uscare în astfel de uscătorii constituie de la 7 și până la 20 de zile [8, 27, 86].

Aceste suprafețe, după cum s-a menționat în [27, 217], ca regulă se montează în apropierea livezilor de cătină, ceea ce

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

reduce la maxim pierderile materiei prime și durata la transportare, și în depărtare de la drumuri pentru a evita poluarea producției. Tot aici, lângă aceste suprafețe, se rezervează loc cu acoperiș pentru sortarea și prelucrarea fructelor înainte de uscare.

Sortarea are loc pe transportoare sau mese de sortat. Pentru a asigura condiții normale de lucru vieza transportorului se admite nu mai mare de 0,05 m/s. [27]. Cu scopul accelerării procesului de uscare după sortare fructele de cătină albă sunt prelucrate cu soluție fierbinte de sodă caustică de concentrația 0,5 % pe parcursul a 15...30 sec. până când pe pericarp apar fisuri în formă de plasă subțire. În continuare fructele se spală cu apă curată rece, se plasează pe talere și se îndreaptă la uscare.

Pe parcursul uscării heleo la aer fructele sunt spuse acțiunii razelor solare, ceea ce se reflectă negativ asupra calității produsului uscat, de aceea se recomandă de a realiza uscarea în umbră. Uscarea la umbră este îndelungată și provoacă pierderi de materie primă, necesită suprafețe considerabile, este dependentă de condițiile climaterice și sunt greu de respectat condițiile de igienă.

Schimbul de căldură în uscătoriile heleo la aer poate fi realizat cu curenți naturali de aer sau orin convecție forțată, ambele fiind dependente de construcția încăperii uscătorului.

Calculul acestor încăperi și suprafețe se efectuează în funcție de forța motrică a gazodinamicii. Forța motrică a a ventilației naturale apare datorită presiunii termice și a curenților de aer.

Valoarea presiunii termice este dependentă de schema de organizare a ventilării naturale. Astfel, pentru cazul când ventilarea naturală se organizează din contul fisurilor din pereți valoarea presiunea termică (Pa) se calculă cu formula:

$$\Delta P_{tot} = (\rho_e - \rho_{med})gh \quad (1.14)$$

## Uscarea cătini albe în camp S.H.F.

în care  $\rho_e$  este densitatea aerului din exteriorul încăperii, în  $\text{kg/m}^3$ ;

$\rho_{med}$  – densitatea medie a aerului interior dintre fisurile camerei, în  $\text{kg/m}^3$ ;

$$\rho_{med} = (\rho_{zl} + \rho_{ev}) / 2$$

$h$  – înălțimea dintre cenrele fisurilor de aspirație și de refulare, în m.

$\rho_{zl}$  – densitatea aerului în zona de lucru a camerei, în  $\text{kg/m}^3$ ;

$\rho_{ev}$  – densitatea aerului evacuat din camera de lucru, în  $\text{kg/m}^3$ .

Pentru cazul când ventilarea se realizează prin aceleași fisuri, dat utilizând coșuri de aspirație forțată, presiunea termică se determină cu formula:

$$\Delta P_{tot} = (\rho_e - \rho_{med})h_f + (\rho_e - \rho_{ev})h_c \quad (1.15)$$

în care  $h_f$  este înălțimea de la centrul fisurii de aspirație până la cecentrul gurii de intrare în coșul de aspirație, în m;

$h_c$  – înălțimea aspirație, în m.

Valoarea presiunii vântului pentru ambele cazuri se determină din relația [209]:

$$\rho_{med} = (A_1 + A_2) \frac{v_B^2 \rho_n}{2} - \rho_e h \quad (1.16)$$

în care  $v_B$  este viteza calculată a aerului pentru localitatea dată, în m/s.

Valoarea coeficienților aerodinamici  $A_1$  și  $A_2$  pentru fisurile de aspirație și de refulare se determină conform [205], iar viteza aerului se determină conform anexelor 4 din [194].

### 1.3.2.2. Uscarea heleo

Una din direcțiile perspective de uscare a fructelor în condițiile gospodăriilor individuale și de fermieri este folosirea energiei radiante a soarelui. Aceste uscătorii permit într-o oarecare măsură de a înlătura unele lacune ale uscărilor heleo la aer. Durata de uscare se reduce de 3-5 ori în comparație cu cea heleo la aer, produsele sunt protejate de insecte, praf, umiditate, etc. [194], mai eficient se păstrează substanțele nutritive din fructe [16, 94, 198, 223]. În afară de acesta, uscarea fructelor în uscătorii heleo posedă un șir de avantaje economice deoarece se folosește o sursă ieftină de energie [198, 205, 206, 213, 223]. Uscarea cătinii albe prin metoda heleo ca regulă se efectuează numai pentru extragerea ulterioară a uleiului.

În uscătorii heleo boabele de cătină albă se plasează în dulapuri de uscate, în care se vehiculează aerul încălzit (60...70 °C) preventiv în sistemul heleo de încălzire a aerului.

Instalația tip cameră este prezentată în [205] și este constituită din sistemul heleo cu cazane de încălzire a aerului amplasate în două rânduri paralele. Între rânduri se află conducta centrală a aerului care se conectează la aceste cazane. Capătul opus al conductei este unit cu camera de uscare. Aerul încălzit în cazane de vehiculează cu ajutorul ventilatorului centrifugal prin conducte în camera de uscare. Suprafața sumară de absorbție a razelor solare este de 120 m<sup>2</sup>.

Instalații analogice sunt prezentate și în [163, 164].

Pentru reducerea consumului de energie cauzat de prezența ventilatorului în rețeaua de vehiculare a aerului cald în unele instalații se folosește tirajul artificial [213]. În acest caz încălzitoarele heleo de aer sunt proiectate în formă de o cutie monobloc, căptușeala superioară a căreia este confecționată dintr-un material transparent pentru razele solare, iar ce

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

inferioară din material absorbant. Cutia se află sub un unghi oarecare față de orizont, astfel încât înăuntru să se creieze presiune termică care vehiculează aerul de la straturile inferioare către cele superioare și mai apoi în camera de uscare. Diferite construcții a uscătorilor analogice sunt prezentate și în [190,187].

Unul din elementele cele mai importante a uscătorului heleo cu cameră este încălzitorul de aer (cazanul). De alegerea corectă a cazanului depinde eficiența funcționării întregii instalații. În [205, 212] se indică, că cele mai eficiente sunt cazanele cu suprafața de absorbție a energiei razelor solare gofrată cu perforații. Pentru ele coeficientul de acumulare a călduri de la soare este mult mai mare de cât a celor cu suprafața netedă. Aceasta se datorează în primul rând gradului înalt de turbulență a aerului care trece prin suprafața perforată și în al doilea rând temperaturii mai înalte a cazanului. Ca rezultat randamentul acestor cazane crește cu 20...30 la sută în comparație cu cele cu suprafața plată.

Uscătoriile cu cameră ca regulă se utilizează în perioada caldă a anului, de aceea în calitate de material transparent se utilizează un strat sau mai multe de sticlă [22]. sau peliculă polimeră . În calitate de cameră de uscare (de lucru) pot fi folosite toate instalațiile de uscare industriale, dar fără elementele de încălzire cu combustibil sau electricitate.

Productivitatea instalațiilor de acest tip constituie 0,6...1,2 kg de produs finit în 24 ore la 1 m<sup>2</sup> de suprafață, deci aproximativ de 2 mai mare ca la cele pe suprafețe deschise [205].

În instalațiile de uscare la soare și cu radiație (I.U.S.R.) schimbul de căldură radiant prevalează asupra celui prin convecție, adică helioinstalația și dulapul de uscare se combină într-un agregat, și produsul se supune acțiunii nemijlocite a razelor.

Cea mai simplă I.U.S.R. cu ventilare naturală sau forțată poate servi așa numita “ladă fierbinte”, care prezintă o ramă de

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

lemn [80], fundul căreia este format din scânduri. Rama de sus se închide cu un rând de sticlă. Lada în partea de sus și de jos are orificii, necesare pentru organizarea tirajului de aer, de asemenea are și uși pentru încărcarea-descărcarea platourilor.

Pentru intensificarea procesului de uscare a fructelor în I.U.S.R. prin lucrările [27, 91, 205] s-a demonstrat raționalitatea amplasării suprafeței absorbante de raze sub un unghi de  $25-30^0$  față de orizont. O asemenea amplasare a suprafeței absorbante de raze crează condițiile apariției presiunii termice, care îmbunătățesc caracteristicile aerodinamice a I.U.S.R.

În scopul folosirii mai eficiente a energiei razelor solare, în [81] se propune ca platourile cu produs să se plaseze în interiorul I.U.S.R., paralel suprafețelor de absorbție a razelor.

În [27] este prezentată și descrisă I.U.S.R. experimentală de tip "carusel" pentru uscarea fructelor și legumelor. Această instalație constă dintr-o cameră cu volumul  $25 \text{ m}^3$ . Suprafața transparentă a uscătoriei este îndreptată spre sud cu un unghi de înclinare față de orizont de  $30^0$ . În interiorul uscătoriei este amplasat un carusel, care prezintă o carcasă metalică rotitoare cu două trepte și care dispune de platouri de aluminiu.

Așa o instalație permite de a crea condiții favorabile pentru uscarea uniformă a produsului, deoarece el trece periodic prin zone uniforme de influență ale câmpului termic din dulapul de uscare.

Cercetările au demonstrat, că durata de uscare în regim de carusel, în comparație cu cel cu cameră radiantă, se reduce pentru diferite produse de 1,5 ori [27].

În instalațiile de uscare la soare cu radiație produsul este neapărat influențat de radiația solară și căldură, necesară pentru încălzirea materialului și evaporarea umidității, se transmite cu ajutorul energiei radiante. Însă, luând în considerație, că gradul de iradiere este instabil în timp, calculul cantității de căldură este mai complicat.

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

În lucrările [150, 206, 213] se propune o procedură de calcul al schimbului de căldură și de masă. Concomitent se afirmă, că după proprietățile optice toate obiectele heleouscătoriale se combină în trei grupe: sisteme cu unul, două și trei straturi de amplasare a produsului. Astfel fructele cătinii albe se referă la sisteme cu două straturi.

### **1.3.2.3. Uscarea combinată**

Pentru alegerea variantei optime constructive ale instalațiilor de uscare la soare și cu radiație este necesar de prezentat corect imaginea fizică a procesului de uscare a materiei prime. Procesul de uscare propriu zis se referă la procesele nestaționare. În afară de aceasta, la uscarea în instalațiile heleo, pentru schimbul de masă și de căldură în materia primă un rol hotărâtor îl joacă periodicitatea pătrunderii energiei solare. Aceasta din urmă mult influențează asupra calității produsului finit, a duratei procesului de uscare și modului de construire a uscătoriei. Pentru micșorarea costului de producție a produsului finit, se folosește așa numita metodă bifazică de uscare, care stă la baza heleouscătoriei combinate. În uscătoriile heleo combinate procesul uscării fructelor se petrece în două etape. La prima etapă se înfăptuiește uscarea în instalație la soare cu ajutorul aerului, iar la a II etapă – în I.U.S.R. [91, 101, 205].

Drept exemplu de uscătorie combinată, poate servi instalația descrisă în lucrarea [101]. Ea conține două elemente unite consecutiv unul cu altul prin ventilatorul centrifugal al I.U.S.R.: conducta de aer și dulapul de uscare. În partea de sus sunt montate plăci de sticlă, iar părțile laterale sunt izolate cu peliculă de polietilen. Platformele grefate cu produs se așează în două etaje sub un unghi de 250 față de orizont. Realizarea primei perioade de uscare se petrece în dulapul de uscare. După prima

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

perioadă platourile se transferă în I.U.S.R., unde are loc eliminarea umidității.

Pierderile de căldură influențează negativ asupra eficacității de lucru a uscătorilor heleo combinate în deosebi în cazul mișcării continue a aerului.

Pentru micșorarea pierderilor de căldură este necesar de a folosi uscătorii heleo cu suflare discretă a aerului. Acestea din urmă permit de a intensifica procesul de uscare și de a îmbunătăți calitatea produselor finite.

Pentru mărirea coeficientului de utilizare a heleouscătorilor unui șir de autori li se propune de a le completa cu surse de căldură diferite, ce permite de a folosi în timp înnourat și noaptea. Astfel este descrisă heliousecătoria cu acțiune periodică, în care se folosește energia radiantă a razelor și a elementelor electrice de încălzire.

### **1.3.3. Uscarea artificială**

Procesului de uscare a fructelor și legumelor i s-a acordat o mare atenție. Modelele de uscare s-au perfecționat permanent. În calitate de criteriu de bază la perfecționare, de regulă, s-a folosit durata procesului în prezența indicatorilor calitativi favorabili.

O schimbare atât calitativă cât și cantitativă în acest domeniu a fost obținută după începerea aplicării diferitor metode de uscare artificială.

Cea mai mare răspândire pentru uscarea cătinii albe a avut-o uscarea cu gaze calde (uscarea convectivă), deoarece folosirea gazului cald în calitate de agent de uscare, care în același timp servește și ca purtător de căldură, și ca absorbant de umiditate, determină construcția simplă a uscătorilor convective. Întrebărilor de cercetare și perfecționare al procesului de aport de energie convectiv de uscare a fructelor sunt consacrate multe



## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

lucrări atât în țările C.S.I., cât și în străinătate [24, 44, 92, 186, 192].

O mare atenție în ultimul timp se acordă utilizării metodelor electrofizice de aport de energie, astfel ca razele infraroșii, câmpurile electro-magnetice de frecvență înaltă și combinarea lor cu metoda prin convecție [207].

### **1.3.3.1. Uscarea prin convecție**

La uscarea prin convecție deplasarea căldurii se înfăptuiește cu gaze încălzite. Reieșind din sursele bibliografice, metodele tehnice de realizare a uscării prin convecție coincid cu uscarea în strat dens și cântărit.

Uscarea cătinii albe în strat dens în condiții de producere, conform clasificării după A. S.Ghinzburg [46] se înfăptuiește în uscătorii tip tunel cu conveier și cu camere. Calitatea fructelor uscate în aceste uscătorii în majoritatea cazurilor este determinată de înălțimea stratului de produs în celula lucrătoare. (Înălțimea stratului se caracterizează prin cantitatea fructelor de cătină albă și a feliilor aparte, care au o grosime determinată, amplasate una de alta.)

În unele cazuri pentru aprecierea mărimii stratului de fructe se folosește coeficientul de presiune pe suprafața de lucru.

Pentru stratul dens acest coeficient este de  $18,5 \text{ kg/m}^2$ , iar pentru cel de erupție  $-150 \text{ kg/m}^2$  [186]. Asupra procesului de uscare a fructelor influențează considerabil și indicii morfologici cum sunt: masa substanței uscate, volumul, raportul dintre pulpă și sâmbure, culoarea și alții [195, 197].

În [197] a fost studiată cinetica procesului de uscare a cătinii albe cu aer fierbinte în dependență de indicii morfologici.

În afară de grosimea stratului supus uscării, asupra procesului de uscare influențează de asemenea și viteza agentului de uscare, temperatura lui inițială și finală. Analitic această

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

influență este foarte greu de determinat, de aceea se folosesc metode experimentale. Pe lângă aceasta, de regulă, se determină schimbările psihrometrice ale umidității în produsul prelucrat.

Această metodă posedă un șir de erori, legate de greutatea determinării temperaturii veritabile ale termometrului umed (neuniformitatea umidității, impurificarea suprafețelor umede cu praf, cu bacterii și alte substanțe). De aceea, de D. M. Levin a fost propusă corelația, după care pentru calculele ingineresti parametrii aerului prelucrat se determină după diferența temperaturilor agentului termic proaspăt și prelucrat [47]. Schimbarea cantității de apă a aerului prelucrat (g/kg) se determină după corelația:

$$\Delta d = \frac{1}{2,6(t_0 - t_{ct})}, \quad (1.17)$$

în care,  $t_0$ ,  $t_{ct}$  sunt temperaturile agentului de uscare la intrare și la ieșire din el,  $^{\circ}\text{C}$ .

Folosind această metodă, autorii sub conducerea lui I.T. Cretov au obținut corelația empirică regresivă dintre umiditatea aerului prelucrat și parametrii  $t_0$ , H-înălțimea stratului, V - viteza agentului de uscare și t- durata uscării.

Uscarea în strat dens, în cazul îndesirii fructelor una cu alta, înrăutățește puțin condițiile petrecerii procesului, astfel încât în punctele de contact dintre ele scade regimul gazodinamic de filtrare prin acest strat. De aceea procesul de uscare a cătinii albe în condițiile de polistrat se petrece în uscătorii, în care există posibilitatea de a crea înălțimea necesară a fluxului gazodinamic al filtrării gazului, ce permite de a înlătura rezistența de contact între straturi.

Pentru uscarea fructelor în flux de aer, în statele CSI se folosesc uscătorii Г4-KCK-90, Г4-KCK-45, Г4-KCK-30, Г4-KCK-15 [153, 192, 195] deosebindu-se prin suprafețile benzilor lucrătoare (corespunzător 90, 45, 30 și 15 m<sup>2</sup>)

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

Uscătoria Г4-KCK-90 este construită în formă de carcasă, în interiorul căreia sunt amplasate 5 conveiere suprapuse, în care funcția de țesătură circulantă o îndeplinește o rețea inoxidabilă. Conveierele se deplasează contrasens. Pentru o rostogolire mai eficientă a produsului de pe o bandă pe alta, axele tamburilor de transmitere și de tensionare ale tuturor conveierelor, sunt deplasate una relativ de alta. Între benzi sunt amplasate calorifere.

Carcasa uscătoriei constă dintr-o parte cu panouri detașabile, iar din altă parte – cu ușițe metalice, interiorul cărora este umplut cu material izolator. Instalația principală a dispozitivului de acționare în uscătorii permite de a măsura separat vitezele benzilor conveierelor: a II și a IV – de la un mecanism, I, III și V-de la alt mecanism. Viteza de mișcare a benzilor se reglează fără oprirea mecanismului.

Pentru întreținerea regimului de temperatură indicat în toate zonele, sunt instalate sisteme automatizate.

Uscătoriile Г4-KCK-45 și Г4-KCK-30 nu se deosebesc de Г4-KCK-90 prin construcție, dar au o productivitate mai mică și se pot folosi în condiții de gospodării fermiere [192].

Toate uscătoriile de tip conveier expuse anterior, sunt lipsite de zonele de răcire artificială, ceea ce duce la înrăutățirea condițiilor de realizare de mai departe a procesului finit.

Uscătoria predestinată pentru uscarea fructelor și legumelor [20] este înzestrată cu instalație de generare a frigului și folosirea lui pentru răcirea produsului uscat.

În țările de West, pentru uscarea produselor vegetale, se folosește o gamă largă de uscătorii de tip conveier. Caracteristicile tehnice ale unora din ele este prevăzută în [81, 148, 153].

Compania “ Hans Binder Maschinenfabric” (Germania) [148] produce uscătorii cu 5 benzi HBM pentru uscarea legumelor și fructelor. Agentul de uscare se încălzește în

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

instalație specială, unde se arde combustibil lichid sau gaz. În dependență de regimul de uscare, cantitatea de aer ce ajunge pe bandă se reglează. Aerul preluat se elimină prin partea de sus a uscătoriei prin intermediul ventilatorului centrifugal. Viteza benzilor se reglează cu ajutorul unui variator lent. Productivitatea acestei uscătorii poate varia de la 3,5 tone până la 35 tone de materie în 24 ore, durata de uscare de la 1,5 până la 9 ore.

În Franța se propun diferite variante de uscătorii de tip conveier, destinate pentru uscarea fructelor. Astfel în [81] este descrisă uscătoria cu bandă în 3 nivele. O deosebită importanță pentru astfel de uscătorii este prezența sistemului de ventilare naturală, în care fluxurile de gaze își măresc viteza cu ajutorul unor ventilatoare axiale. Cu scopul de a reduce suprafețele de lucru este expusă uscătoria cu bandă în 6 nivele cu utilizarea regimului oscilant de convecție pe toată lungimea fiecărui conveier.

Acest lucru se realizează datorită amplasării mecanismului de încălzire sub banda lucrătoare a conveierului.

Compania franceză “Sermatec” [148] produce conveiere cu 5 benzi în bază de aburi pentru uscarea fructelor și legumelor. Spre deosebire de alte uscătorii de tip conveier, benzile acestor uscătorii se compun din plăci inoxidabile cu diametrul secțiunii 1,5\*14 mm amplasate în rânduri înclinate. Variatorul de viteză permite de a schimba viteza de la 0,3 până la 1,5 m/min. Curățirea benzilor de reziduurile lipicioase se efectuează cu ajutorul periilor de nailon.

În Ungaria se exploatează cu succes uscătorii de tip conveier cu abur, în 5 nivele “Samum-5” [148]. Această instalație se deosebește de celelalte prin aceea că, ventilatoarele pentru predarea aerului în uscătorii, sunt instalate în partea superioară a uscătoriei și se pun în funcțiune de motorul electric care totodată rotește ventilatorul și elimină aerul prelucrat.

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

Merită atenție deasemenea și uscătoria de tip conveier în 5 nivele din România [162]. O caracteristică deosebită a lui constă în ceea ce procesului uscării sunt supuse fructele de diferite calități și calibrarea lor prealabilă.

În prezent este elaborată instalația de uscare cu 2 dulapuri de tip P3-KCK [153], care poate fi folosită pentru uscarea fructelor. Productivitatea instalației – 2000 kg/g de umezeală eliminată.

Pentru uscarea fructelor de cătină albă în condiții de monostrat se folosesc uscătorii de tip tunel. De regulă, cu acestea sunt echipate complexele și fabricile de uscare. Ele sunt simple în construcție și sigure în exploatare. În uscătoria-tunel, cum se explică în [182] se usucă de obicei fructele cu coajă gingașă (prune, mere, caise, piersici)

La întreprinderi în prezent sunt instalate uscătorii ale companiei iugoslave “Чачак” CER și a țărilor fostei URSS Б6-КФА, МНИИПП-1М. Toate aceste uscătorii, cum se explică în [192] sunt identice după instalare. Deosebirea de bază constă în sistemul de aport de aer. Astfel în uscătoriile CER și Б6-КФА [182,192] în calitate de agent al uscării se folosește amestecul de aer cu produsele arderii combustibilului lichid sau gazos, dar în МНИИПП-1 – aer curat încălzit [192, 153].

O răspândire mai largă în țările fostei CSI l-a avut uscătoria tunel МНИИПП-1 (Moldova).

După construcția și organizarea procesului de uscare a fructelor, îi corespunde instalația de uscare de tip tunel din Franța [80]. Canalul de lucru al uscătoriei are 2 zone: răcire și uscare. Acest lucru o deosebește de altele prin faptul, că permite de a micșora cheltuielile pentru prelucrarea produsului finit.

Trebuie de menționat, că folosirea amestecului de gaze de ardere în uscătoria de tip “Чачак” [80] deci și economia de căldură nu exclude posibilitatea apariției substanțelor canbero-

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

gene, de aceea trebuie să se efectueze un control riguros și pentru multe materii alimentare aceste instalații nu se recomandă.

Merită atenție construcția uscătoriei de tip tunel pentru fructele cătinii albe a companiei japoneze "Iamoto" [182]. Compania marchează, că uscătoria este înființată în rezultatul unor experiențe aprofundate și este optimă pentru uscarea cătinii albe.

Pentru uscarea convectivă a fructelor de cătină albă în strat dens pentru toate tipurile de uscătorii prezentate mai sus, umiditatea este aproximativ 20%.

În opoziție cu folosirea uscării în strat dens pentru îmbunătățirea condițiilor petrecerii procesului de uscare se folosește uscarea în strat fierbând. Însă această metodă încă nu și-a găsit o întrebuințare largă.

### **1.4. Direcțiile de bază ale perfecționării tehnicii și tehnologiei procesului de uscare a cătinii albe.**

Din caracteristicile mai sus numite a uscătoriilor convective se poate de ajuns la concluzia, că ele sunt analogice și după construcție și după procesul tehnologic de uscare al fructelor. Deci și neajunsurile acestor uscătorii vor fi mai comune. La ele se referă:

1. Construcția complicată și prim prețul de cost major.
2. Mobilitatea limitată a lor în exploatare, astfel încât uscătoria trebuie să fie de regulă în legătură rigidă cu generatorul de căldură.
3. Neuniformitatea încălzirii materialului și în consecință o parte din cătină nu se usucă, iar alta prea tare se usucă.
4. Durată mare a procesului de uscare ce strică calitatea produsului finit.

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

- 5 Suprafața de producere mare în timpul procesului de uscare.
- 6 Mecanizarea dificilă și automatizarea procesului.

În legătură cu aceasta, dezvoltarea producerii de fructe uscate, perfecționarea tehnologiei trebuie de petrecut după următoarele principii de bază:

- Perfecționarea tehnologiei folosite deja și a utilajului.
- Mărirea termenului de păstrare a fructelor uscate.
- Îmbunătățirea ambalajului.
- Înființarea liniilor tehnologice mecanizate.
- Realizarea noilor tehnologii și a utilajului de uscare a fructelor.

Pentru intensificarea procesului de uscare a cătinii albe și obținerea unui produs finit cu calități mai satisfăcătoare, un șir de autori propun de a folosi uscarea în două etape. Astfel, Șleagun G. V. a prelucrat tehnologia [21, 55] ce constă în uscarea cătinii albe până la o stare stabilizată (umiditatea 100-80%) în condiții de monostrat apoi încărcarea lor și constituirea polistratului cu uscarea finală până la umiditatea standardă.

În Franța este prelucrată o nouă metodă de uscare a fructelor [149, 197] și în particular, cătina albă. Această metodă constă în intensificarea procesului de uscare prin mărirea temperaturii gazului arzător până la 140<sup>0</sup>C.

Pentru intensificarea procesului de uscare a fructelor prin convecție, un șir de autori în [14] propun ca uscarea să se petreacă în câmpul de descărcare de barieră (DB). Astfel pentru mere experiențele au arătat, că folosirea de DB permite de a micșora timpul de uscare de 1,5 ori.

De asemenea se petrec lucrări în domeniul cercetărilor procesului de uscare cu folosirea stratului de erupere. La ele este

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

necesar de luat în considerație cercetările, efectuate de Grișin M.A. și Șleagun G.V. [55].

În prezent o mare atenție necesită metodele energetice de aport de căldură, așa cum este metoda prin radiație și a curenților de înaltă frecvență a câmpurilor, care ne dă posibilitatea, cum se notează în [166, 168], de intensificat procesul de uscare în câteva ori.

Totuși, consumul mare de energie electrică, folosirea utilajului costisitor încă nu permite acestei metode de aport de energie electrică, de a obține o răspândire largă în industrie.

Spre deosebire de toate tipurile de uscare cu folosirea căldurii, uscarea prin sublimare se petrece la temperaturi mici și vacuum adânc. La uscarea prin sublimare structura moleculară a materialului se păstrează aproape fără schimbări și produsul uscat se caracterizează prin porozitate și dispersie însemnată. Porozitatea înaltă condiționează o revenire rapidă a proprietăților inițiale ale materialului.

În literatura cunoscută lipsesc unele date despre regimul uscării prin sublimare a cătinii albe. Există unele date despre uscarea pomușoarelor și fuctelor cu coajă gingașă în condiții de laborator [188]. Se vede, că durata mare a uscării fructelor (15-26 ore) și prețul major al producției finite este legat cu cheltuielile inițiale și în rezultat rețin pătrunderea uscării prin sublimare în producerea de fructe uscate.

În ultimii ani în Marea Britanie, SUA și în rândul altor țări au fost prelucrate metode de uscare a produselor alimentare, care tot mai mult și mai mult se perfecționează. La aceste metode se poate de atribuit uscarea azeotropă, osmatică prin microunde și de asemenea uscarea prin sublimare deja perfecționată [1, 6, 7].

Spre perfecționarea tehnologiei uscării trebuie de atribuit de asemenea și folosirea tuturor metodelor cu raze posibile.



## **2. PARAMETRII ELECTROFIZICI (PEF) AI FRUCTELOR ȘI INFLUENȚA LOR ASUPRA CAPACITĂȚII DEGAJĂRII DE CĂLDURĂ**

### **2.1. Polarizarea și pierderile dielectrice în materialele omogene**

Procesul de bază caracteristic oricărui dielectric, ce apare sub influența tensiunii electrice, constituie polarizarea – amestec limitat de sarcini cuplate sau orientarea moleculelor bipolare.

Gradul și tipurile de polarizare în primul rând depind de structura materialului, adică de omogenitatea sau eterogenitatea lui.

Materialul omogen, cum remarcă [210], prezintă o sistemă închisă oarecare, în care toată masa de substanțe se află într-o stare de agregare, altfel vorbind în forma unei faze (gazoasă, lichidă sau solidă). În același timp, dacă examinăm materialul omogen la nivelul sistemului atomo-molecular, el poate fi eterogen [83].

Se deosebesc două tipuri de polarizare de bază. Primul provine din dielectric practic momentan și nu provoacă pierderi dielectrice, adică provoacă absorbția de energie complet reversibil în timpul formării câmpului electric în dielectric. Al doilea tip de polarizare se petrece în timp și este însoțit de apariția pierderilor dielectrice cu absorbția ireversibilă a energiei câmpului, transformându-se în căldură. Acest tip de polarizare se numește relaxat [98, 199]. La primul se referă polarizarea electrică și ionică. La al doilea – dipolară, iono-relaxată, de migrație și polarizarea spontană.

În dielectricii omogeni nu sunt sarcini libere, apte să se deplaseze în interiorul materialului.

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

Reieșind din acestea, Skanavi G. I. susține că toate tipurile de polarizare pot fi grupate în două clase de bază: polarizarea de deplasare, care practic nu depinde de temperatură și polarizarea determinată de deplasarea particulelor slab legate, ce depind de temperatură [183].

Polarizarea cea mai răspândită în dielectrici este cea electronică.

Polarizarea electronică are loc în toți atomii sau ionii, în așa mod indiferent de posibila prezență în dielectrici a altor feluri de polarizare, se urmărește în toți dielectriicii. O deosebire caracteristică polarizării electronice este aceea că la depunerea câmpului electric exterior, se efectuează într-un timp deosebit de scurt (de regulă  $10^{-15} - 10^{-14}$  s), comparată cu perioada oscilației luminescente.

Dielectriicii nepolari, în care este prezent numai un fel de polarizare, și anume polarizarea electronică, de obicei este făcută cu comparația  $\varepsilon' = \mu^2$  [40], fiind consecința teoriei Maxwell.

Un mare interes, cum se arată în [30, 157, 183, 199], prezintă examinarea legăturilor macroscopice ale parametrilor dielectricului (permeabilitatea relativă dielectrică  $\varepsilon'$ , coeficientul de refracție  $\mu$ , densitatea substanței  $\rho$ , masa moleculară relativă  $M$ ) cu parametrul microscopic (polarizarea moleculei  $\alpha$ ). Primele poziții importante în acest domeniu au fost stabilite aproape în același timp de fizicianul german R. Clausius, fizicianul italian O. F. Mosotti, fizicianul olandez H. A. Lorentz și fizicianul danez L. Lorenz.

Pentru aceasta a fost primită legătura dintre tensiunea exterioară (macroscopică) a câmpului electric  $E$  și interioară (microscopică)  $E'$ . Această legătură se exprimă cu formula:

$$E^1 = E \frac{\varepsilon' + 2}{3} \quad (2.1)$$

## Uscarea cătini albe în camp S.H.F.

Din (2.4) se vede, că tensiunea exterioară a câmpului electric a dielectricului omogen în condensator plan nu depinde de materialul dielectricului, dar cea interioară depinde, așa cum în expresie pentru  $E$  intră  $\varepsilon'$ . Numai în cazul condensatorului cu vid, când  $\varepsilon' = 1$ , relația  $(\varepsilon' + 2)/3$  în (2.4) se transformă în unitate, și  $E'$  coincide cu  $E$ .

Prezentând valoarea  $E$  prin relația sumară a câmpului electric indus și efectuând transformări matematice simple s-a primit următoarea relație:

$$\frac{\varepsilon' - 1}{\varepsilon' + 2} = N \frac{\alpha}{3\varepsilon_0} \quad (2.2)$$

în care  $N$  este numărul Avogadro;

Relația (2.2) se numește ecuația Clausius-Mosotti. Ea prezintă legătura dintre parametrul permabilitatea dielectrică relativă  $\varepsilon'$  și parametrul de polarizare  $\alpha$ .

Dielectricii omogeni, aplicați în tehnică ce au caracter ionic a legăturii chimice, domină polarizarea ionică. Această polarizarea de sistem, îndeosebi este pentru NaCl.

Presupunând că asupra ionilor acționează câmpul, egal cu câmpul macroscopic mediu  $E$ , pentru polarizarea cristalului ionic binar primim, conform [30, 199]

$$P = (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_i)nE \quad (2.3)$$

în care:  $\alpha_1$  și  $\alpha_2$  - polarizările electronice ale ionilor de tipul unu și doi;

$\alpha_i$  - polarizarea ionică a perechii de ioni diferiți;

$n$  - numărul par de ioni în  $1 \text{ m}^3$ .

## Uscarea cătini albe în camp S.H.F.

După unele transformări și cu calculul relației (2.3) primim ecuația Clausius-Mosotti pentru dielectrici în care sub acțiunea câmpului electric exterior apare polarizarea ionică și electronică.

$$\frac{\varepsilon' - 1}{\varepsilon' + 2} = \frac{4}{3} \pi N (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_u) \quad (2.4)$$

În ecuația Clausius-Mosotti (2.4) polarizarea ionică de determină din expresia:

$$\alpha_u = \frac{2q^2}{k} \quad (2.5)$$

în care:  $q$  – valoarea sarcinii ionului, Kl;

$k$  – coeficientul legăturii elastice a ionilor diferiți.

Timpul de determinare a acestei polarizări constituie  $10^{-14}$  –  $10^{-12}$  s.

Conform caracteristicii [30, 103], polarizarea ionică și electronică se referă la așa numita polarizare de deformare  $\alpha_{def}$ , dar [50, 183] se referă la polarizarea de deplasare.

Pentru dielectricii polari, cum se vede în [30, 33, 51, 65, 183, 199], Debai a modificat ecuația Clausius-Mosotti prin adăugarea la polarizarea de deformare  $\alpha_{def} = \alpha_e + \alpha_i$  polarizarea  $\alpha_{or}$ , determinată de polarizarea de orientare (dipolară):

$$\alpha = \alpha_{def} + \alpha_{or} = \alpha_e + \alpha_i + \alpha_{or} \quad (2.6)$$

În formă pură polarizarea dipolară, după cum vedem în [30, 50, 65, 68, 98, 135, 157, 183, 193, 199], se poate manifesta numai în gaze, lichide și corpuri cu vâscozitate amorfă, în

## Uscarea cătini albe în camp S.H.F.

corpuri cristalice la temperatura mai mică de punctul de topire, dipoli, putem spune „congețați”, adică întărite la locurile sale atât de rigid, încât nu se pot orienta, și polarizarea dipolară în ele nu poate exista. Însă polarizarea dipolară totuși se controlează în unele corpuri cristalice cu „ambalare” neetanșată a moleculelor, de exemplu în gheață.

Conform [30, 183, 199], ecuația Clausius-Mosotti cu corecția lui Debye are forma (pentru cazul prezenței polarizării electronice, ionice și dipolare):

$$\frac{\varepsilon' - 1}{\varepsilon' + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{A}{3 \cdot \varepsilon_0} \left( \alpha_{def} + \frac{\mu^2}{3 \cdot K \cdot T} \right), \quad (2.7)$$

în care:  $\mu$  – momentul electric, Kl m;

$K$  – constanta Boltzman;

$T$  – temperatura termodinamică, °C;

$M$  – masa moleculară relativă a substanțelor, kg;

$\rho$  – densitatea substanței, kg/m<sup>3</sup>.

Timpu de relaxare pentru polarizarea dipolară-orientată, poate fi determinată cu formula [30]:

$$\tau = \frac{\varepsilon_c + 2}{\varepsilon_o + 2} \tau_v, \quad (2.8)$$

în care:  $\varepsilon_c$  și  $\varepsilon_o$  – permeabilitatea dielectrică statică și optică;

$\tau_v$  – durata a vieții moleculelor.

Timpu de instalare a polarizării dipolare conform datelor [65, 98, 157, 193, 199] constituie  $10^{-7}$ - $10^{-12}$  s.

Polarizarea dipolară produce o pierdere de energie electrică, ce se transformă în dielectric în căldură, deci ea duce la apariția pierderilor dielectrice.

### 2.1.1. Dependența permeabilității dielectrice relative $\varepsilon'$ de diferiți factori

Caracterul schimbării  $\varepsilon'$  a dielectricului omogen în mare măsură determină caracterul influenței asupra ei atât a factorilor exteriori, cât și interiori. La factorii de bază se referă temperatura dielectricului și frecvența aplicată în câmpul electromagnetic.

După cum sa menționat mai devreme, timpul de instalare a polarizării electronice și ionice în comparație cu timpul schimbării valorii tensiunii (deci cu semiperioada tensiunii alternative) este puțin. Putem considera că  $\varepsilon'$  practic nu depinde de frecvența câmpului aplicat la așa dielectricsi. O astfel de dependență este constatată în [30, 35, 51, 65, 183, 199].

Dar, începând cu un oarecare prag de frecvență când polarizarea nu reușește să se stabilească complet într-o semiperioadă,  $\varepsilon'$  se micșorează, apropiindu-se de frecvențe destul de înalte, de valori pentru dielectricsi nepolari. Aceasta este demonstrată prin experiențe [214].

Temperatura dielectricului influențează diferit asupra valorii  $\varepsilon'$ . La dielectricsi nepolari în procesul polarizării electronice temperatura nu influențează. Aceasta se determină cu formula (2.3).

La dielectricsi polari, cum sa remarcat mai sus, în regiunea cu temperatura joasă, orientarea moleculelor în majoritatea cazurilor e imposibilă. La mărirea temperaturii posibilitatea orientării dipolilor se ușurează, ce duce la creșterea permeabilității dielectrice. Dar la mărirea ulterioară a temperaturii se reflectă amplificarea oscilațiilor termice ale moleculelor, ce micșorează gradul de sistematizare a orientării lor. Aceasta duce la aceea că curba dependenței  $\varepsilon'(T)$  trece prin valoarea maximală, după care descrește. Exemplul dat este pentru difenil clorurat [67, 199].

## Uscarea cătini albe în camp S.H.F.

În cazul substanței polare individuale chimice, care are temperatura de topire clar exprimată, se pot urmări variațiile schimbărilor  $\varepsilon'$  la topire. Caracteristicile maximele  $\varepsilon'$  după cum se vede în [30, 51], în variația sa de temperaturi se deplasează în direcția temperaturilor înalte. Această deplasare se explică prin micșorarea vâscozității cu creșterea temperaturii, datorită acesteia se micșorează și timpul de relaxare  $\tau$  și frecvența critică  $f_0$ .

### 2.1.2. Pierderile dielectrice în dielectricii omogeni

Se deosebesc pierderi dielectrice, legate de conductibilitatea directă, așa numitele pierderi ale conductibilității directe  $W_{ck}$ , și pierderi, determinate de stabilirea diferitor tipuri de polarizare  $W_p$ . În așa mod pierderile dielectrice ale dielectricului, situat între lamela condensatorului plat, se determină din expresia:

$$W = W_{ck} + W_p \quad (2.9)$$

Pierderile conductibilității directe nu depind de frecvență și sunt egale:

$$W_{ck} = \frac{U^2}{R}, \quad (2.10)$$

în care:  $U$  – valoarea de funcționare a tensiunii în condensator, în V;  
 $R$  – rezistența condensatorului la curent continuu, în Om.  
Pierderile de relaxare, conform [183], se determină:

$$W_p = \frac{(\varepsilon_c - \varepsilon_o)S}{4\pi d} \cdot \frac{\omega\tau}{1 + (\omega\tau)^2} \omega U^2, \quad (2.11)$$

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

în care:  $S$  – suprafața electrozilor,  $m^2$ ;  
 $d$  – distanța între electrozi,  $m$ ;  
 $\omega$  – frecvența unghiulară,  $rad$ ;  
 $\tau$  – timpul,  $s$ .

După cum se observă din (2.11), la frecvențe mici ( $\omega\tau \ll 1$ ) pierderile de relaxare, cresc proporțional cu pătratul frecvenței  $\omega$ , dar la frecvențe înalte ( $\omega\tau \gg 1$ ) nu depind de frecvență.

Parametrul de bază care determină mărimea pierderilor dielectrice, în orice dielectric servește tangenta unghiului pierderilor dielectrice  $tg\delta$ .

Expresia comună pentru pierderile dielectrice specifice, adică puterea, dispersată într-o unitate de volum a dielectricului, conform [68], se determină din (1.13).

Din punct de vedere a încălzirii de frecvență înaltă o semnificație mare o au pierderile dielectrice, determinate de polarizare.

### **2.1.3. Dependența unghiului pierderilor dielectrice $tg\delta$ de diferiți factori**

Valoarea  $tg\delta$ , ca și alți parametri ai dielectricilor, pentru dielectrici omogeni dați nu sunt strict permanenți, dar depind de diferiți factori exteriori. În primul rând, aceasta este frecvența câmpului și temperatura. Aceste dependențe au o valoare practică importantă.

Întrebarea dependenței  $tg\delta$  de frecvență (sau frecvența unghiulară  $\omega$ ) aplicată la dielectricul tensiunii alternative, poate fi cu unele sau cu alte aproximații și abateri prevăzute în conformitate cu formula [199]:



## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

---

$$tg\delta = \frac{\frac{4\pi\gamma_{ck8}}{\omega\varepsilon'_\infty} (1 + \omega^2\tau^2) + \omega\tau \frac{\Delta_0\varepsilon'}{\varepsilon'_\infty}}{1 + \frac{\Delta\varepsilon'}{\varepsilon'_\infty} + \omega^2\tau^2}, \quad (2.12)$$

în care:  $\gamma_{ck8}$  – curent cu conductibilitate directă, A.

Din formula (2.12) se observă că la dielectrici cu conductibilitate înaltă și cu procese de relaxare slab exprimate,

adică  $\frac{\Delta_0\varepsilon'}{\varepsilon'_\infty} \ll 1$ , pierderile dielectrice nu depind de frecvență,

de aceea  $tg\delta$  este invers proporțională frecvenței. La tensiune continuă curentul aproape sau deloc nu coincide cu timpul. De aceea la aplicarea câmpului alternativ, schimbarea mărimii curentului activ nu-i. Conductibilitatea curentului variază în timp în coincidență cu schimbarea tensiunii.

Pentru dielectrici cu conductibilitatea mică și procesele de relaxare clar exprimate (adică  $\frac{4\pi\gamma_{ck8}}{\omega} \ll 1$ ) expresia (2.12) va avea forma:

$$tg\delta = \frac{\omega\tau\Delta_0\varepsilon'}{\varepsilon'_0 + \varepsilon'_\infty\omega^2\tau^2} \quad (2.13)$$

Conform (2.13), când valoarea  $\omega\tau \ll 1$ ,  $tg\delta$  în mers propriu se mărește. Și invers, când  $\omega\tau \gg 1$ ,  $tg\delta$ , se micșorează. În așa fel, este evident, că la o frecvență  $\omega_k$ ,  $tg\delta$  trebuie să fie maximă.

Diferențiind expresia (2.12) după  $\omega$  și egalând derivata cu zero, primim:

$$\omega_{\kappa} = \frac{I}{\tau} \sqrt{\frac{\epsilon'_0}{\epsilon'_\infty}} \quad (2.14)$$

Aceasta este demonstrat în [62].

La frecvențe foarte mari  $\text{tg}\delta$  descrește cu mărirea frecvenței, așa cum  $I_a$  nu depinde de frecvență, iar  $I_p$  crește.

La frecvențe mici  $\text{tg}\delta$  crește cu mărirea frecvenței, deoarece în cazul dat  $I_a$  crește mai repede decât  $I_p$  descrește.

În rând cu aceasta datele experimentale pentru unii dielec-trici omogeni ne dau independența sau o dependență foarte mică a  $\text{tg}\delta$  față de frecvență. Conform celor observate aceasta se poate explica prin simplitatea tipului funcției descreșterii curentului în timp, pe care se bazează partea matematică a aceste teorii.

Pierderile dielectrice și  $\text{tg}\delta$  în mare măsură depind de temperatură. Această dependență se poate vedea conform egalității [199].

$$\text{tg}\delta = \frac{\gamma_{\text{cke}} \left( 1 + \omega^2 B_1^2 e^{\frac{2B}{T}} \right) + \omega^2 \frac{A}{T} B_1 e^{\frac{B}{T}}}{\frac{\epsilon'_\infty \omega}{4\pi} \left( 1 + \omega^2 B_1^2 e^{\frac{2B}{T}} \right) + \frac{\omega A}{T}}, \quad (2.15)$$

în care:  $B = \frac{W}{K}$  și  $B_1 = \frac{I}{2\nu}$ ;

$K$  – constanta Boltzman;

$T$  – temperatura termodinamică, K;

$W$  – energia potențială a moleculei, j;

$A$  – constantă.

## Uscarea cătini albe în camp S.H.F.

Din (2,15) se vede, că, dacă conductibilitatea directă a dielectricului este mică, adică primul termen al sumei se poate de neglijat, atunci tangenta unghiului pierderilor dielectrice la caracter de relaxare are maximum în variația temperaturii. După cum se observă în [30, 183, 199] această dependență este strâns legată cu dependența  $\text{tg}\delta$  de  $\omega$ .

În prezența conductibilității directe cu procese de relaxare slab exprimate  $\text{tg}\delta$  se poartă la fel ca și curentul conductibilității

directe (așa cum  $\text{tg}\delta = \frac{4\pi\gamma_{\text{CKB}}}{\omega\varepsilon'_{\infty}}$ ). Cu creșterea temperaturii  $\gamma_{\text{CKB}}$

crește, deci crește și  $\text{tg}\delta$ .

La analiza încălzirii cu frecvență înaltă din punct de vedere a influențelor parametrilor electro-fizici asupra procesului de degajare de căldură interioară este mai eficient de analizat dependența  $\varepsilon'\text{tg}\delta$ , care se numește agentul de pierdere  $K$ .

### **2.2. Polarizarea și pierderile dielectrice în sisteme eterogene multicomponente compuse**

Mai sus s-a analizat polarizarea dielectricilor omogeni sau așa medii, în care eterogenitatea microscopică se manifestă numai în limitele distanțelor între moleculele învecinate sau între nodurile grilei cristalice. La încălzirea cu frecvență înaltă a materialelor industriale e necesar de obicei de lucrat cu materiale neomogene (eterogene), care sunt compuse din câțiva componenți, care au proprietăți diferite.

Ca exemplu caracteristic a mediului eterogen este orice produs alimentar umed, care prezintă compoziția compusă din substanțe, care se află în stare solidă, lichidă și gazoasă.

Amplasarea diferitor componente în așa compoziții poate fi cea mai diferită.

### 2.2.1. Tipurile de polarizare a sistemelor compuse

Polarizarea sistemelor compuse multicomponente îndeosebi, produse alimentare vegetale solide, se determină cu proprietățile lor fizico-coloidale.

Conform clasificării [46, 125, 178], toate materialele lichide inclusiv alimentare, se împart în trei grupe: capilar-poroase, coloidale și capilar-poroase coloidale. Tuturor materialelor de acest tip este caracteristic polarizarea micro- și macrostructurală.

Așa de exemplu, în orice dielectric pulverulent pe suprafața particulelor lui se absoarbe umiditate. În rezultat prezența contactului diferenței de potențial dintre diferite materiale a apei și particule de produs, moleculele de apă obțin sarcină electrică de același semn (mai des pozitiv), iar particula de produs – sarcină de alt semn (mai de negativ).

La umiditate mare între particulele produselor are loc acumularea lichidului în locuri de contact a particulelor vecine. Celelalte părți a porilor sunt umplute cu aer sau abur. În așa fel, compoziția este compusă din particule solide, lentile de apă și incluziuni de aer. Desigur, acum lentilele de apă și particulele solide sunt înzestrate cu sarcini electrice diferite, formând în zona de contact un strat dublu de sarcini diferite.

Amestecul produselor pulverulente, este compus numai din diferiți componenți solizi.

Procesul de polarizare a acestui amestec se determină prin polarizarea sarcinilor conductoare și semiconductoare.

Celula vegetală a corpurilor coloidale umede (diferite legume, fructe și cereale) poate fi reprezentată schematic în forma unui ansamblu de cavități umplute cu lichid. În prima aproximație această compoziție poate fi compusă din două componente: lichidul și pereții, unde pereții ce despart lichidul au

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

o electroconductibilitate, care cu mult depășește electroconductibilitatea pereților capilarelor.

În materialele ce conțin electroliți, însă prin urmare, în toate materialele umede la curent continuu se observă prezența electrolizei, legată de migrarea ionilor disociați – pozitivi spre catod, iar cei negativi spre anod. În structurile bifazice și trifazice acest fenomen este însoțit de electroosmoză, adică mișcarea lichidului, ce are sarcină de același semn, spre electrodul cu polaritate opusă și amestecarea particulelor solide, ce au semnul sarcinii opus, la alt electrod. În așa mod apare polarizarea electrolitică.

Dacă cu fenomenul cercetat analogic mai sus de caracterizat polarizarea electrolitică prin constanta timpului, atunci ea se măsoară cu mărimea de ordine  $10^{-4} - 10^{-2}$  s.

Pentru amestecuri eterogene compuse, așa cum și pentru dielectricii omogeni, este prezentă polarizarea de orientare dipolară electronică și ionică.

Polarizarea sumară a substanțelor, ce prezintă cu sine momentul dipolar mediu a unității de volum, se exprimă prin suma tuturor felurilor de polarizare:

$$P = P_e + P_i + P_d + P_s + P_{et} \quad (2.17)$$

în care  $P_e$  este polarizarea electronică;

$P_i$  - polarizarea ionică;

$P_d$  - polarizarea dipolică;

$P_s$  - polarizarea structurală;

$P_{et}$  - polarizarea electrolitică.

### 2.2.2. Pierderile dielectrice a sistemelor eterogene multicomponente compuse

După cum a fost indicat mai sus, produsul alimentar din punct de vedere a obiectului prelucrat cu frecvență înaltă este un amestec eterogen compus din diferiți componenți, ce sunt în contact unul cu altul și se află în diferite stări de fază. Comple-tarea componentelor amestecului pe tot volumul lor, de regulă, poartă un caracter de probabilitate. Calculul caracteristicilor dielectrice a acestor sisteme este extrem de complicată.

Pentru simplificarea calculului caracteristicilor dielectrice ale amestecului B. M. Tareev, G. I. Skanavi, I. P. Bogorodițkii [30, 98, 183, 199] au propus ca toate amestecurile eterogene să fie împărțite în trei grupuri principale:

- amestecuri simple, în care dielectricul eterogen constă numai din două volume macroscopice continue a doi dielectrics omogeni diferiți, uniți între ei paralel sau în serie;
- amestecuri statistice, în care particulele sunt amplasate haotic, care nu formează structuri regulate;
- amestecuri matriciale, în care un component formează matrice de legătură la orice concentrație a acestui componente, diferită de zero.

În cazul amestecurilor simple, condensatorul plan cu dielectricul eterogen se poate examina ca două condensatoare unite paralel sau în serie, fiecare dintre care are dielectric omogen.

Pentru primul caz:

$$\varepsilon'_{am} = y_1\varepsilon'_1 + y_2\varepsilon'_2 \quad (2.18)$$

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

Pentru cazul doi:

$$\varepsilon'_{am} = \frac{\varepsilon'_1 \cdot \varepsilon'_2}{y_1 \varepsilon'_1 + y_2 \varepsilon'_2} \quad (2.19)$$

Aici și mai departe  $y_1$  și  $y_2$  – concentrația volumetrică, respectiv ale primului și al doilea component.  $\varepsilon'_1$  și  $\varepsilon'_2$  – permitivitatea dielectrică relativă, respectiv ale primului și al doilea component.

Pentru un caz mai comun a amestecului, compus nu din două dar dintr-un număr arbitrar de  $m$  componente, formula (2.18) se transformă în [186]:

$$\varepsilon'_{am} = \sum_{i=1}^m y_i \varepsilon'_i, \quad (2.20)$$

iar formula (2.19) – în formula, notată în [36, 199]:

$$\frac{1}{\varepsilon'_{am}} = \sum_{i=1}^m \left( \frac{y_i}{\varepsilon'_i} \right) \quad (2.21)$$

Pentru determinarea pierderilor dielectrice sumare pentru amestecuri simple ne vom folosi de formulele din [68]. Făcând simplificările corespunzătoare, vom primi pentru primul caz:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{C_1 \operatorname{tg} \delta_1 + C_2 \operatorname{tg} \delta_2}{C_1 + C_2}, \quad (2.22)$$

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

pentru cazul doi:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{C_1 \operatorname{tg} \delta_2 + C_2 \operatorname{tg} \delta_1}{C_1 + C_2} \quad (2.23)$$

Pentru amestecuri simple, după cum vedem, calculul  $\operatorname{tg} \delta_{am}$  și  $\varepsilon'_{cm}$  se bazează pe folosirea modelelor simple. În majoritatea cazurilor importante din practică dielectricii compoziționali prezintă cu sine amestecuri haotice (statistice,) în care semințele componentelor sunt amplasate în spațiu necoordonat, haotic. De aceea (2.21), (2.22) și (2.23) sunt inutile pentru calcul.

O aplicare destul de largă are formula potrivită de calcul a lui K. Lichtenecker, altfel numită legea deplasării logaritmice, ce are forma pentru amestecuri de  $m$  componente [183, 199]:

$$\operatorname{lg} \varepsilon'_{am} = \sum_{i=1}^{i=m} y_i \operatorname{lg} \varepsilon'_i \quad (2.24)$$

În afară de formula (2.24) în [199] se propun și alte formule de calcul referitor la permeabilitatea electrică a amestecurilor statistice. În special, formula L. D. Landau și E. M. Livșița:

$$\sqrt[3]{\varepsilon'_{am}} = \sum_{i=1}^{i=m} y_i \sqrt[3]{\varepsilon'_i}, \quad (2.25)$$

A lui Beer:

$$\sqrt{\varepsilon'_{am}} = \sum_{i=1}^{i=m} y_i \sqrt{\varepsilon'_i} \quad (2.26)$$



## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

Calculul caracteristicilor dielectrice pentru amestecuri statistice după parametrii componenților, cum se constată în [199], este o problemă destul de grea. Pentru rezolvarea acestei probleme uneori se folosesc modelele matriciale sau de rețea a dielectricilor. Reieșind din [9, 36, 152]:

$$\varepsilon'_{am} = \varepsilon'_1 \frac{2\varepsilon'_1 + \varepsilon'_2 - 2y(\varepsilon'_2 - \varepsilon'_1)}{2\varepsilon'_1 + \varepsilon'_2 + y(\varepsilon'_2 - \varepsilon'_1)} \quad (2.27)$$

Formula denumită tradițional în literatură ca formula lui V. I. Odelevskii, pentru amestecuri matriciale, [199]:

$$\varepsilon'_{am} = \varepsilon'_1 \left( 1 + \frac{y}{(1-y)\varepsilon'_1 / 3(\varepsilon'_2 - \varepsilon'_1)} \right) \quad (2.28)$$

În cazul calculării produselor cu umiditate înaltă un mare interes prezintă sistemele matriciale în care conectările nu sunt formate de dielectric, dar de conductor. Pentru așa sisteme se aplică formula D. A. Bruggeman [68, 199]:

$$\varepsilon'_{am} = \frac{\varepsilon'_1}{(1-y)^3} \quad (2.29)$$

Calculul  $\text{tg} \delta$  pentru amestecuri de tip matricial a fost dedus de E. B. Kuvșinski. Însă, cum se remarcă în [199] această metodică este folosită, îndeosebi, pentru amestecuri cu două componente. După metodică propusă  $\text{tg} \delta$  poate fi calculată după formula:

$$\operatorname{tg} \delta_{am} = \operatorname{tg} \delta_1 + \frac{9\mu\eta(\operatorname{tg} \delta_2 - \operatorname{tg} \delta_1)}{\eta(2 - 2\eta)(2 - 3\mu) + (1 + 3\mu)(1 + \operatorname{tg}^2 \delta_2)}, \quad (2.30)$$

în care:  $\mu = \frac{y_1}{y_2}$ , notații, ca și în (2.19);

$$\eta = \frac{\varepsilon'_1}{\varepsilon'_2}.$$

### **2.3. Modelul matematic al parametrilor electrofizici a sistemelor eterogene compuse**

O atenție deosebită la procesele de uscare a produselor alimentare în ultimul timp a pus față de industria de prelucrare problema de creare a unor tehnologii de uscare mai progresive, la care se referă aplicarea câmpurilor electromagnetice de înaltă frecvență.

Pentru crearea astfel de tehnologii, adică a uscării cu aplicarea curentului de frecvență înaltă, e necesar de calculat parametrii electro-fizici ai materialului prelucrat. Mai frecvent, cum s-a menționat mai înainte, uscării se supun produsele alimentare, ce au sistemul eterogen compus. Complicitatea constă în aceea că dacă pentru amestecuri simple se poate prin intermediul a diferitor influențe energetice de creat condiții pentru distribuirea uniformă a componentei  $j$ , atunci pentru fructe sâmburoase nu este acceptabilă. Distribuirea componentelor în el este determinată de natură și constituie esența obiect-

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

tului biologic. În legătură cu aceasta toate metodele de calcul  $tg\delta$  și  $\varepsilon'$ , precăutate mai sus, dau o eroare însemnată. De aceea pentru așa sisteme este elaborată metodica de calcul a parametrilor electro-fizici. Mai jos este adusă metoda de calcul  $tg\delta$  și  $\varepsilon'$  examinate pe exemplul fructelor sâmburoase [4].

Fructul, din punct de vedere a dielectricului, se examinează în secțiune în forma elementelor legate în serie: pieliță-miez-pieliță (fig. 2.1). pentru așa produse se poate de utilizat schema de substituire cu legare în serie [33, 36].

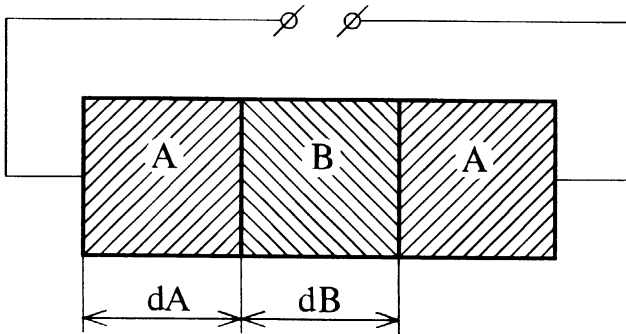


Fig. 2.1. Schema de substituire a fructului: A – pielița, B – miezul.

Puterea totală, adusă de dielectric se poate exprima ca:

$$P = P_a + P_p,$$

În care:  $P_a, P_p$  – respectiv puterea activă și reactivă, W.

Calculând  $P_a$ , și  $P_p$  și exprimându-le prin  $tg\delta$  a straturilor respective, dar folosind legătura lor în serie primim:

$$tg\delta_{am} = \frac{\frac{I^2}{\omega C'_a} \cdot tg\delta_a + \frac{I^2}{\omega C'_b} \cdot tg\delta_b + \frac{I^2}{\omega C'_a} \cdot tg\delta_a}{\frac{I^2}{\omega C'_a} + \frac{I^2}{\omega C'_b} + \frac{I^2}{\omega C'_a}}, \quad (2.32)$$

## Uscarea cătini albe în camp S.H.F.

în care  $C'_a$  și  $C'_b$  sunt capacitățile electrice ale componentei  $a$  și componentei  $b$ , în Pf.

Dacă notăm concentrațiile volumice a componentelor prin  $a$  și  $b$  (pentru cazul nostru  $2a + b = 1$ ), atunci:

$$\frac{C_a}{C_b} = \frac{b \cdot \varepsilon'_a}{2 \cdot a \cdot \varepsilon'_b}$$

Notând prin  $b/a = \mu$  și  $\varepsilon'_a/\varepsilon'_b = \eta$  și dacă admitem că fiecare strat luat aparte se poate de închipuit ca o celulă cu schema paralelă de substituire, și exprimând  $\text{tg} \delta_{cm}$  prin capacitatea acestor straturi:

$$C = \frac{C'}{1 + \text{tg} \delta_{cm}}$$

În care  $C$  – capacitatea la unirea paralelă a straturilor, după care vom primi următoarea expresie:

$$\text{tg} \delta_{am} = \frac{2 \text{tg} \delta_a}{2 + \mu \eta \frac{1 + \text{tg}^2 \delta_a}{1 + \text{tg}^2 \delta_b}} + \frac{\text{tg} \delta_b}{\frac{2}{\mu \eta} \cdot \frac{1 + \text{tg}^2 \delta_a}{1 + \text{tg}^2 \delta_b} + 1} \quad (2.33)$$

Analizând expresia (2.33), se poate de remarcat, că pentru materialele la care  $\text{tg} \delta$  a componentelor luate aparte este mai mică ca unu, expresia se poate simplifica (așa cum  $\text{tg}^2 \delta_a \ll 1$ ,  $\text{tg}^2 \delta_b \ll 1$ ).

Efectuând calculele simple vom primi:

$$\text{tg} \delta_{am} = \text{tg} \delta_a + \frac{\mu \eta (\text{tg} \delta_b \cdot \text{tg} \delta_a)}{2 + \mu \eta} \quad (2.34)$$

## Uscarea cătini albe în camp S.H.F.

Permeabilitatea dielectrică a sistemului la legarea în serie a straturilor poate fi găsită cu ajutorul formulei pentru legarea în serie a condensatoarelor ținând cont, că capacitatea acestor condensatoare  $C_a$ ,  $C_b$  depinde de unghiul de pierderi și se află prin  $C'_a$ ,  $C'_b$  a capacității la legarea în paralel.

$$\frac{1}{C'} = \frac{1}{C'_a} + \frac{1}{C'_b} + \frac{1}{C'_a} \quad (2.35)$$

Primind, că suprafețele de contact a straturilor sunt egale, concentrațiile volumice pot fi calculate conform expresiilor:

$$a = \frac{d_a}{2d_a + d_b}$$

și

$$b = \frac{d_b}{2d_a + d_b}, \quad (2.36)$$

în care:  $d_a$  și  $d_b$  – grosimea straturilor, m.

Exprimând permeabilitățile dielectrice proporționale  $\varepsilon'_a$  – a stratului A,  $\varepsilon'_b$  – a stratului B și  $\varepsilon'_{cm}$  – a amestecului prin capacitățile corespunzătoare și folosind 2.34), (2.35) și (2.36), primim expresia pentru calculul  $\varepsilon'_{cm}$ :

$$\varepsilon'_{am} = \frac{\varepsilon'_a \varepsilon'_b}{2a\varepsilon'_a + b\varepsilon'_b} \quad (2.37)$$

### 2.4. Procedeele și metodele de măsurare și determinare a parametrilor electrofizici a cătinii albe

Determinarea caracteristicilor dielectrice a materialelor este una din etapele de bază de proiectare și creare a sistemelor tehnologice de prelucrare a materiei prime alimentare cu folosirea curentilor de frecvență înaltă.

În prezent pentru măsurarea parametrilor electro-fizici ai dielectricilor există un șir de metode. Cele mai răspândite metode de măsurare a caracteristicilor de bază a dielectricului în câmpul electric mic cu frecvență înaltă, la care se referă permeabilitatea dielectrică  $\epsilon'$  și tangenta unghiului a pierderilor dielectrice  $\text{tg}\delta$ , metodele de punte [23, 30, 68, 85, 176, 224], și metodele de rezonanță [36, 68, 85, 176, 224], metodele cu aplicarea liniilor de măsurare (ghid de unde) [36, 68, 85, 176, 181, 224].

Folosirea unei sau altei metode depinde în mare măsură de frecvența câmpului electric, pe care vor fi efectuate măsurările parametrilor electro-fizici. Cum indică [36, 58, 100, 176, 224] metodele punții cuprind o gamă de frecvențe  $10^2$ - $10^7$  Hz, de rezonanță -  $10^5$ - $10^{10}$  Hz, ghid de unde -  $10^9$ - $10^{11}$  Hz.

#### 2.4.1. Metodele punții

Metodele punții pentru cercetarea caracteristicilor dielectricilor le folosea încă Nernst. Mai târziu această metodă a fost desfășurată de Șering și Burmester. Metodele punții de măsurare a permeabilității dielectrice se bazează pe folosirea diferitor modificații a schemei bine cunoscute punții Winston [135].

Măsurarea parametrilor electro-fizici a oricărui material se aduc la determinarea capacității condensatorului gol și plin a

produsului cercetat în lanț a unui braț de punte. Raportul capacităților măsurate determină  $\varepsilon'$  a materialului. Compensarea pierderilor dielectrice a condensatorului cu modelul cercetat în brațul adiacent al punții determine  $\text{tg}\delta$ .

În legătură cu aceea că la frecvențe joase rezistența inductivă parazitară și conductibilitatea capacitivă de scurt circuit sunt compensate rezistențele elementelor de bază ale schemei, este necesar de ales așa punți [68], care ar permite de a evita maximal influența lor asupra rezultatelor măsurării. În afară de aceasta, cum constată [51, 63, 95, 135, 224], folosirea metodei punții dă mari abateri la măsurări în condiții egale ale experienței din cauza efectelor „limită” vizibile.

### 2.4.2. Metoda de rezonanță

Din metodele enumerate la măsurarea parametrilor electrofizici la frecvențe de  $10^{10}$  Hz o mai largă răspândire au primit-o metodele de rezonanță. Metodele de rezonanță (circulare și autogeneratoare) bazate pe transformarea parametrilor capacității de măsurare a celulei (conectate în lanțul circular LC) în valoarea de calitate respectivă și frecvența de rezonanță a conturului și sunt mai exacte la măsurarea permeabilității dielectrice relative  $\varepsilon'$  și tangenta unghiului pierderilor dielectrice  $\text{tg}\delta$  [32, 87].

Metodele de rezonanță circulară, cum indică [135], din punct de vedere a metrologiei sunt mai simple. La această metodă lucrează aparatele – cu-metru (măsurătorii factorului de calitate). Sunt diferite metode de măsurare a parametrilor la cu-metru. De regulă ei se alege în fiecare caz concret, pentru fiecare material concret. O răspândire mai largă au primit-o procedeele cu două și trei determinări, metodicele cărora sunt expuse [68, 138, 173]. Procedeele cu două determinări este mai simplu și se folosește în lipsa liniilor lung de legătură în schema de măsurare.

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

Cercetările efectuate de A. T. Ptușkin, au arătat că procedeul cu trei determinări trebuie folosit în cazul prezenței liniilor lungi de legătură în traseul de măsurare.

Însă metoda propusă nu exclude posibilitatea influenței asupra rezultatelor calculelor parametrilor electrici a liniilor de legătură. De aceea în lucrările [119, 131, 140] este prezentat procedeul de măsurare îmbunătățit, propus mai devreme în [173]. Principiul metodei constă în următoarele: folosind schema de substituție în paralel, presupunem condensatorul de măsurare ca două condensatoare, conectate paralel. Unul – condensator de măsurare, fără substanța cercetată, altul – de referință, ca substanță cercetată. În acest caz trebuie de analizat trei circuite oscilante (fig. 2.2, 2.3). astfel în primul și al doilea caz neapărat în lanțul electric sunt prezente toate liniile de legătură.

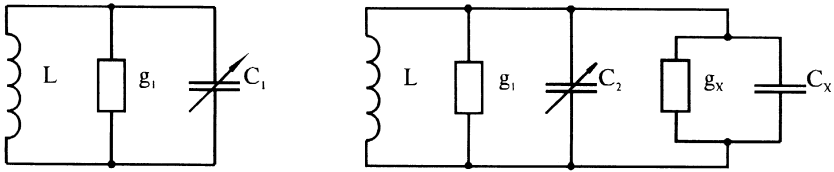


Fig. 2.2. Schema circuitului oscilant folosită pentru măsurarea parametrilor condensatorului de măsurare fără produs.

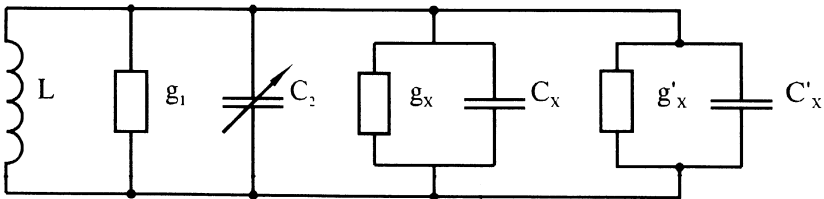


Fig. 2.3. Schema circuitului oscilant de măsurare a parametrilor condensatorului cu produs.



Determinarea parametrilor condensatorului de măsurare la frecvențe diferite sau efectuat în trei etape. La prima etapă, conectând bobina de inductanță la cu-metru la frecvență fixată strict a câmpului electromagnetic și măsurând capacitatea aparatului condensatorului reglat, au introdus circuitul în rezonanță, după care sa determinat factorul de calitate a bobinei de inductanță  $Q_1$  și capacitatea de rezonanță  $C_1$ . În etapa a doua, unind condensatorul de măsurare fără produs, s-a determinat pein aceeași metodă  $Q_2$  și  $C_2$ . Etapa a treia se reduce către conectarea la cu-metru a condensatorului de măsurare cu produs și repetării operațiilor precedente. În această etapă se determină  $Q_3$  și  $C_3$ .

Calculul tangentei unghiului pierderilor dielectrice  $tg\delta$  și permiesibilității dielectrice relative  $\varepsilon'$  se efectua după formula modificată, în baza căreia stă formula [68, 173]:

$$tg\delta = \frac{(Q_2 - Q_3)C_1}{Q_2Q_3(C_2 - C_3)}, \quad (2.38)$$

$$\varepsilon = \frac{C_2 - C_3}{C_0} \quad (2.39)$$

în care:  $Q_1, C_1$  – factorul de calitate și capacitatea circuitului de rezonanță fără condensatorul de măsurare;

$Q_2, C_2$  – factorul de calitate și capacitatea circuitului de rezonanță cu condensatorul de măsurare fără produs;

$Q_3, C_3$  – factorul de calitate și capacitatea circuitului de rezonanță cu condensatorul de măsurare și produs;

$C_0$  – capacitatea condensatorului de măsurare în vid, pF.

În cazul nostru  $C_0$  se determină după formula:

$$C_0 = 69,5 \frac{D^2}{d}, \quad (2.40)$$

în care: D – diametrul lamelei condensatorului, m;  
d – distanța între lamelele condensatorului, m.

Analiza erorilor a arătat că permeabilitatea dielectrică relativă  $\varepsilon'$  s-a determinat cu eroarea relativă  $\pm 5\%$ , iar tangenta unghiului pierderilor dielectrice  $\text{tg}\delta$  -  $\pm 8\%$ .

Utilizării acestei metode au fost dedicate multe lucrări, dintre care [10, 29, 50, 109, 133, 180, 189].

La analiza metodelor de măsurare a materialelor electrice, deducerea formulelor de calcul a metodelor indicate mai sus, o mare aplicare o au schemele de substituire. Cele mai simple scheme de substituire a materialelor semiconductoare sunt: paralelă și în serie. Prima, cum se indică [51, 53, 58, 199], mai des ca altele se întrebunțează în calculele dielectricilor.

Cu toate avantajele sale metoda de rezonanță, cum indică [51, 98], este cea mai precisă la studiul dielectricilor cu pierderi mici, adică când  $\text{tg}\delta < 1$ .

Reeșind din cele expuse mai sus, la studierea proprietăților electro-fizice a produselor alimentare la frecvențele cercetate a fost utilizată metoda de rezonanță. Măsurările sau făcut prin metoda a trei determinări.

### **2.4.3. Metode cu aplicarea liniilor de măsurare (ghid de unde)**

Toate metodele examinate mai sus pentru determinarea proprietăților dielectrice a substanțelor cercetate pot fi aplicate cu siguranță numai până la frecvențe de 60-100 mHz și presupun cunoștințele constantelor de calibrare pentru celulele de măsurare folosite. Necesitatea stabilirii exacte a valorii celulelor constante

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

de calibrare fac așa metode dependente de alegerea probelor de etalon determinate.

Mai sus de aceste frecvențe se aplică așa numitele metode prin microunde (ghid de unde).

Cum se menționează în [152, 203], cele mai larg răspândite metode de determinare a caracteristicilor electro-fizice a materialelor în diapazonul CBȚ de frecvență înaltă sunt:

- metoda liniei de măsurare ondulată;
- metoda liniei de măsurare coaxială;
- metoda „miezului cilindric”.

Unul din diversitatea primei metode este folosirea rezonanțelor cu volum [199].

Măsurarea  $\varepsilon'$  și  $\text{tg}\delta$  prin metoda liniei de măsurare coaxială se reduce la determinarea rezistenței la intrare a condensatorului cu dielectricul cercetat încorporat.

Metoda „miezului cilindric” este practică pentru determinarea permeabilității dielectrice a dielectricilor cu pierderi considerabile. Metoda se reduce la determinarea permeabilității complexe normate eterogene, introdus de modelul cercetat, executat în formă de miez cilindric și instalată în centrul peretelui lat a ghidului de unde de tipul  $H_{10}$ , răspândit în ghidul de unde. Mai larg această metodă este descrisă în [224].

### **3. CERCETAREA PARAMETRILOR ELECTROFIZICI AI CĂȚINII ALBE ȘI METODELE DE DETERMINARE A LOR**

#### **3.1. Caracteristica succintă a cătinii albe ca obiect de cercetare**

Cătina albă (*Hippophae Rhamnoides L.*) este un tufar ghimpos sau un copac nu prea mare de înălțimea 1,5-6 m. Fructul cătinii proaspete (*Fructus Hippophae recens*), după cum se remarcă în [34, 71, 136, 211, 221, 222] – este succulent, de formă ovală până la formă elipsoidică alungită cu lungimea de 4 – 12 mm, de culoare galbenă până la oranj închis, cu un singur sâmbure, gust dulce- acriu și miros slab, care amintește de mirosul ananasului.

În fructele de cătină se conțin complexe de vitamine ca: acidul ascorbic, carotinoide, tocoferol, tiamina, riboflavina, sterine, acizi grași și organici și alți compuși.

Unul din principalii componenți ce caracterizează cătina ca material dielectric este uleiul său. În miezul fructelor [177] se conține de la 8 la sută ulei gras, iar în sâmbure până la 12 la sută. Uleiul din miez este de culoare intensivă oranj, conține carotinoide până la 300 mg%, vitamina E 100 – 160 mg%. Uleiul din semințe este de culoare slab galbenă, conține vitamina E 105-120 mg% și o cantitate nu prea mare de carotenoide.

După cum se constată în [184] cătina are o cantitate destul de însemnată de umiditate 83 la sută. Conform afirmațiilor din [157, 193] astfel de materiale au o mare conductibilitate activă și desigur sunt dielectrice slabi.

Din punct de vedere al electricității, cătina poate fi clasată la grupa semiconductoarelor, ce posedă conductibilitate de gradul  $10^{-4} - 10^{-6} \text{ Om}^{-1}\text{m}^{-1}$  [30, 199].

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

Proprietățile electrice ale dielectricilor și semiconducătorilor la o frecvență anumită se caracterizează sau prin valorile conductibilității specifice active și reactive (sau rezistențe), sau prin permeabilitatea dielectrică relativă  $\epsilon'$  și tangenta unghiului de pierderi dielectrice  $\text{tg}\delta$ . Amplasată în câmp electromagnetic de frecvență înaltă, cătina se încălzește pe baza pierderilor dielectrice, determinate de valorile permeabilității dielectrice relative  $\epsilon'$  și tangentei unghiului de pierderi dielectrice  $\text{tg}\delta$ .

Puterea degajată în fructe sub formă de căldură ( $P_V$ ) la încălzirea cu curenți de frecvență înaltă, poate fi determinată cum a fost menționat în capitolul I [46].

Frecvența câmpului electromagnetic, intensitatea lui și caracteristicile electrofizice ale fructelor sâmburoase influențează într-un grad anumit asupra puterii și vitezei lor de încălzire. De aceea, elaborarea regimelor tehnologice de uscare a fructelor este posibilă atunci când se găsesc proprietățile sale electrofizice și dependențele acestor proprietăți ca funcție de frecvența câmpului electric, temperatura și umiditatea fructelor.

În literatura cunoscută de noi nu sunt analizate caracteristicilor electrofizice ale fructelor sâmburoase în diapazonul de frecvență de până la 100 MHz. În legătură cu faptul, că în prezent sunt elaborate generatoare industriale de curenți de frecvență înaltă până la această frecvență, a și apărut necesitatea măsurării caracteristicilor electrofizice a fructelor în acest diapazon.

### **3.2 Alegerea și argumentarea metodei de măsurare a parametrilor electrofizici ai cătinii albe**

În timpul actual pentru măsurarea parametrilor electrofizici există o serie de metode. Cele mai răspândite metode de măsurare a caracteristicilor dielectricului de bază aflați în

## **Uscarea cătiniî albe în camp S.H.F.**

câmpuri slabe electrice de frecvență înaltă, la care se referă permeabilitatea dielectrică relativă și tangenta unghiului pierderilor dielectrice, sunt metodele de punte [68, 135], metodele de rezonanță [68, 135] și metode cu folosirea liniilor măsurătoare (ghid de unde) [135, 203, 224].

Din metodele sus numite, descrise mai amănunțit în capitol anterior, la măsurarea parametrilor electrofizici în diapazonul frecvențelor de până la  $10^{10}$  Hz o răspândire mai mare au obținut metodele de rezonanță [135], ca cele mai simple din punct de vedere metrologic. Pe baza acestor metode lucrează aparatul Q - metru (măsurarea factorului calității Q). Sunt cunoscute diferite modalități de măsurare a parametrilor la Q - metru. De regulă, ei se aleg pentru fiecare caz în parte, pentru fiecare material concret. O răspândire mai amplă au primit metodele a două și trei măsurări, metode ce sunt redată în [68, 119, 224].

De aceea metoda de calcul a parametrilor electrofizici a cătiniî albe a fost folosită cea descrisă în compartimentul 2.4.2. al actualei lucrări.

În urma analizei erorilor, s-a depistat, că permeabilitatea dielectrică relativă  $\epsilon'$  a fost stabilită cu o precizie de  $\pm 5\%$  iar tangenta unghiului de pierderi dielectrice  $\text{tg}\delta$  cu  $\pm 8\%$ .

### **3.3. Instalația experimentală pentru măsurarea și cercetarea parametrilor electrofizici ai cătiniî**

Cercetările parametrilor electrofizici a cătiniî albe au fost efectuate utilizând instalația de laborator care este reprezentată în fig. 3.1.

Instalația conține Q- metru E4-5A 1 la care se conectează condensatorul de măsurat 2 umplut cu produs. Parametrii electrofizici ai cătiniî albe au fost determinați la diferite temperaturi.

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

Încălzirea produsului din condensator are loc cu elemente electrice de încălzire 3. Temperatura cătinii s-a măsurat cu termocuplul din cupru și constantan 4 conectat la puntea de măsurare P-4833, 5 sudura rece fiind lăsată în termostatul cu gheață vasul Diuar 6.

Condensatorul de măsurare prezintă două plăci rotunde cu diametrul de 0.04 m și grosimea 0.003 m, despărțite una de alta prin intermediul unui inel izolator confecționat din teflon-4. O placă a condensatorului este unită la pământ.

Dimensiunile geometrice ale condensatorului au fost alese conducându-se de reducerea efectelor marginale la minimum. Pentru aceasta, diametrul inferior al inelului izolator a fost acceptat de a fi mai mic cu 0.001 m de cât cel al plăcii rotunde. Condensatorul de măsurare s-a instalat într-o cutie metalică pentru micșorarea acțiunii capacităților și inducțiilor parazitare.

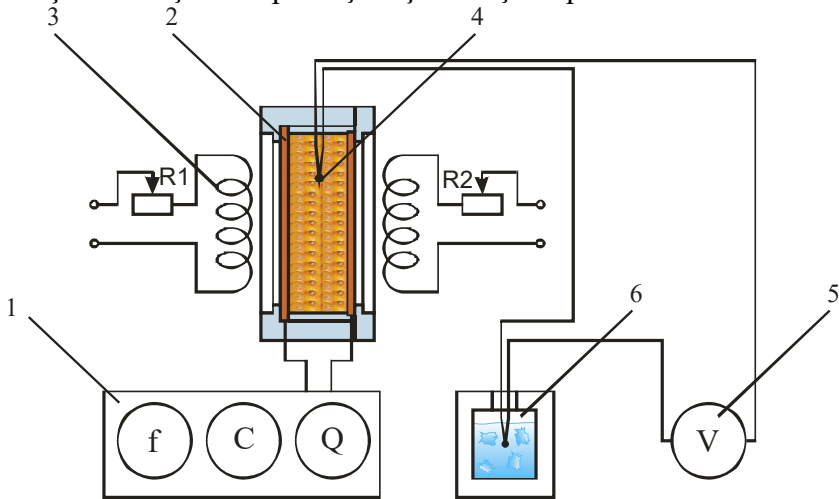


Fig.3.1. Schema instalației pentru determinarea parametrilor electrofizici ai cătinii albe. 1 - Q- metru E4-5A; 2 - condensatorul de măsurare umplut cu produs; 3 - element electric de încălzire; 4 - termocuplul Cupru și Constantan; 5 - puntea de măsurare P-4833; 6 - termostat cu gheață.

Temperatura cătinii albe încălzite a fost măsurată cu termocuplul „Cupru și Constantan” unit la potențiometrul P-4833. Sudura rece a termocuplului se introduce în vasul Dewar cu amestec de gheață și apă. Potențiometrul înregistrează tensiunea termo-electromotoare (t.e.m.) la capetele termocuplului. Diferența t.e.m. a fost convertită în °C cu ajutorul diagramei construită în prealabil, termometrul de laborator fiind termometru etalon cu eroarea nu mai mare decât 0,1 °C.

Determinarea umidității finale a probelor în prealabil se calcula conform relației [48]:

$$W_2 = 100 - \frac{M_1}{M_2} (100 - W_1), \quad (3.1)$$

în care  $M_1$  este masa inițială a probei, în kg;

$M_2$  - masa finală a probei, în kg;

$W_1$  - umiditatea inițială a probei (raportul umidității din produs la masa totală), în %;

$W_2$  - umiditatea finală a probei, în %.

Probele de cătină albă, uscate până la umiditatea finală bine determinată, au fost introduse în vase separate și închise ermetic. În scopul egalării umidității în întregul volum, durata de menținere a acestor vase a fost stabilită de șapte zile. Așa dar, au fost determinate probele de cătină albă cu umiditățile – 0,3; 3,9; 9,2; 12,1 și 19,6 la sută.

### **3.4. Influența frecvenței câmpului electromagnetic asupra parametrilor electrofizici ai cătinii albe**

Cercetările au determinat, că influența parametrilor electrofizici ai cătinii albe în condiții normale în funcție de frecvența câmpului electromagnetic poartă un caracter destul de compus [98, 99,113, 157, 176, 203]. De aceea, un interes



## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

deosebit prezintă determinarea influenței parametrilor electrofizici ca funcție de factorii menționați mai sus în diapazonul de umiditate de la 0 până la 25la sută.

În figura 3.4 (a) este prezentată variația tangentei unghiului de pierderi dielectrice  $\text{tg}\delta$  a cătinii albe în funcție de frecvența câmpului electromagnetic.

După cum se observă din grafic, dependența  $\text{tg}\delta$  de frecvența câmpului electromagnetic la umiditatea cătinii de 0,3 la sută la toate temperaturile cătinii - 20, 40, 60, 80 și 100°C poartă un caracter complex. Se observă că cu creșterea frecvenței la toate temperaturile studiate de la 15 MHz până la 19 MHz  $\text{tg}\delta$  se micșorează. Așa dar, pentru frecvența de 15 MHz la temperatura cătinii de 20, 40, 60, 80 și 100°C,  $\text{tg}\delta$  obține valorile: 0,13; 0,18; 0,25; 0,41 și 0,17, iar frecvența de 19 MHz la aceleași temperaturi - 0,04; 0,15; 0,065; 0,12 și 0,15. După cum se observă din grafic, un astfel de caracter de micșorare al  $\text{tg}\delta$  ne demonstrează că la aceste frecvențe o influență mai amplă asupra valorilor  $\text{tg}\delta$  o are uleiul. Aceasta ne demonstrează că uleiul de cătină se poate fi atribuit acizilor grași polari.

Deci, odată cu creșterea frecvenței câmpului electromagnetic se micșorează și gradul de orientare al moleculei, în același timp, crește viscozitatea dielectricului la parcurgerea curentul conductibilității directe. Aceasta conduce la micșorarea valorii curentului activ și ca urmare la micșorarea  $\text{tg}\delta$ .

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

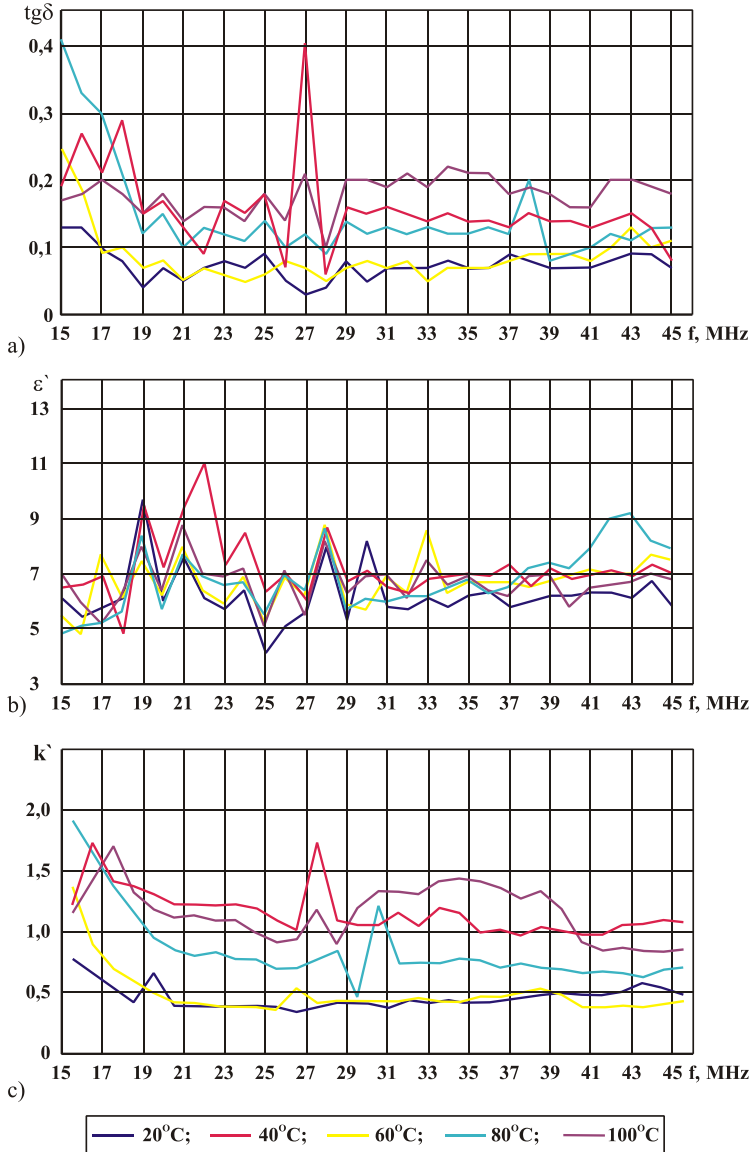


Fig.3.2. Graficele dependenței  $\text{tg } \delta$  (a),  $\epsilon'$  (b) și  $K$ (c) ca funcție a frecvenței câmpului electromagnetic la umiditatea de  $W = 0,3 \%$ .

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

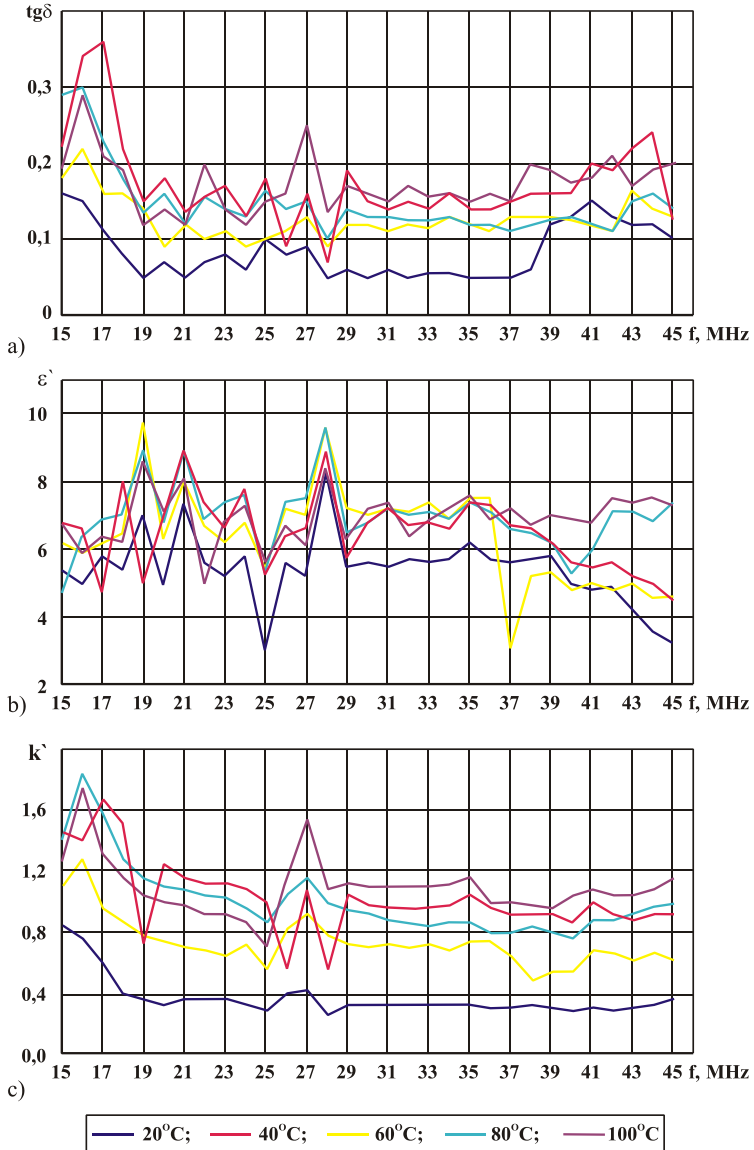


Fig.3.3. Graficele dependenței  $\text{tg } \delta$  (a),  $\epsilon'$  (b) și  $K'$ (c) ca funcție a frecvenței câmpului electromagnetic la umiditatea de  $W = 3,9 \%$ .

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

Ulterior, variația  $\text{tg}\delta$  la mărirea frecvenței câmpului electromagnetic are loc după o curba ce amintește de o sinusoidă, la care variază atât amplitudinea cât și mărirea semiperioadei. Analizând curba, se poate conchide, că fiecărei valori ale temperaturii îi corespunde o valoare medie a  $\text{tg}\delta$ . Astfel, pentru  $20^\circ\text{C}$ ,  $\text{tg}\delta = 0,04$ ; pentru  $40^\circ\text{C}$  –  $0,18$ , pentru  $60^\circ\text{C}$  –  $0,17$ , pentru  $80^\circ\text{C}$  –  $0,12$  și pentru  $100^\circ\text{C}$  –  $0,18$ .

Dup cum se observă din grafice (fig. 3.4 a),  $\text{tg}\delta$  la frecvența câmpului electromagnetic 27 MHz și temperatura de  $100^\circ\text{C}$  obține un maxim extrem, care este egală cu  $0,18$ .

În fig. 3.2 (b) este prezentată dependența  $\epsilon'$  a cătinii albe la umiditatea  $0,3\%$  și diferite temperaturi ( $20, 40, 60, 80$  și  $100^\circ\text{C}$ ) în funcție de frecvența câmpului electromagnetic. Din grafic se observă, că această corelație posedă un caracter complex.

Astfel, la frecvențele  $19,0; 22,0; 28,0; 33,0$  și  $43,0$  MHz pe curbe sunt prezente valori maxime extreme în diapazonul tuturor temperaturilor analizate. Anterior s-a menționat, că pentru  $\text{tg}\delta$  un interes deosebit prezintă valorile ei maxime la temperaturile  $80$  și  $100^\circ\text{C}$ . Valoarea  $\epsilon'$  la aceste temperaturi și frecvențele menționate, constituie  $8,25$  și  $8,00$ . După cum se observă din grafic, maximele numite la aceste frecvențe sunt caracteristice și pentru alte temperaturi. Astfel de divergențe a dispersiei  $\epsilon'$ , după cum se observă, sunt legate de structura eterogenă complexă a cătinii albe.

Analizând variația valorii  $\epsilon'$  ca funcție a variației frecvenței, se poate de observat că la toate temperaturile  $\epsilon'$  obține o oarecare valoare medie. Pentru temperaturile  $20, 40, 60, 80$  și  $100^\circ\text{C}$  valoarea medie  $\epsilon'$  constituie corespunzător  $6,2; 7,4; 6,8; 6,8$ ; și  $6,8$ .

Stabilitatea valorilor poate fi explicată prin prezența în cătină atât a moleculelor nepolare de ulei, cât și și a moleculelor polare din pulpă. Aceasta conduce la apariția unei constante de polarizare a cătinii albe.

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

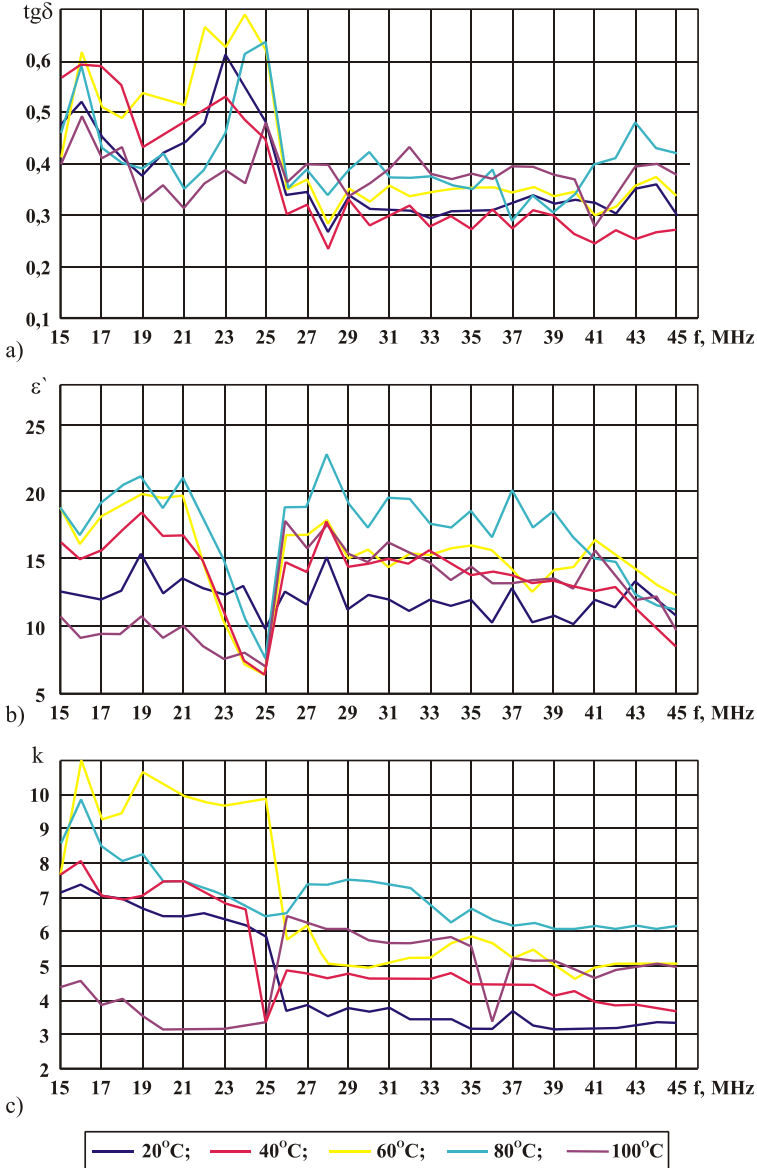


Fig.3.4 Graficele dependenței  $tg\delta$  (a),  $\epsilon'$  (b) și  $K$ (c) ca funcție a frecvenței câmpului electromagnetic la umiditatea de  $W = 19,6\%$ .

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

După cum se menționează în [103, 157, 183, 199], asemenea influențe a frecvenței câmpului electromagnetic asupra permeabilității dielectrice relative  $\varepsilon'$ , sunt caracteristice pentru dielectricii nepolari duri. Cătina albă este un produs organic compus și prezența moleculelor complexe cu grupe polare și nepolare este normală. Pentru toate grupurile nepolare din dielectric polarizarea dominantă reprezintă deplasarea electronică. Referitor la amestec relația dintre polarizabilitatea și permeabilitatea dielectrică relativă este exprimată în ecuația de stare Clauzius - Mossotti [157, 183]:

$$\sum_{i=1}^m f_i p_i = \frac{\varepsilon' - 1}{\varepsilon' - 2} \cdot \frac{1}{\rho} \sum_{i=1}^m \mu_i f_i, \quad (3.2)$$

în care  $p_i$  este polarizarea moleculară a componentei  $i$ , în  $m^3$ ;

$f_i$  - concentrația moleculară a componentei  $i$ ;

$\varepsilon'$  - permeabilitatea dielectrică relativă a amestecului;

$\rho$  - densitatea amestecului, în  $Kg/m^3$ ;

$\mu_i$  - masa molară a componentei  $i$ , în  $Kg$ .

Permeabilitatea dielectrică relativă se poate exprima cu relația [183]:

$$\varepsilon' = \varepsilon'_\infty + \frac{4\pi\theta g}{1 + f^2\theta^2}, \quad (3.3)$$

în care  $\varepsilon'_\infty$  este permeabilitatea dielectrică relativă determinată numai de polarizarea instalată rapid;

$\varepsilon'$  - permeabilitatea dielectrică relativă totală;

$\theta$  - constanta timpului;

$g$  - conductibilitatea inițială a curentului de absorbție;

$f$  - frecvența câmpului electromagnetic, MHz.

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

Conform formulei (3.3), odată cu creșterea frecvenței câmpului electromagnetic, permeabilitatea dielectrică relativă  $\epsilon'$  scade. Însă, în intervale mici ale frecvenței sunt posibile sectoare, în care permeabilitatea dielectrică relativă nu depinde de frecvență, iar în unele cazuri chiar și crește [9, 62, 100].

Fenomenul este consecința structurii complexe a produsului, din care cauză, apare o oarecare "viscozitate electrică", ce la rândul său, mărește capacitatea produsului, ceea ce provoacă și sporirea permeabilității dielectrice relative  $\epsilon'$ .

La mărirea ulterioară a frecvenței, sau la trecerea în sectorul al doilea (27-45 MHz), electronii capătă cantitatea de energie necesară pentru stoparea acestui fenomen, și deci,  $\epsilon'$  se reduce.

Cu creșterea umidității cătinii dependența caracteristicilor sale electrofizice de frecvență, adică caracterul complex (sinusoidal) nu se schimbă. Totodată trebuie de menționat că la unele frecvențe mărirea  $\text{tg}\delta$  se mărește. Așa dar, la temperatura 100°C și umiditatea 0,3% pentru frecvența 27 MHz valoarea  $\text{tg}\delta$  a constituit 0,18, iar la aceeași temperatură și umiditatea de 3,9 (fig. 3.3. a) și 19,4 % (fig. 3.4.a) valoarea ei constituie corespunzător 0,21 și 0,40. Un astfel de tablou se observă și pentru valoarea  $\epsilon'$ . Așa dar, pentru umiditatea 0,3% (fig.3.2.b) valoarea  $\epsilon'$  constituie în medie 6,8 pentru temperatura 100°C, iar pentru 3,9 (fig. 3.3. b) și 19,4 % (fig. 3.4.b) valoarea ei constituie corespunzător 7,0 și 17,0.

Comparând datele din fig. 3.2 a și b, fig. 3.3 a și b, și fig. 3.4 a și b se poate conchide că valoarea  $\text{tg}\delta$  și  $\epsilon'$  ca funcție a frecvenței și pentru aceeași umiditate, mai sus de frecvența 27 MHz practic sunt constante. Astfel, la umiditatea 19,6 % (fig. 3.4) pentru temperaturile 20, 40, 60, 80 și 100 °C  $\text{tg}\delta$  are valorile corespunzător 0,33; 0,31; 0,37; 0,38 și 0,39.

Conform standardelor internaționale ISO, în intervalul de frecvențe cercetat sunt două valori ale frecvențelor industrial, la

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

care se permite încălzirea produselor cu folosirea UHF. Aceste frecvențe sunt 27,00 și 40,66 MHz. În legătură cu aceasta un interes deosebit pentru încălzirea cătinii prezintă valorile  $\text{tg}\delta$  și  $\epsilon'$  anume pentru aceste frecvențe.

Cantitatea de căldură eliminată din produs la aplicarea curenților de frecvență înaltă se determină cu relația (1.13) [46], din care reiese că căldura eliminată este direct proporțională factorului de pierderi K.

Din figura 3.4.c se observă, că K obține valori maxime în intervalul de frecvențe 26-28 MHz. Ca și  $\text{tg}\delta$  valorile medii ale lui K în acest interval nu se deosebesc esențial.

Mai mult ca atât, analiza datelor experimentale și a șirului parametric al generatoarelor industriale, ne demonstrează că pentru a obține o încălzire intensivă și uniformă se recomandă de ales pentru procedeul de uscare a cătinii albe generatorul cu frecvența curentului de 27 MHz.

### **3.5. Influența umidității cătinii albe asupra parametrilor electrofizici**

Influența umidității unor dielectrice asupra parametrilor săi electrofizici este studiată insuficient. Studierii acestei probleme sunt dedicate lucrările [33, 103, 113, 152, 157, 173, 176, 183, 199] etc.

Cătina albă reprezintă un produs organic cu o structură complexă care posedă un număr mare de componente structurale. Pentru asemenea produse, după cum se menționează în [51, 100, 152, 199], deducerea fundamentală a ecuațiilor fizice, care ar lua în considerare influența umidității produsului asupra parametrilor săi electrofizici este destul de laborioasă.

Faptul se datorează motivului că în pomușoarele de cătină albă se întâlnesc diferite forme de legătură dintre umiditate și material și de asemenea că acest produs aparține sistemelor



## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

complexe din punct de vedere a deshidratării, cum sunt de exemplu corpurile capilaro-poroase. Aceasta și a cauzat necesitatea de a studia problema în mod experimental.

S-a menționat deja, că în aceste cazuri este rațională folosirea generatorului cu o frecvență de lucru de 27 MHz (așa cum s-a observat din experiențele efectuate la 27, 28 și 40 MHz). Reieșind din aceasta, un interes deosebit va reprezenta descrierea influenței umidității produsului asupra parametrilor săi electrofizici anume la aplicarea acestei frecvențe a câmpului electromagnetic.

În figura 3.5 sunt trasate curbele influenței umidității produsului (fig. 3.5.(a)) asupra tangentei unghiului de pierderi dielectrice  $\operatorname{tg} \delta$  a cătinii albe la frecvența de 27 MHz. Densitatea încărcării materialului în condensatorul de măsurare a fost constantă și egală cu  $700 - 710 \text{Kg/m}^3$ .

Din aceste grafice rezultă, că cu mărirea umidității crește neliniar și valoarea  $\operatorname{tg} \delta$ . Până la umiditatea de echilibru convexitatea curbelor este îndreptată spre axa ordonatelor, iar mai sus spre axa abceselor, adică toate curbele au un punct de inflexiune. Este posibil că creșterea  $\operatorname{tg} \delta$  poate fi explicată prin faptul, că în produsele alimentare umiditatea nu este pură în sensul apei omogene, ci din punct de vedere electrofizic - sub formă de electroliți, la care cu mărirea umidității se reduce concentrația electrolitului și crește componenta activă a curentului  $I_a$ . Ea la rândul său provoacă creșterea  $\operatorname{tg} \delta$ .

Prelucrarea matematică a datelor experimentale a permis de a obține următoarele ecuații pentru calculul  $\operatorname{tg} \delta$ :

$$\operatorname{tg} \delta = 0.0005w^2 - 0.024w + 0.0431, \quad \text{pentru } t=20^\circ\text{C} \quad (3.4)$$

$$\operatorname{tg} \delta = -0.0005w^2 + 0.025w + 0.029, \quad t=40^\circ\text{C} \quad (3.5)$$

$$\operatorname{tg} \delta = -0.0006w^2 + 0.029w + 0.050, \quad t=60^\circ\text{C} \quad (3.6)$$

$$\operatorname{tg} \delta = -0.0008w^2 + 0.032w + 0.093, \quad t=80^\circ\text{C} \quad (3.7)$$

$$\operatorname{tg} \delta = -0.0004w^2 + 0.025w + 0.191, \quad t=100^\circ\text{C} \quad (3.8)$$

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

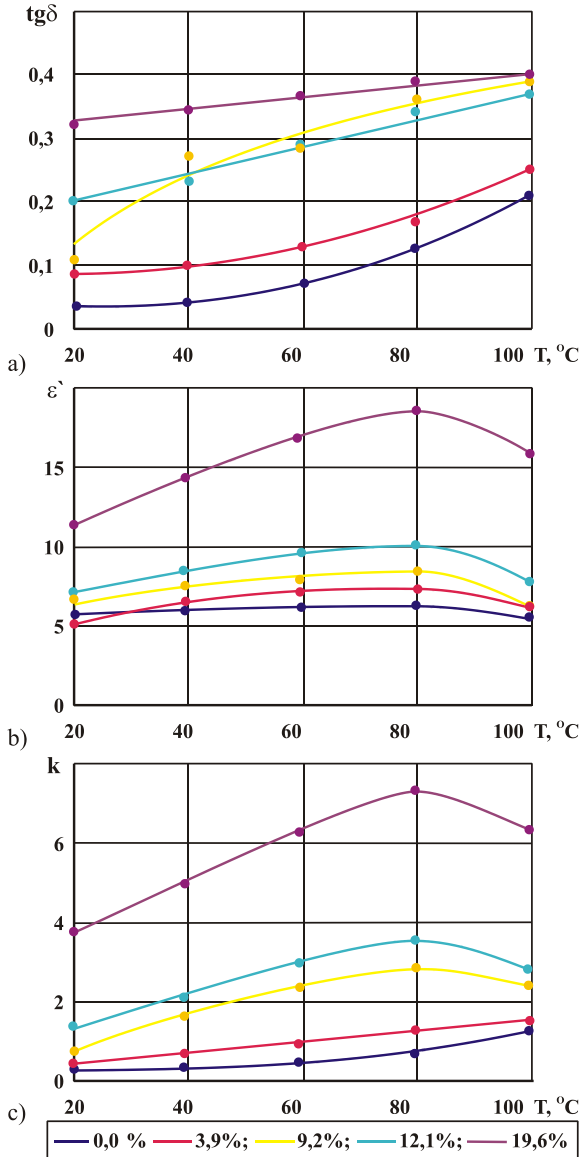


Fig. 3.5. Dependența  $\text{tg } \delta$  (a),  $\epsilon'$ (b) și  $K$ (c) de umiditate  $W$  a cătinii albe la frecvența 27 MHz pentru diferite temperaturi.

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

Caracterul dependenței permeabilității dielectrice relative  $\varepsilon'$  de umiditate este prezentată în fig. 3.5.(b).

Din grafic se observă că cu creșterea umidității cătinii până la 19,60 %  $\varepsilon'$  crește. Totodată această creștere se realizează după o lege neliniară la toate temperaturile analizate 20, 40, 60, 80 și 100 °C.

În legătură cu cercetarea datelor experimentale pentru procesul de uscare, se impune de a arăta caracterul influenței micșorării umidității asupra parametrilor electrofizici. În acest fel caracterul curbelor, prezentate în fig. 3.5.(b) arată că cu micșorarea umidității în procesul de uscare se micșorează cantitatea de molecule nepolare, care în rezultat duce la micșorarea  $\varepsilon'$ . Aceasta arată că pentru cazul cătinii o influență mare asupra  $\varepsilon'$  reprezintă uleiul. Este cunoscut că cu micșorarea concentrației de umiditate se mărește concentrația de ulei, ce influențează pozitiv asupra efectului de polarizare. În acest caz cu creșterea umidității  $\varepsilon'$  se mărește.

Datele obținute experimental au permis de a elabora următoarele ecuații de calcul  $\varepsilon'$  (pentru intervalul de umiditate 0,3 – 19,6%):

$$\varepsilon' = 0.017w^2 - 0.029w + 4.727, \text{ pentru } t=20^\circ\text{C} \quad (3.9)$$

$$\varepsilon' = 0.024w^2 - 0.094w + 6.290, \text{ } t=40^\circ\text{C} \quad (3.10)$$

$$\varepsilon' = 0.032w^2 - 0.116w + 6.423, \text{ } t=60^\circ\text{C} \quad (3.11)$$

$$\varepsilon' = 0.040w^2 - 0.167w + 6.682, \text{ } t=80^\circ\text{C} \quad (3.12)$$

$$\varepsilon' = 0.044w^2 - 0.380w + 6.100, \text{ } t=100^\circ\text{C} \quad (3.13)$$

Conform formulei (1.13) cantitatea de căldură eliminată în interiorul produsului este direct proporțională produsul  $\text{tg}\delta \cdot \varepsilon'$ , ce se determina cu factorul pierderilor K.

După cum se observă din fig. 3.5.(c) caracterul schimbării factorului pierderilor K în genere este analog cu

## Uscarea cătini albe în camp S.H.F.

caracterul dependenței  $\text{tg}\delta$  și  $\varepsilon'$ . Cu creșterea umidității cătini factorul pierderilor crește parabolic.

Prelucrarea matematică a permis obținerea următoarelor ecuații ( $W=0,3 - 19,6\%$ ):

$$k = 0.11w^2 - 0.041w + 0.289, \quad \text{pentru } t=20^\circ\text{C} \quad (3.14)$$

$$k = 0.005w^2 + 0.106w + 0.238, \quad t=40^\circ\text{C} \quad (3.15)$$

$$k = 0.008w^2 + 0.116w + 0.369, \quad t=60^\circ\text{C} \quad (3.16)$$

$$k = 0.011w^2 + 0.116w + 0.656, \quad t=80^\circ\text{C} \quad (3.17)$$

$$k = 0.014w^2 - 0.022w + 1.28, \quad t=100^\circ\text{C} \quad (3.18)$$

### **3.6. Influența temperaturii cătini albe asupra parametrilor electrofizici**

Într-o mare măsură parametrii electrofizici ai produselor sunt influențați și de temperatura lor.

După cum s-a menționat, se recomandă uscarea cătini albe în câmp electromagnetic de frecvență înaltă începând cu umiditatea de 25 %. Din aceste considerente s-au obținut funcțiile parametrilor electrofizici pentru probele cu umiditatea de la 0 până la 25% și anume 0, 3.93, 9.21, 12.07 și 19.62 %. Produsul a fost studiat la frecvența câmpului electromagnetic de 27 MHz.

În fig. 3.8 respectiv (a, b, c) sunt prezentate graficele influenței temperaturii în intervalul 20-100 °C asupra  $\text{tg}\delta$ ,  $\varepsilon'$  și  $K$ .

După cum se vede din grafice tangenta unghiului pierderilor dielectrice  $\text{tg}\delta$  pentru toate probele are un caracter complex. În intervalul de temperaturi prezentat, pentru toate umiditățile numite se remarcă o creștere a  $\text{tg}\delta$ . În același timp, dacă curbele corespunzătoare umidităților 0,3 și 3,9% se măresc după parabolă, atunci pentru umiditățile 9,2; 12,1 și 19,6% la temperatura de 80 °C pe curbe se observă punctul de curbură.

## Uscarea cătini albe în camp S.H.F.

Caracterul curbelor măsurărilor  $\text{tg}\delta$ , prezentate în fig. 3.8, poate fi determinat după formula [183]:

$$\text{tg}\delta = \frac{f \cdot \frac{A}{T} \cdot B_1 \cdot e^{-\frac{B}{T}}}{\frac{\varepsilon'_\infty}{4\pi} + \frac{\varepsilon'_\infty f^2}{4\pi} \cdot B_1^2 \cdot e^{\frac{2B}{T}} + \frac{A}{T}}, \quad (3.19)$$

în care:  $f$  – frecvența cîmpului, în  $\text{s}^{-1}$ ;

$T$  – temperatura materialului, în  $^\circ\text{K}$ ;

$\varepsilon'_\infty$  – permeabilitatea dielectrică relativă la frecvențe foarte mari ( $f \rightarrow \infty$ ).

Valorile  $A$ ,  $B$ ,  $B_1$  se calculează după formulele corespunzătoare, prezentate în [183].

Mărimile  $A$ ,  $\varepsilon'_\infty$ ,  $f$ ,  $B$ ,  $B_1$  nu depind de temperatură. Cu

creșterea temperaturii mărimea  $e^{-\frac{B}{T}}$  se mărește mai repede ca  $T$ . De aceea, după cum se observă din formulă, cu creșterea temperaturii  $\text{tg}\delta$  crește (fig.3.6 b). Prima perioadă se reduce în intervalul de temperatură  $20 - 80^\circ\text{C}$  și a doua  $80 - 100^\circ\text{C}$  pentru toate umiditățile. În prima perioadă cu creșterea temperaturii se observă creșterea  $\varepsilon'$ . Așa dar pentru temperaturile  $20^\circ\text{C}$  pentru umiditățile cătini 0,3; 3,9; 9,2; 12,1 și 19,6 % la frecvențele 27 MHz mărimea  $\varepsilon'$  este corespunzător 4,7; 5,8; 6,7; 7,1 și 11,5, iar pentru temperatura  $80^\circ\text{C}$   $\varepsilon'$  constituie corespunzător 6,2; 7,4; 8,5; 10,1 și 18,8. Mărirea după umiditate constituie corespunzător 1,1; 1,3; 1,3; 1,4 și 1,6 ori.

În a doua perioadă pentru toate probele de umiditate a cătini, se urmărește o micșorare a  $\varepsilon'$  cu creștere a temperaturii. Valorile minime  $\varepsilon'$  apar la temperatura  $100^\circ\text{C}$  și este egală corespunzător umidităților 5,5; 6,2; 6,2; 7,8 și 16,0.

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

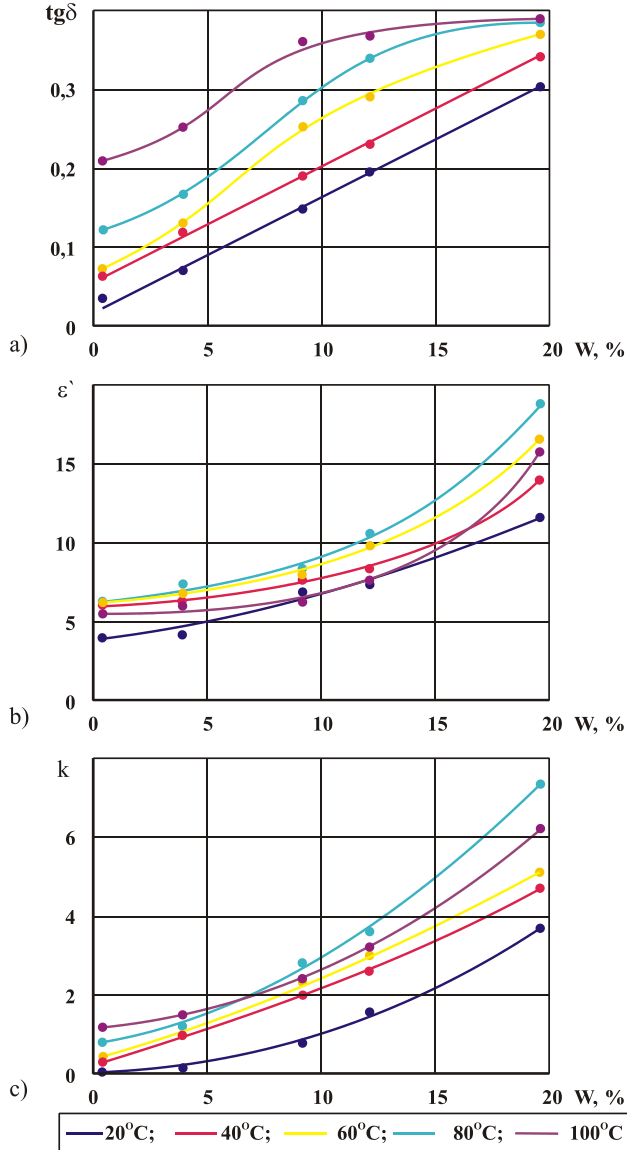


Fig. 3.6. Dependența  $\text{tg } \delta$  (a),  $\epsilon'$ (b) și  $K$ (c) de temperatură la frecvența 27 MHz și umiditățile 0,3; 3,9; 9,2; 12,1 și 19,6%

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

Un astfel de caracter al dependenței  $\varepsilon'=f(t)$ , explică schimbarea structurii materialului cu ridicarea temperaturii.

În cătină se conține de la 8 la 12% ulei [52, 222], adică aproape o optime din masa fructului. Deci este clar că o influență importantă asupra caracteristicilor electrofizice a cătinii o prezintă uleiul. O influență mai amplă a uleiului asupra caracteristicilor electrofizice prezintă starea lui fluidă în procesul de încălzire a cătinii mai sus de 30°C.

La temperatura produsului mai sus de 30°C se realizează mărirea fluidității uleiului, care într-un grad important influențează asupra permeabilității dielectrice relative  $\varepsilon'$ , pentru care este caracteristică o astfel de dependență [183, 193, 199].

Caracterul dependenței prezentat în fig. 3.6. (b) se explică prin faptul că la dielectricii polari, după cum este și uleiul [66, 193, 199], în cazul temperaturilor mici orientarea moleculelor în majoritatea cazurilor este imposibilă.

Cu creșterea temperaturii are loc schimbarea stării de fluidizare a uleiului și trecerea lui din starea puțin fluidă în starea lichidă. Prin aceasta se ușurează posibilitatea orientării dipolilor, ca duce la creșterea permeabilității dielectrice relative  $\varepsilon'$ . Dar cu creșterea în continuare a temperaturii apare intensificarea combinațiilor termice haotice a moleculelor, care micșorează gradul de orientare ordonat. Aceasta conduce la aceea că curba dependenței  $\varepsilon'$  trece prin maximum și apoi coboară.

Caracterul schimbării factorului pierderilor  $K$  de temperatură este prezentat în fig 3.6 (c). După cum se observă din figură caracterul schimbării  $K$  practic este la fel ca și caracterul schimbării  $\varepsilon'$  de temperatură, prezentat în fig. 3.6 (b).

Analizând curbele în complex, deci folosind teoria superpoziției (suprapunere), se poate de ajuns la concluzia că în cazul uscării fructelor de cătină este rațional de folosit temperata de 80°C. Această concluzie este importantă din punct de vedere a folosirii cătinii ca obiect medico – biologic.

#### **4. DESCRIEREA INSTALAȚIEI EXPERIMENTALE ȘI A METODELOR DE CERCETARE A CINETICII PROCESULUI DE USCARE A CĂTINII ALBE**

##### **4.1. Caracteristica generală a instalației experimentale**

Pentru o prezentare mai amplă a proceselor de transfer de masă și căldură prezente la uscarea cătinii albe este necesar să dispunem în prealabil de curbele de uscure  $W = \varphi(\tau)$  și de

curbele vitezei de uscure  $\frac{dW}{d\tau} = \varphi(W)$ .

În scopul obținerii acestor funcții a fost proiectată și construită o instalație de laborator.

Această instalație permite studiarea cineticii procesului de uscure a cătinii albe la aplicarea aportului de energie convectivă, utilizarea curenților de frecvență înaltă (U.H.F.) și prin metoda combinată – convecție cu U.H.F.

Instalația constă din camera de uscure 1 (fig.4.1), în interiorul căreia este amplasat condensatorul coaxial 2, executat în formă de cilindru. Pereții laterali ai condensatorului coaxial sunt executați din alamă perforată. Fundul perforat este executată din dielectric de tipul  $\Phi$  4. Plăcile condensatorului sunt conectate la ghidul de unde coaxial de frecvență înaltă, încât cea interioară s-a conectat la fiderul de alimentare cu unde de frecvență înaltă, iar cea externă – la corpul ghidului.

Condensatorul coaxial este unit cu balanța mecanică 3. La cameră sunt anexate două conducte de aer 4 și 5 pentru alimentarea cu agent de uscure și pentru eliminarea lui.

Alimentarea instalației cu unde de frecvență înaltă de la generatorul ГД – 6000A este asigurată de către ghidul de unde coaxial 6. Materialul se încărcă în condensatorul coaxial. În



## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

cazul aportului de căldură convectiv agentul de uscare, încălzit în caloriferul 7, cu ventilatorul 8 este deplasat prin conductele de aer în camera de uscare 1, trecând prin plăcile condensatorului coaxial. Însă alimentarea plăcilor condensatorului coaxial cu curent de frecvență înaltă nu se efectuează.

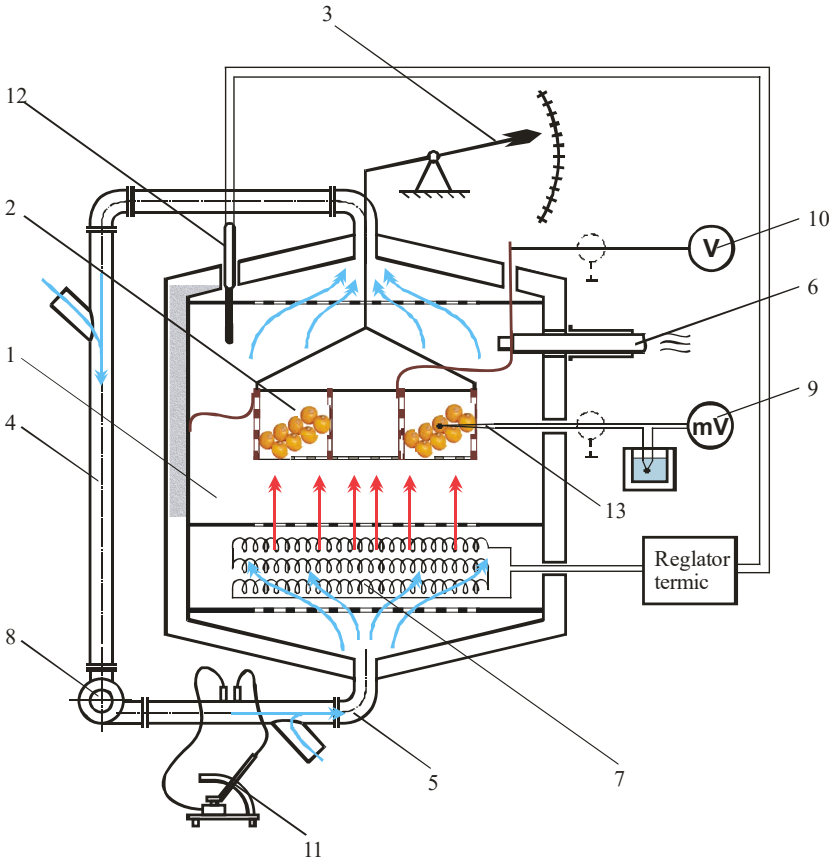


Fig. 4.1. Instalația experimentală pentru cercetarea cineticii procesului de uscare a cătinii albe

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

La încălzirea produsului cu U.H.F. pe plăcile condensatorului, între care se amplasează produsul, se furnizează frecvență înaltă. Ieșirea aburilor de umiditate formați se realizează pe baza convecției. La combinarea aportului de căldură prin convecție și U.H.F., procesele descrise mai sus se realizează în același timp.

În procesul de uscare s-a măsurat micșorarea masei, schimbarea temperaturii produsului, tensiunea între plăcile condensatorului, viteza și temperatura aerului fierbinte și consumul de energie. La atingerea umidității finale necesare, procesul de uscare se finisa, iar produsul uscat se descărca din condensator. Temperatura agentului de uscare, care este dat în camera de uscare, este menținută cu ajutorul sistemii automate. Elementele principale ale acestei sisteme sunt termometrul de contact 12 (fig.4.1), caloriferul, încălzitorul electric 7 și blocul electronic. Viteza mișcării aerului în camera de uscare se menține constantă și s-a măsurat cu micromanometrul 11.

### **4.2. Metoda de înregistrare a scăderii masei și temperaturii cătinii albe**

În sursele literare sunt descrise un șir de cântare electrice automate de înregistrare a datelor [43, 85]. Aplicarea acestor cântare în cazul încălzirii cu U.H.F nu este de dorit, deoarece dau erori mari la măsurare din cauza câmpului de frecvență înaltă, care influențează asupra aparaturii electronice.

În ultimul timp se aplică cântarele automate electrice la încălzirea materialelor umede cu U.H.F, însă aparatura electronică a cântarelor se izolează minuțios de câmpul electromagnetic. Schema electronică a astfel de cântare, de regulă exclude elementele semiconductoare și inductive, dar constă din rezistențe active.

## **Uscarea cătini albe în camp S.H.F.**

Totodată nici aceste măsuri nu dau posibilitatea de a folosi astfel de scheme electronice pentru valori mari ale tensiunii câmpului.

Pentru excluderea greșelilor în cazul cercetărilor noastre a fost aplicat cântarul mecanic de tipul BHIQ – 2. sensibilitatea cântarului a constituit 2 g/unit, exactitatea de cântărire - 5%.

Condensatorul de măsurare se atârna de cântar cu elemente speciale.

În procesul de uscare cântarul ne permitea să măsurăm micșorarea masei cătini albe continuu. Înregistrarea micșorării masei se efectua la un interval de timp stabilit din timp, în dependență de aportul de energie aplicat.

În probă se instala un termocuplul crom – cobeli 11 (fig.4.1), elaborat dintr-un conductor cu diametrul de 0,1mm. Datele arătate de către termocuplu se înscriau de către potențiometrul electronic de tipul KCIИ – 04 – 12M 9. Lungimea sfârșitului termocuplului, găsindu – se în condiții izotermice în material, se instala la 10-15 mm.

### **4.3. Metoda de măsurare a tensiunii și calcul tensiunii câmpului electromagnetic de frecvență înaltă**

Tensiunea de frecvență înaltă  $U$  pe plăcile condensatorului de măsurare se măsoară cu voltmetrul electric 10 (fig. 4.1) de tipul C – 196 cu clasa de precizie 0,2.

Tensiunea câmpului electric s-a calculat după formula [182]:

$$E = \frac{2 \cdot U}{(D - d) \cdot \ln \frac{D}{d}}, \quad (4.1)$$

în care  $U$  este tensiunea dintre plăci, în V;

$D, d$  – diametrul exterior și interior al celulei de lucru, în m.

**4.4. Metoda de măsurare a vitezei aerului  
în camera de uscare**

Pentru măsurarea vitezei de uscare în conducta de aer sa- u folosit două tuburi pneumatice cu diametrul interior 0,8 mm. Tuburile pneumatice se fixează în coordonate special construite pentru ele și se unesc cu ajutorul unui garou de cauciuc la micromanometrul MMH-1 11 (fig.4.1). Micromanometrul este umplut cu alcool etilic cu densitatea de 809,5 kg/m<sup>3</sup>. Unul din tuburi, cel orizontal, măsoară fluxul total, iar celălalt, înclinată sub unghi de 90° în direcția de mișcare a aerului , măsoară fluxul static. Măsurată cu micromanometrul MMH presiunea dinamică în N/m<sup>2</sup> se aduce la condiții normale după formula:

$$P = h \cdot k \cdot g \cdot \Delta \cdot \delta , \quad (4.2)$$

în care  $h = h_1 - h_2$

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

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

$k$  – coeficientul micromanometrului pentru unghiul dat de înclinare a tubului;

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

$\Delta = \frac{\rho_0}{\rho}$  - corectarea la condițiile atmosferice;

$\rho_0$  – densitatea aerului în condiții standarde, în kg/m<sup>3</sup>;

$\rho$  – densitatea aerului în condițiile de măsurare, în kg/m<sup>3</sup>;

$\delta = \frac{\rho_m}{809.5}$  - corecția pentru densitatea alcoolului, turnat în micromanometru, unde la rândul său

## Uscarea cătini albe în camp S.H.F.

$\rho_m$  – densitatea prezentă a alcoolului etilic,  $\text{kg/m}^3$ ;

809,5 – densitatea prevăzută pentru alcoolul din manometru,  $\text{kg/m}^3$ .

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

$$v_0 = 1.41 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}, \quad (4.3)$$

în care  $\Delta P$  este tensiunea dinamică,  $\text{N/m}^2$ ;

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

Densitatea aerului, dependentă de temperatura lui, se determină după tabele corespunzătoare.

Viteza agentului de uscare în camera de uscare s-a calculat din condițiile cheltuielilor masice constante a agentului de uscare după expresia:

$$v_u = v_0 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot a \cdot b} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_u}, \quad (4.4)$$

în care  $d$  este diametrul conductei de aer la intrarea în camera de uscare, în m;

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

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

$\rho_u$  – densitatea aerului în camera de uscare, în  $\text{kg/m}^3$ .

În cazul nostru viteza agentului de uscare  $v_c$  a fost constantă și valoarea ei constituie 1,1 m/c.

### 4.5 Pregătirea cătinii albe pentru experiment și metoda de efectuare

Pentru efectuarea experimentelor s-au folosit poamele cătinii albe de soiul „Crușinovidnaea”, care se cultivă în condițiile Republicii Moldova (recolta – 2005).

Selectare și obținerea probelor de umiditate necesară a produsului s-a determinat după metodele cunoscute.

La cântărirea preventivă condensatorul coaxial se umplea cu 200 g produs. Condensatorul plin se unea de cântar.

În cazul uscării prin metoda convectivă agentul de uscare se sufla prin produs. Cântarul din cauza asta se regla luând în considerație și presiunea, creată de aer condensatorului de măsurare.

Uscarea convectivă s-a efectuat cu aer încălzit. La toate experiențele viteza agentului de uscare a fost egală cu 0,65 m/c. Pentru fructele de cătină masa inițială a constituit 200 g. În procesul de uscare s-a urmărit micșorarea permanentă a masei fructelor de cătină în timp, pe baza cărora au fost construite curbele vitezei de uscare.

După umiditatea inițială a cătinii, determinată preliminar, egală cu 85 %, se poate de determinat umiditatea a cătinii în orice moment de timp după următoarea formulă [46, 125]:

$$W^c = \frac{G_{ap\grave{a}}}{G_{usc}} \cdot 100 = \left( \frac{G_i}{G_{usc}} - 1 \right) \cdot 100, \quad (4.5)$$

Conform STAS, umiditatea cătinii la masa totală constituie 3 – 5%. Masa finală a probei de cătină, până la care este necesar de efectuat procesul de uscare, se calculează după formula:

## Uscarea cătini albe în camp S.H.F.

$$G_{fin} = \frac{W_{fin}^c \cdot G_{usc}}{100} + G_{usc} = G_{usc} \left( \frac{W_{fin}^c}{100} + 1 \right), \quad (4.6)$$

în care  $W_{fin}^c = 24 - 25 \%$  - conținutul final de umiditate în cătină la substanță uscată.

$G_{fin}$  este egală cu 17,5 g. Această condiție a fost respectată.

După datele obținute în procesul de cercetare au fost construite curbele uscării  $W = f(\tau)$ .

Curbele vitezei de uscare  $\frac{dW}{d\tau} = f(W)$  s-au construit după puncte, obținute prin diferențierea funcției tabulare  $W = f(\tau)$  după formula [42]:

$$\frac{dW}{d\tau}(\overline{W}_0) = \frac{\sum_{m=-p}^p m \cdot \overline{W}_m}{\sum_{m=-p}^p m^2}, \quad (4.7)$$

în care  $\frac{dW}{d\tau}(\overline{W}_0)$  este valoarea vitezei de uscare pentru conținutul de umiditate mediu  $W_0$ , %/ timp (h, s, min);

$\overline{W}_0$  - valoarea medie a conținutului de umiditate în masa materialului înainte și după momentul de timp, la care umiditatea a fost  $W_0$ , %;

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

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

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

---

Pentru primul punct:

$$\frac{dW}{d\tau}(\overline{W}_1) = \frac{-21\overline{W}_4 + 13\overline{W}_3 + 17\overline{W}_2 - 9\overline{W}_1}{20 \cdot n}, \quad (4.8)$$

Pentru al doilea punct:

$$\frac{dW}{d\tau}(\overline{W}_2) = \frac{-11\overline{W}_4 + 3\overline{W}_3 + 7\overline{W}_2 - \overline{W}_1}{20 \cdot n}, \quad (4.9)$$

Pentru penultimul punct:

$$\frac{dW}{d\tau}(\overline{W}_{n-1}) = \frac{\overline{W}_n - 7\overline{W}_{n-1} - 3\overline{W}_{n-2} + 11\overline{W}_{n-3}}{20 \cdot n}, \quad (4.10)$$

Pentru ultimul punct:

$$\frac{dW}{d\tau}(\overline{W}_n) = \frac{9\overline{W}_n - 17\overline{W}_{n-1} - 13\overline{W}_{n-2} + 21\overline{W}_{n-3}}{20 \cdot n}, \quad (4.11)$$



### 5. CERCETAREA CINETICII PROCESULUI DE USCARE A CĂTINI ALBE

#### 5.1. Uscarea prin convecție

Procesului de uscare au fost supuse fructele cătinii de soiul „Crușinovidnaia”. Procesul de uscare s-a efectuat cu aer încălzit, viteza căruia a fost constantă la toate experiențele și a constituit 1,1 m/s. Valoarea vitezei aerului încălzit a fost determinată de posibilitățile tehnice ale instalației de laborator. Cătina a fost supusă uscării în strat dens.

În fig. 5.1. sunt prezentate curbele de uscare  $W=f(\tau)$  ale cătinii albe cu aport de căldură prin convecție la temperaturile agentului de uscare 60, 70, 80, 90, 100 și 110°C. După cum se observă (fig. 5.1.), durata procesului de uscare a cătinii albe de la umiditatea inițială de 89 % și până la cea finală de 2% în mare măsură este dependentă de temperatura agentului de uscare. Astfel, la temperatura agentului de uscare de 60°C durata uscării a constituit 760 min., iar la temperatura 110°C - 260 min. În acest mod se observă, că cu creșterea temperaturii agentului de uscare durata procesului de uscare a cătinii se reduce.

Analiza curbelor arată că caracterul lor este practic același și corespunde cu caracterul curbelor descrise în literatură.

Curbele vitezei de uscare (fig.5.2) ne indică, că pentru procesul de uscare al cătinii albe, ca și pentru toate materiile naturale, sunt caracteristice trei perioade de uscare: perioada de încălzire, apoi perioada cu viteză de uscare constantă și perioada cu viteză de uscare în descreștere.

Conform teoriei lui A.V. Lîcov, pentru sistemele eterogene complexe, către care se referă și produsul nostru, perioada vitezei de uscare în descreștere poate fi divizată în două etape, adică mai apare

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

încă un punct critic în acest sector. După cum se observă și din grafic, pentru cătina albă de asemenea este caracteristic acest punct.

Ca regulă, odată cu creșterea temperaturii agentului de uscare valoarea umidității cătinii, la care apare punctul critic se deplasează în direcția umidității mai mari. Deci, pentru temperatura agentului de uscare 60, 70 și 80°C ea constituie 20, 24 și 30%. După părerea noastră, aceasta se explică prin faptul, că pentru astfel de sisteme eterogene complexe, după cum sunt și fructele sâmburoase, deplasarea umidității în procesul de uscare în mare măsură este cauzată de câmpurile de temperatură, de schimbările structurilor interne (ruperea cojii, etc.).

Apariția celui de al doilea punct critic, după cum se vede, este cauzată de prezența în fructele de cătină a cojii dure, elastice greu de pătruns.

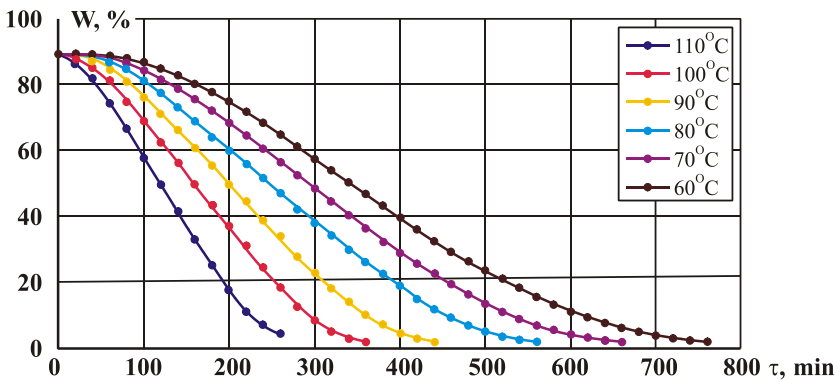


Fig.5.1. Curbele de uscare ale cătinii albe cu aport de energie prin convecție pentru diferite temperaturi ale agentului de uscare.

La adâncirea zonei de evaporare, ieșirea aburului format este destul de dificilă din cauza cojii. Ca rezultat, în fructele de cătină crește rapid valoarea presiunii, care într-o anumită perioadă de timp conduce la ieșirea umidității.

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

Cu creșterea temperaturii cătinii până la 110°C punctul de întorsime practic dispare.

Valoarea vitezei de uscare maximale, după cum se vede din grafic, se mărește odată cu creșterea temperaturii agentului de uscare (fig.5.2). Așa dar, la temperatura 60°C ea constituie 0,18 %/min, iar la temperaturile 70, 80, 90, 100 și 110°C corespunzător 0,2; 0,22; 0,27; 0,32 și 0,41 %/min.

După cum se vede, viteza de înlăturare a umidității pentru temperatura inițială  $t = 60^{\circ}\text{C}$  și finală  $t = 110^{\circ}\text{C}$  se mărește mai mult de 2 ori.

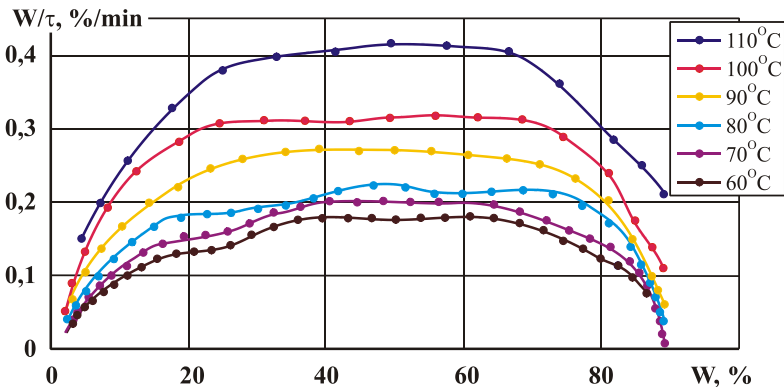


Fig.5.2. Curbele vitezei de uscare ale cătinii albe cu aport de energie prin convecție pentru diferite temperaturi ale agentului de uscare.

Perioada vitezei maximale pentru temperatura agentului de uscare 60°C constituie 23% din durata totală a procesului de uscare, pentru  $t = 70^{\circ}\text{C}$  – 20% și corespunzător:  $t = 80^{\circ}\text{C}$  – 25%;  $t = 90^{\circ}\text{C}$  – 25%,  $t = 100^{\circ}\text{C}$  – 39% și  $t = 110^{\circ}\text{C}$  – 23%.

Deci se poate de constatat, că odată cu creșterea temperaturii agentului de uscare durata perioadei vitezei constantă de uscare se mărește, totuși, fiind prezente și câteva excepții.

### 5.2. Uscarea combinată a cătinii albe cu aplicarea convecției și a curenților de frecvență înaltă

Studiul parametrilor electrofizici ai cătinii albe a arătat că până la umiditatea de 25 % este rațional de utilizat una din metodele tradiționale de uscare, cum este și uscarea prin convecție. În continuare, până la cea finală de 2-5% este pentru intensificarea procesului de uscare, pentru înlăturarea umidității cu legături puternice, se recomandă de folosit metode mai progresiste, și anume curenții electromagnetici de frecvență înaltă.

În cazul nostru, experimental s-a stabilit, că pentru uscarea cătinii albe în câmp electromagnetic de frecvență înaltă cea mai optimă frecvență va fi 27 MHz la care are loc degajarea maximală a căldurii în product și care corespunde șirului parametric al generatoarelor industriale.

De aceea, cătina la început a fost supusă uscării numai prin convecție utilizând un flux de aer cald și numai după atingerea umidității de 25 % s-a utilizat metoda combinată: prin convecție și în câmp U.H.F.

Deoarece uscarea prin convecție a fost descrisă anterior, în continuare este analizat procesul de uscare în perioada de la 25 % până la 2 %, perioada la care s-a aplicat procedeul de uscare combinat.

Rezultatele cercetărilor privind cinetica procesului de uscare a cătinii albe prin convecție și U.H.F sunt prezentate în figurile 5.3 – 5.10.

La aplicarea câmpului electromagnetic de frecvență înaltă intensificarea procesului de uscare crește semnificativ. După cum se observă în fig. 5.3, la temperatura agentului de uscare 60°C cu creșterea intensității câmpului electromagnetic durata procesului de uscare se reduce. De exemplu, dacă la intensitatea câmpului electromagnetic  $E=17,8$  KV/m umiditatea de echilibru a fost atinsă

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

în 120 min., apoi la intensitatea  $E=28,2$  KV/m aceeași umiditate se atinge în 90 min., adică procesul de uscare se reduce de 1,3 ori.

Intensificarea obținută a procesului de uscare a cătinii pe baza aplicării curentului de frecvență înaltă se afirmă în anumite date bibliografice în deosebi în [68, 75, 111, 130, 166, 173, 168].

Reducerea duratei procesului de uscare este cauzată de căldura intensă emisă pe o unitate de volum a cătinii cu creșterea intensității câmpului [126, 141, 166].

Un astfel de tablou avem și pentru celelalte temperaturi studiate. Astfel, în fig. 5.3 se observă, că la temperatura agentului de uscare  $110^{\circ}\text{C}$  durata procesului de uscare a cătinii albe până la umiditatea finală 2% a constituit pentru  $E=17,8$  KV/m 35 min., iar pentru  $E=28,4$  KV/m (fig.5.9) – de acum 25 min.

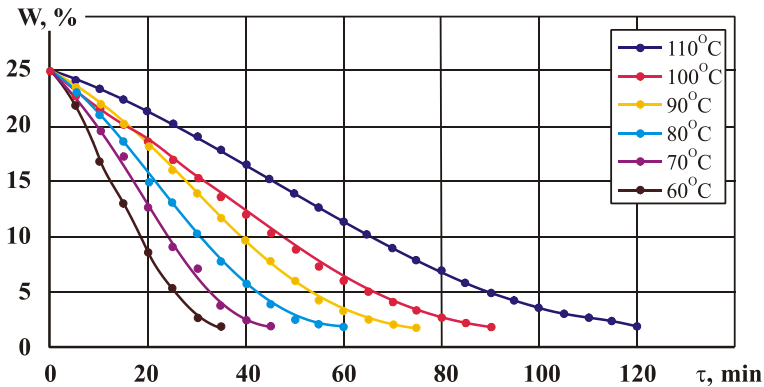


Fig.5.3. Curbele de uscare a cătinii albe cu aportului de energie combinat (prin convecție +UHF), intensitatea  $E=17,8$  KV/m pentru diferite temperaturi ale agentului de uscare

După cum observăm, odată cu creșterea intensității câmpului electromagnetic, durata procesului de uscare se reduce de aproximativ 1,4 ori.

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

Cu creșterea temperaturii agentului de uscare duratele procesului de uscare pentru unele și aceleași valori ale intensității câmpului electromagnetic se reduc. La intervale de variație a temperaturii agentului de uscare egale cu  $10^{\circ}\text{C}$ , durata de reducere a procesului de uscare nu este constantă. Astfel, pentru intensitatea  $E=28,2 \text{ KV/m}$  reducerea duratei procesului de uscare în raport cu temperatura agentului termic de  $60^{\circ}\text{C}$  (fig.5.9) a constituit pentru 70, 80, 90, 100 și  $110^{\circ}\text{C}$  corespunzător de 1,28; 1,27; 1,37; 1,33 și 1,20 ori, adică diferențele dintre două cifre vecine nu sunt egale între ele pentru tot spectrul de temperaturi ale agentului de uscare.

După cum se observă, „gradul” de intensificare al procesului de uscare are tendința de a se mări odată cu creșterea temperaturii până la  $90^{\circ}\text{C}$ , iar apoi, la creșterea în continuare a temperaturii, se micșorează. Aceasta se explică prin faptul, că cu creșterea temperaturii materialului, în cazul aplicării câmpurilor electromagnetice de frecvență înaltă crește și gradul lui de polarizare, dar acesta la rândul său mărește cantitatea de căldură internă emanată. Micșorarea intensificării după temperatura de  $90^{\circ}\text{C}$  corespunde datelor prezentate în capitolul 3.

După cum se observă din fig. 5.4; 5.6; 5.8 și 5.10 pentru aportul de energie combinat: prin convecție îi în câmp electromagnetic de frecvență înaltă perioada cu viteză constantă practic nu se urmărește. Procesul de uscare decurge doar în perioada vitezei în descreștere.

După cum se remarcă în [125, 176], la intensități mari ale procesului de uscare, care se obțin prin combinarea diferitor tipuri ale aportului de energie cu câmpurile electromagnetice ale curenților de frecvență înaltă [51, 68, 114, 115, 117, 127, 130, 176], pe curba vitezei de uscare, sectorul ce corespunde vitezei constante de uscare lipsește, viteza de uscare după o creștere rapidă trece lent în perioada vitezei în descreștere (fig. 5.4; 5.6; 5.8 și 5.10).

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

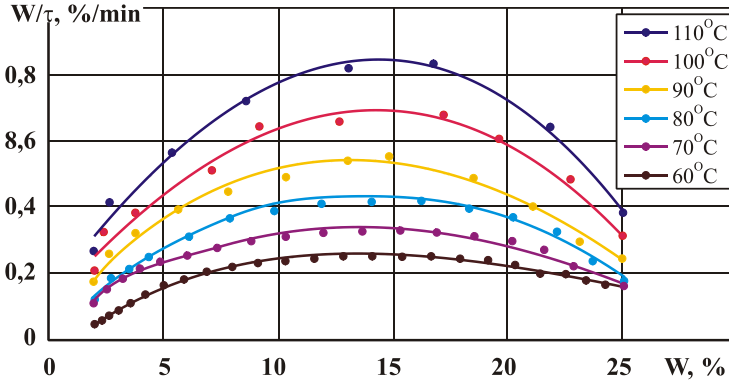


Fig.5.4. Curbele vitezei de uscare a cătinii albe cu aportului de energie combinat (prin convecție +UHF), intensitatea  $E=17,8$  KV/m pentru diferite temperaturi ale agentului de uscare

La temperatura constantă a agentului de uscare cu creșterea intensității câmpului electric viteza procesului de uscare se mărește. Așa dar, la temperatura agentului de uscare  $70^{\circ}\text{C}$  și intensitatea câmpului electric de  $17800\text{V/m}$  (fig.5.4) viteza maximală a procesului de uscare a constituit  $0,33\%/min$ , iar la intensitatea câmpului electric  $28200\text{ V/m}$  și aceeași temperatură a agentului de uscare constituie  $0,44\%/min$  (fig. 5.10). Un astfel de tablou se observă și pentru alte temperaturii ale agentului de uscare. Așa dar, la temperatura  $110^{\circ}\text{C}$  și intensitatea câmpului electric  $17800\text{ V/m}$  valoarea maximală a vitezei a constituit  $0,83\%/min$  (fig. 5.4), iar la intensitatea câmpului electric  $17800\text{ V/m}$  -  $1,09\%/min$  (fig. 5.10). Pentru temperatura de  $80^{\circ}\text{C}$  intensitatea câmpului electric  $17800\text{ V/m}$  - corespunzător  $0,42\%/min$  (fig. 5.4) și  $0,57\%/min$  (fig. 5.10).

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

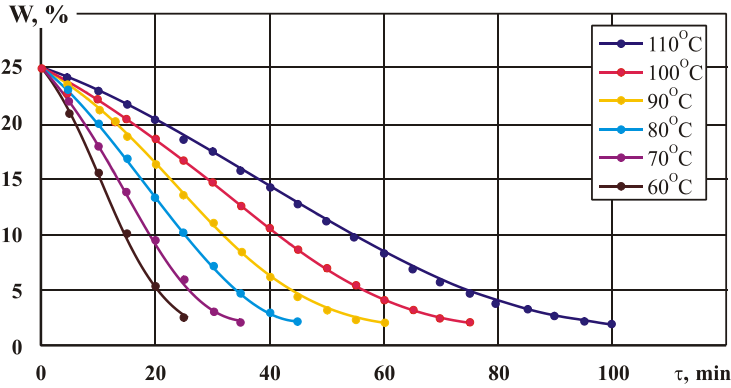


Fig.5.5. Curbele de uscare a cătinii albe cu aportului de energie combinat (prin convecție +UHF), intensitatea  $E=22,0$  KV/m pentru diferite temperaturi ale agentului de uscare

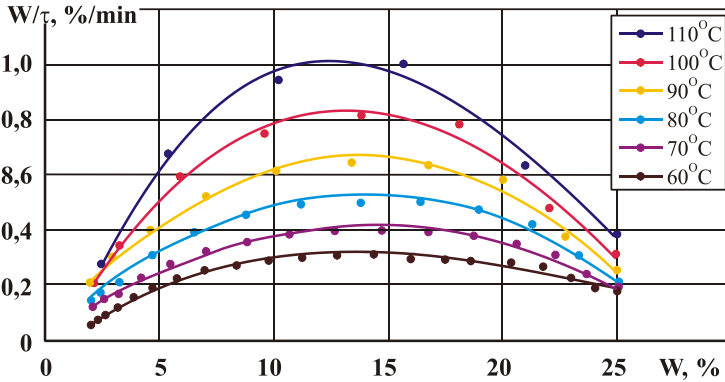


Fig.5.6. Curbele vitezei de uscare a cătinii albe cu aportului de energie combinat (prin convecție +UHF), intensitatea  $E=22,0$  KV/m pentru diferite temperaturi ale agentului de uscare



## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

La mărirea discretă a intensității câmpului electromagnetic și anume: 17,80; 24,2; 24,2 și 28,2 KV/m și menținerea temperaturii agentului de uscare constante valoarea creșterii vitezei maxime de uscare, nu este aceeași. Astfel, pentru temperatura agentului de uscare 60°C valoarea creșterii vitezei maxime în comparație cu viteza de uscare la intensitatea minimală a câmpului electromagnetic a constituit corespunzător de 1,2 (fig. 5.4 și fig. 5.6); 1,1 (fig. 5.6 și fig. 5.8) și 1,01 (fig. 5.8 și fig. 5.10) ori, iar pentru temperatura 110°C – de 1,21; 1,04 și 1,05 ori.

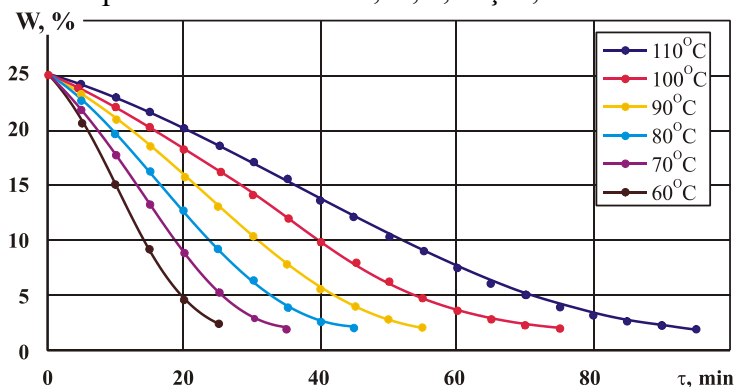


Fig.5.7. Curbele de uscare a cătinii albe cu aportului de energie combinat (prin convecție +UHF), intensitatea  $E=24,2$  KV/m pentru diferite temperaturi ale agentului de uscare

O creștere mai însemnată a valorii vitezei maxime de uscare se urmărește la temperatura agentului de uscare 110°C și intensitatea câmpului electromagnetic 28,2 KV/m și a constituit de 3,6 ori.

Dacă de comparat datele de deshidratare la temperatura și intensitatea câmpului electromagnetic minimală ( $T=60^{\circ}\text{C}$  și  $E=17,8$  KV/m în fig. 5.4), cu temperatura și intensitatea câmpului electromagnetic maximale ( $T=110^{\circ}\text{C}$  și  $E=28,2$  KV/m

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

în fig. 5.10), atunci procesul de deshidratare de la 25 % până la 2% s-a redus de 4,36 ori. În cazul dat reducerea duratei procesului de uscare a cătinii albe este cauzată de eliminarea mai intensivă a căldurii într-o unitate de volum sub acțiunea intensității câmpului electromagnetic și obținerii unor gradienti de temperatură și de presiune mai pronunțate.

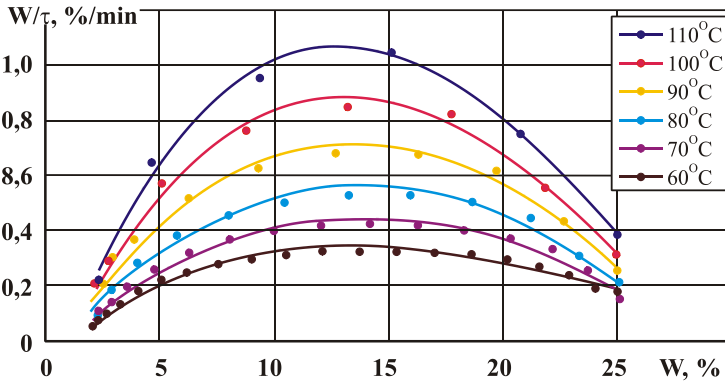


Fig.5.8. Curbele vitezei de uscare a cătinii albe cu aportului de energie combinat (prin convecție +UHF), intensitatea  $E=24,2$  KV/m pentru diferite temperaturi ale agentului de uscare

După cum se remarcă în [46, 141, 168, 207], aceasta este caracteristic pentru intensificări mari ale procesului de uscare, care sunt posibile numai la aplicarea câmpurilor electromagnetice de frecvență înaltă.

De aceea, viteza procesului de uscare a cătinii albe cu aplicarea curenților de frecvență înaltă crește rapid pe baza încălzirii materialului și după atingerea valorii maxime, începe să se micșoreze. După cum este prezentat în figurile 5.6, 5.8 și 5.10, la temperatura agentului de uscare constantă de 60°C, cu cât este mai mare intensitatea câmpului electromagnetic, cu atât

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

este mai mică perioada de creștere a și apoi de micșorare a vitezei procesului de uscare. Astfel, pentru intensitatea câmpului electromagnetic  $E=17,8$  KV/m, durata perioadei de creștere a vitezei de uscare a constituit 25 min. și 50 min. de micșorare a vitezei de uscare (fig. 5.3), iar pentru  $E=28,2$  KV/m – a constituit corespunzător 15 și 40 min. (fig. 5.9).

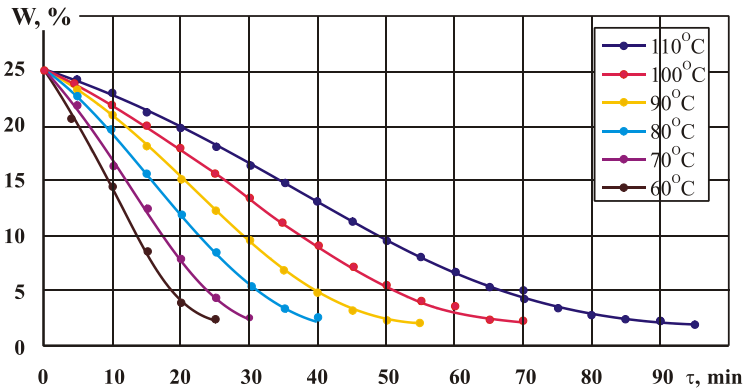


Fig.5.9. Curbele de uscare a cătinii albe cu aportului de energie combinat (prin convecție +UHF), intensitatea  $E=28,2$  KV/m pentru diferite temperaturi ale agentului de uscare

Cu creșterea intensității câmpului electromagnetic se mărește valoarea vitezei maxime de uscare. Astfel, dacă la intensitatea câmpului electromagnetic  $E=17,8$  KV/m viteza maximală a procesului de uscare a cătinii albe la temperatura agentului de uscare  $T=110^{\circ}\text{C}$  a constituit  $0,83\%/min$  (fig. 5.4), atunci la aceeași temperatură a agentului de uscare și pentru intensitatea câmpului electromagnetic de 22,0; 24,2 și 28,2 V/m constituie corespunzător 0,98; 1,04 și 1,17  $\%/min$ .

## Uscarea cătinii albe în câmp S.H.F.

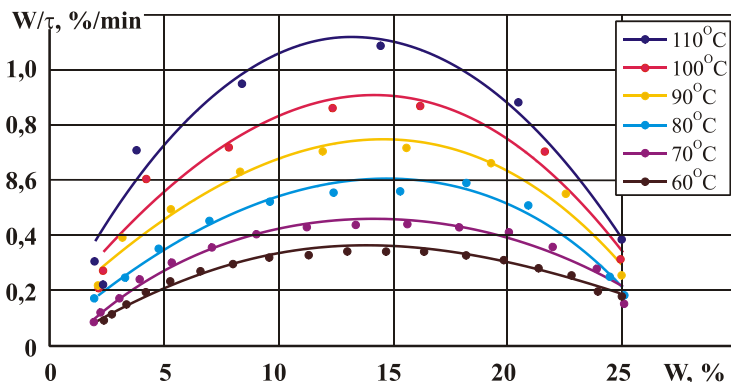


Fig.5.10. Curbele vitezei de uscare a cătinii albe cu aportului de energie combinat (prin convecție +UHF), intensitatea  $E=28,2$  KV/m pentru diferite temperaturi ale agentului de uscare

### 5.3. Compararea metodelor de uscare a cătinii albe după rezultatele cercetărilor

Rezultatele cercetărilor procesului de uscare a cătinii albe prin convecție (fig. 5.1 - 5.2) și combinată: prin convecție și în câmp electromagnetic de frecvență înaltă, (fig.5.3 – 5.10) au demonstrat că cătina albă este un produs biologic complex. De aceea studiarea metodei de uscare pentru astfel de produse, după cum este și cătina, este necesar de efectuat luând în considerație și aceste caracteristici.

Durata procesului de deshidratare a cătinii de la umiditatea de 89% până la cea de 2 % la uscare prin convecție cu temperatura agentului de uscare 110°C (fig. 5.1) a constituit 260 min., iar la aplicarea curenților de frecvență înaltă în combinație cu uscare prin convecție la aceeași temperatură a agentului de

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

uscare (fig. 5.9) și intensitatea câmpului electromagnetic  $E= 28,2$  KV/m a fost de 25 minute.

Aplicarea diferitor metode ale aportului de energie influențează corespunzător caracterul procesului de uscare. Astfel, la aportul de căldură prin convecție curba vitezei de uscare este alcătuită din două perioade – perioada cu viteză constantă de uscare și perioada cu viteza de uscare în descreștere. La uscare prin convecție în combinație cu curenții de frecvență înaltă, perioada cu viteza de uscare constantă practic lipsește.

Întreg procesul de uscare, de regulă, decurge în perioada vitezei de uscare în descreștere. Aceasta demonstrează, că aplicarea metodelor de uscare a cătinii mai intensive, cum este uscarea cu curenți de frecvență înaltă, intensitatea procesului este atât de înaltă, încât nu influențează asupra caracterului curbelor vitezelor de uscare.

După cum se observă din fig. 5.2, la aportul de căldură prin convecție, odată cu mărirea temperaturii agentului de uscare crește și viteza de uscare de la 0,18 %/min. până la 0,42%/min. La aplicarea energiei termice prin metoda combinată intensitatea deshidratării crește proporțional temperaturii aerului cald și intensității câmpului electromagnetic. Astfel, la temperatura agentului de uscare  $T=60^{\circ}\text{C}$  și intensitatea câmpului electromagnetic  $E=17,8$  KV/m ea a constituit 0,25 %/min. (fig. 5.4), iar la  $T=110^{\circ}\text{C}$  și  $E= 28,2$  KV/m (fig. 5.10) ea a crescut până la 1,17 %/min., adică s-a mărit de aproximativ de 4,7 ori. În comparație cu viteza de uscare minimală 0,18 %/min. ea s-a mărit de 6,5 ori.

Din graficele curbelor vitezei de uscare se observă, că la una și aceeași temperatură a agentului de uscare, pentru toate metodele de aport de energie prin metoda combinată descrise mai sus, viteza procesului se mărește de câteva ori. Astfel, pentru temperatura agentului de uscare  $T=110^{\circ}\text{C}$  viteza de uscare la

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

aportul de energie combinat s-a mărit de aproape de 3,0 ori (fig. 5.2 și 5.10).

Cu aplicarea metodelor mai intensive de uscare durata de încălzire până la o anumită temperatură se reduce. O încălzire mai rapidă se urmărește la aplicarea curenților de frecvență înaltă.

Este cunoscut că perioada vitezei în descreștere este însoțită de un consum maxim de energie, adică pentru cazul când zona de formare a aburului se adâncește în interiorul produsului apare necesitatea de energie suplimentară pentru a-l deplasa spre periferie. În general, aceasta se referă la produsele, ce posedă o coajă greu de pătruns. Către ele, în particular se referă și cătina albă.

Din cercetările efectuate se vede, că încălzirea cu curenți de frecvență înaltă însoțită cu cea prin convecție este cea mai perspectivă pentru procesul de deshidratare a fructelor de cătină albă. Cel mai optimal regim de uscare este uscarea combinată cu temperatura agentului de uscare  $T=110^{\circ}\text{C}$ , intensitatea câmpului electric  $E = 28,2 \text{ KV/m}$ . Totodată procesul de uscare se efectuează, după cum arată cercetările, în 2 etape. La prima etapă, până la obținerea umidității de 25%, trebuie de efectuat uscarea cu aportul de căldură prin convecție ( $T=110^{\circ}\text{C}$ ), la doua etapă, odată cu atingerea umidității de 25% umiditatea finală de 2 % se folosește aportul de căldură combinat, prin convecție la temperatura agentului termic de  $110^{\circ}\text{C}$  în combinație cu câmpurile electromagnetice de frecvență înaltă de intensitatea  $E=28,2 \text{ KV/m}$ .

Pentru acest regim durata procesului de uscare până la umiditatea finală a constituit 180 min. pentru uscarea prin convecție și 25 min. pentru uscarea combinată convecție +UHF, în total 205 minute la viteza de uscare maximală 1,17 %/min.

### **5.4. Influența parametrilor procesului de uscare a fructelor de cătină asupra calității produsului uscat**

La aprecierea uneia sau altei metode de prelucrare termică în scopul uscării, valoare decisivă revine indicilor calitativi ai produsului uscat.

Raționale pot fi numite numai acele metode și regimuri de uscare, în urma cărora alături de efectul economic necesar asigură și calitatea bună a produsului finit. La prelucrarea termică a fructelor de cătină albă împreună cu înlăturarea umidității se produc și un șir de schimbări fizico – chimice, chimice și biochimice. Anume ele și determină indicii calitativi ai produsului finit uscat.

Aceste schimbări ale componenței fizico-chimice depind în mare măsură de metoda aplicării temperaturii, temperatura materialului și durata acțiunii termice.

După cum s-a menționat mai anterior, substanțele de bază ce determină indicii calitativi ai cătinii sunt uleiul și acidul ascorbic (vitamina C).

De aceea, noi am determinat variația acestor parametri în funcție de durata de încălzire și parametrii principali ai procesului de uscare.

Deshidratarea produsului nostru s-a realizat prin 2 metode – prin convecție și combinat – prin convecție +UHF.

Rezultatele cercetărilor influenței diferitor parametri de uscare asupra conținutului de vitamina C în fructele de cătină albă sunt prezentate în tabelul 5.1.

**Conținutul de vitamina C  
în cătina albă uscată prin convecție**

Nr.	Temp., °C	Umidit., %		Durata de uscarea, min	Viteza max. de uscarea, %/min	Conținutul de vitamina C	
		inițială	finală			Total, % mg	Pierderi, % de la inițial
1	20	89,0	-	-	-	228,78	0
2	60	89,0	2,0	760	0,18	77,52	66,1
3	70	89,0	2,0	655	0,20	83,75	63,4
4	80	89,0	2,0	566	0,22	95,00	58,5
5	90	89,0	2,0	440	0,27	115,62	49,5
6	100	89,0	2,0	366	0,32	131,35	42,6
7	110	89,0	2,0	260	0,41	172,50	24,6

După cum se observă din tabelul 5.1, la uscarea prin convecție, cu creșterea temperaturii agentului de uscarea se produce micșorarea conținutului de vitamina C. Astfel, la temperatura inițială de 20 °C, conținutul de vitamina C a constituit 228,78 mg%, iar la atingerea temperaturii procesului de uscarea 60 °C conținutul de vitamina C a scăzut până la 77,52 mg%. În așa mod, pierderile de vitamina C de la valoarea inițială a constituit 66,1 %.



**Conținutul final de vitamina C în cătina albă la  
uscarea combinată (convecție +UHF) la E=17,8 KV/m**

Nr.	Temp., °C	Umid., %		Durata de uscare, min	Viteza max. de uscare, %/min	Conținutul de vitamina C	
		inițială	finală			Total, %mg	Pierderi, % de la inițial
1	20	25,0	-	-	-	125,12	0
2	60	25,0	2,0	120	0,25	90,11	28,0
3	70	25,0	2,0	90	0,32	94,29	24,6
4	80	25,0	2,0	75	0,42	97,84	21,8
5	90	25,0	2,0	60	0,55	100,16	19,9
6	100	25,0	2,0	45	0,68	103,43	17,3
7	110	25,0	2,0	35	0,83	107,18	14,3

Creșterea în continuare a temperaturii agentului de uscare în procesul de uscare conduce la micșorarea pierderilor de vitamina C. La temperaturile agentului de uscare 70, 80, 90, 100 și 110 pierderile de vitamina C constituie corespunzător 63,4; 58,5; 49,5; 42,6 și 24,6%.

Dacă prezentăm conținutul de vitamina C la aceste temperaturi, atunci ea corespunde 83,75; 95,00; 111,62; 131,35 și 172,50 mg/%

Reieșind din datele prezentate în tabelul 5.1 se poate de conchis că cu creșterea temperaturii agentului de uscare se micșorează durata procesului, deci și timpul de contact dintre cătină cu câmpurile termice, aceasta la rândul său conduce la micșorarea expunerii termice a vitaminei C. Astfel, la temperatura procesului de uscare de 60°C conținutul de vitamina C a constituit 77,52 mg%, adică pierderile sau exprimat în

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

66,1%, iar la temperatura de 110°C conținutul de vitamina C a constituit de acum 172,50 mg/%, adică pierderile s-au micșorat până la 24,6%.

Cercetarea aplicării U.H.F. în procesul de uscare a cătinii, cum a fost menționat în capitolul 5.2, trebuie de început de la umiditatea cătinii albe de 25 %.

Cercetările procesului de uscare au fost efectuate la valorile intensității câmpului electromagnetic de 17,8; 22,0; 24,2 și 28,2 KV/m.

În tabelul 5.2 este prezentată dinamica micșorării conținutului de vitamina C la diferite temperaturi ale agentului de uscare și intensitatea câmpului  $E=17,8$  KV/m.

După cum se observă din tabelul 5.2, odată cu creșterea temperaturii agentului de uscare se micșorează valoarea pierderilor de vitamina C. Astfel, la temperatura agentului de uscare 60°C pierderile, de la conținutul inițial de vitamina C (125,12 mg%), au constituit 28,0%, iar la temperatura de 110°C pierderile au constituit deja 14,3 %.

Variația temperaturii de uscare la valorile 60, 70, 80, 90, 100 și 110°C duce la obținerea următorului conținutul final de vitamina C 90,11; 94,29; 97,84; 100,16; 103,43 și 107,18 mg/%.

Dinamica micșorării conținutului de vitamina C pentru cazul intensității câmpului electromagnetic  $E = 28,2$  KV/m la diferite temperaturi este prezentat în tabelul 5.3.

Tabelul 5.3

**Conținutul final de vitamina C în cătina albă la  
uscarea combinată (convecție +UHF) la E=28200V/m**

Nr.	Temp., °C	Umid., %		Durata de uscure, min	Viteza max. de uscure, %/min	Conținutul de vitaminaC	
		inițială	finală			Total, %mg	Pierderi, % de la inițial
1	20	25,0	-	-	-	125,12	0
2	60	25,0	2,0	90	0,34	94,25	24,7
3	70	25,0	2,0	70	0,44	99,11	20,8
4	80	25,0	2,0	55	0,60	102,82	17,8
5	90	25,0	2,0	40	0,71	105,32	15,8
6	100	25,0	2,0	33	0,87	109,28	12,7
7	110	25,0	2,0	25	1,09	112,14	10,4

După cum se observă din tabelul 5.3., cu creșterea temperaturii agentului de uscure pierderile de vitamina C în cătină s-au micșorat. Așa dar, la temperatura agentului de uscure de 60°C pierderile au constituit 24,7%, iar la temperaturile 70, 80, 90, 100 și 110°C au constituit corespunzător 20,8; 17,8; 15,8; 12,7 și 10,4 %. După cum se observă o cantitate mai mică de pierderi de vitamină C avem la temperatura de 110°C și constituie 10,4 %. Aceasta se explică prin faptul că la așa temperatură înaltă contactul dintre produs și aer este mai mic.

Prin urmare, dacă la temperatura 60°C timpul de contact a atins valoarea de 90 minute, atunci la 110°C timpul de contact a constituit 25 minute. În așa fel durata de contact dintre produs și aer s-a redus de 3,6 ori.

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

După cum este cunoscut o substanță destul de valoroasă în cătină este uleiul. Conform datelor din literatură [34, 71,104, 215, 219, 220, 221] conținutul de ulei în miez este până la 8 %, iar în sâmbure până la 12 %.

Dinamica micșorării uleiului în cătină în procesul de uscare este prezentată în tabelele 5.4 – 5.6.

În tabelul 5.4 sunt prezentate rezultatele conținutului de ulei până la uscare în semințe și după, la aportul de căldură convectiv.

Tabelul 5.4

### Conținutul de ulei în semințele de cătină albă la uscarea prin convecție

Nr.	Temperatura, °C	Conținutul de ulei în sâmbură		Cantitatea de ulei migrat în pulpă, %	Cantitatea relativă de migrațiune, %
		Până la uscare, %	După uscare, %		
1	20	11,81	-	-	-
2	60	11,81	8,23	2,58	30,3
3	70	11,81	8,66	3,15	26,7
4	80	11,81	9,18	2,63	22,3
5	90	11,81	9,48	2,33	19,7
6	100	11,81	9,75	2,06	17,4
7	110	11,81	10,01	1,80	15,2

Cu creșterea temperaturii agentului de uscare de la 60°C până la 110 °, după cum se observă din tabelul 5.4 are loc migrarea uleiului din semințe în miez. Așa dar, pentru temperatura de 60°C, migrarea uleiului din semințe a constituit 3,58 % de la conținutul inițial, iar la temperaturile 70, 80, 90, 100 și 110 °C acesta a constituit corespunzător 3,15; 2,63; 2,33;

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

2,06 și 1,80 %. Micșorarea efectului de migrare a uleiului cu creșterea temperaturii se explică prin reducerea duratei totale a procesului de uscare (tabelul 5.1).

La temperaturi mici cantitatea totală de ulei migrat are o valoare relativ mare decât la temperaturi mari. Așa deci la temperatura de 60 °C migrarea uleiului a constituit mai mult de 30%, iar la temperatura 110°C numai 15,2%.

La cercetarea uscării combinate (convecție +UHF) migrarea uleiului, la unii și aceeași parametri ai procesului, s-a micșorat.

Uscarea combinată, conform datelor capitolului 3 și 5.2, a fost începută pentru cătină de la umiditatea de 25%. Schimbarea conținutului de ulei în procesul de uscare a cătinii la aportul de căldură combinat pentru cazul intensității câmpului electric  $E=17,8$  KV/m este prezentată în tabelul 5.5.

Tabelul 5.5

### **Conținutul de ulei în semințele de cătină albă la uscarea combinată (convecție +UHF) pentru $E=17,8$ KV/m**

Nr.	Temp, °C	Conținutul de ulei în sâmbură		Cantitatea de ulei migrat în pulpă, %	Cantitatea relativă de migrațiune, %
		Până la uscare, %	După uscare, %		
1	20	11,81	-	-	-
2	60	9,15	8,44	3,37	28,5
3	70	9,31	8,78	3,03	25,6
4	80	9,66	9,32	2,49	21,1
5	90	9,83	9,60	2,21	18,7
6	100	10,51	9,94	1,87	15,8
7	110	10,82	10,28	1,53	13,0

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

Cu creșterea temperaturii agentului de uscare, ca și în cazul anterior (tabelul 5.4) cantitatea de ulei migrat se micșorează. Așa dar, la temperatura de 60 °C migrarea uleiului constituie 28,5%, iar la 110 °C – 13,0%. În acest fel la temperatura de 70, 80, 90, 100 și 110 °C migrarea uleiului, la  $E=17800$  °C/m (tabelul 5.5) a constituit corespunzător 25,6; 21,1; 18,7; 15,8 și 13,0%

Cu creșterea intensității câmpului electric până la 28,2 KV/m migrarea uleiului începe și mai mult cu creșterea temperaturii procesului de uscare a cătinii albe (tabelul 5.6).

Tabelul 5.6

### **Conținutul de ulei în semințele de cătină albă la uscare combinată (convecție +UHF) pentru $E=28,2$ KV/m**

Nr.	Temp, °C	Conținutul de ulei în sâmbură		Cantitatea de ulei migrat în pulpă, %	Cantitatea relativă de migrațiune, %
		Până la uscare, %	După uscare, %		
1	20	11,81	-	-	-
2	60	9,44	8,65	3,16	26,8
3	70	9,72	9,01	2,80	23,7
4	80	10,02	9,56	2,25	19,1
5	90	10,44	10,14	1,67	14,4
6	100	10,74	10,52	1,29	10,9
7	110	11,10	10,80	1,01	8,6

Așa dar, pentru temperatura de 60°C migrarea a constituit, în unități absolute, 3,16 %, iar la 110 °C – 1,01 %. În procente, a constituit pentru temperaturile 90, 70, 80, 90, 100 și 110 °C corespunzător 26,8; 23,7; 19,1; 14,1; 10,9 și 8,6 %

Comparând datele după migrarea uleiului în procesul de uscare a cătinii la diferite aporturi de energie (tabelul 5.7) se

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

poate de spus că cercetarea aportului de energie convectiv (convecție și UHF) este unul din cel mai economic. Pierderile cele mai mici de ulei din semințele de cătină în procesul ei de uscare au fost la  $E=28,2$  KV/m și temperatura  $110$  °C.

Tabelul 5.7

### **Migrarea uleiului din semințele de cătină în pulpă la diferite aporturi de energie pentru conținutul inițial de 11,81%**

Nr.	Temp., °C	Metoda de uscare/ migrarea uleiului,%					
		convecție		Convecție +UHF			
				E=17.8 KV/m		E=28.2 KV/m	
		abs.	relat.	abs.	relat.	abs.	relat.
1	60	33,58	30,3	3,37	28,5	3,16	26,8
2	70	3,15	26,7	3,03	25,6	2,80	23,7
3	80	2,63	22,3	2,49	21,1	2,25	19,1
4	90	2,33	19,7	2,21	18,7	1,67	14,1
3	100	2,06	17,4	1,87	15,8	1,29	10,9
6	110	1,80	15,2	1,53	13,0	1,01	8,6

Comparând datele obținute pentru cinetica uscării cătinii albe și indicii calitativi pentru diferite aporturi de căldură se poate conchide că mai eficientă este uscarea cătinii albe prin metoda combinată la intensitatea câmpului electric de  $E=28,2$  KV/m și temperatura  $110$ °C.

### 6. DESCRIEREA MATEMATICĂ A PROCESULUI DE USCARE A CĂTINII ALBE CU PRIN CONVECȚIE ȘI U.H.F.

Structura complexă a cătinii albe și forma geometrică nestandard fac dificilă descrierea matematică a procedeului combinat pentru astfel de obiect. În lucrare, cu unele ipoteze simplificatoare, s-a încercat să elaborăm un model matematic a procesului de uscare pentru sisteme eterogene complexe, cum este cătina albă.

Reieșind din forma celulei de lucru care se aseamănă cu două sfere amplasate coaxial cum poate fi presupusă cătina albă, și în urma analizei bibliografice, s-a constatat, că transferul de căldură și masă pentru procedeul de uscare prin convecție a fost studiat și elaborat de A.V.Lăcov ș.a. [122, 126], dar influența asupra acestui procesu a sursai interne de căldură nu s-a studiat.

În lucrare s-a încercat de a crea un model matematic a procesului de uscare a cătinii albe anume pentru aplicarea combinată a energiei.

Transferul de căldură în produs se efectuează datorită forței motoare termice, transferului substanței, și de asemenea sursei acțiunii interne de căldură. Transferul substanței se datorează forțelor motoare termice și de masă. Reieșind din acestea pentru sfera coaxială nemărginită vom avea următoarele ecuații:



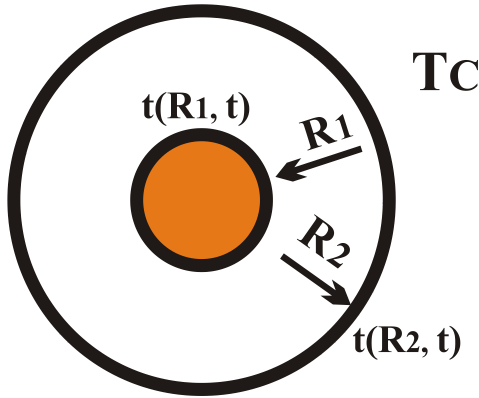


Fig. 6.1. Prezentarea geometrică a cătinii albe.

Sarcina modelului matematic pentru corpul sferic (sferă în sferă):

$$\frac{\partial(rt_1(r,t))}{\partial\tau} = a_{q_1} \frac{\partial^2(rt_1(r,\tau))}{\partial r^2} + \frac{\varepsilon r'_1 c'_{T_1}}{c_{q_1}} \cdot \frac{\partial[r\theta_1(r,\tau)]}{\partial\tau} + \frac{Qr}{c_{q_1}\rho_1} \quad (6.1)$$

$$\frac{\partial r(\theta_1(r,\tau))}{\partial\tau} = a_{m_1} \frac{\partial^2(r\theta_1(r,\tau))}{\partial r^2} + a_{m_1} \delta_1 \cdot \frac{\partial^2[rt_1(r,\tau)]}{\partial\tau^2} \quad (6.2)$$

Condiția necesară pentru ecuațiile 6.1 și 6.2 -  $0 \leq r \leq R_1$ :

$$\frac{\partial(rt_2(r,\tau))}{\partial\tau} = a_{q_1} \frac{\partial^2(rt_2(r,\tau))}{\partial r^2} + \frac{\varepsilon r'_2 c'_{T_2}}{c_{q_2}} \cdot \frac{\partial[r\theta_2(r,\tau)]}{\partial\tau} + \frac{Qr}{c_{q_2}\rho_2} \quad (6.3)$$

$$\frac{\partial r(\theta_2(r, \tau))}{\partial \tau} = a_{m_2} \frac{\partial^2 (r\theta_2(r, \tau))}{\partial r^2} + a_{m_2} \delta_2 \cdot \frac{\partial^2 [rt_2(r, \tau)]}{\partial \tau^2} \quad (6.4)$$

Condiția necesară pentru ecuațiile 6.3 și 6.4 -  $R_1 \leq r \leq R_2$   
 în care  $a_q$ ,  $a_m$  - respectiv coeficienții de difuziune de temperatură  
 și de potențial, în  $m^2/s$ ;

$\varepsilon$  - criteriul transformării de fază;

$r'$  - căldura latentă de vaporizare, în  $kJ/kg$ ;

$c'_T$ ,  $c_q$  - capacitatea specifică masică,  $kg/(K \cdot M)$  și termică  
 specifică,  $kJ/(kg \cdot K)$ ;

$Q$  - sursa internă de căldură, în  $Wt/m^3$ ;

$\rho$  - densitatea părții uscate a corpului umed, în  $kg/m^3$ ;

$\delta$  - coeficientul Sore pentru corpul umed, în  $K^{-1}$ ;

$\theta$  - potențialul transferului de umiditate, în  $^{\circ}M$ .

Condițiile inițiale:

$$\begin{aligned} t_1(r, 0) = t_2(r, 0) = T_{in} \\ \theta_1(r, 0) = \theta_{1in}; \quad \theta_2(r, 0) = \theta_{2in} \end{aligned} \quad (6.5)$$

Condițiile de simetrie:

$$\begin{aligned} \frac{\partial t_1(0, \tau)}{\partial r} = \frac{\partial t_2(R_1, \tau)}{\partial r} = 0 \\ \frac{\partial \theta_1(0, \tau)}{\partial r} = \frac{\partial \theta_2(R_1, \tau)}{\partial r} = 0 \end{aligned} \quad (6.6)$$

$$t_1(R_1, \tau) = t_2(R_1, \tau); \quad -\Delta\theta_1(R_1, \tau) = \theta_2(R_1, \tau) \quad (6.7)$$

## Uscarea cătini albe în camp S.H.F.

La încălzirea corpurilor capilaro-poroase, când schimbul de căldură a suprafeței corpului cu mediul înconjurător se efectuează după legea convectivă, condițiile de frontieră ale transferului de căldură și de masă vor fi:

$$t_1(R_1, \tau) = t_2(R_1, \tau); \Delta\theta_1(R_1, \tau) = \theta_2(R_1, \tau) \quad (6.7)$$

$$\lambda_{q1} \frac{\partial t_1(R_1, \tau)}{\partial r} + (1 - \varepsilon_1)r'_1 j_{m1} = \lambda_{q2} \frac{\partial t_2(R_1, \tau)}{\partial r} \quad (6.8)$$

$$\Delta j_{m1} = j_{m2}$$

$$j_{m1} = \beta_1(\theta_1(R_1, \tau) - \theta_{1p})$$

$$j_{m2} = \beta_2(\theta_2(R_1, \tau) - \theta_{2p})$$

Pe suprafața exterioară:

$$\begin{aligned} -\lambda_{q2} \frac{\partial t_2(R_2, \tau)}{\partial r} + \alpha_2 [T_s - t_2(R_2, \tau)] - \\ - (1 - \varepsilon_2)r'_2 \beta_2 (\theta_2(R_2, \tau) - \theta_{1p}) = 0 \end{aligned} \quad (6.9)$$

$$\lambda_{m2} \left[ \frac{\partial \theta_2(R_2, \tau)}{\partial r} + \delta_2 \frac{\partial t_2(R_2, \tau)}{\partial r} \right] + \beta_2 (\theta_2(R_2, \tau) - \theta_{2p}) = 0 \quad (6.10)$$

în care:  $\lambda_{q1}$  - respectiv conductivitatea termică, în W/(m·K)

$\lambda_{m1}$  - conductivitatea masică, în kg/(m<sup>2</sup>·s);

$\alpha, \beta$  - corespunzător coeficienții transferului de căldură, în W/(m<sup>2</sup>·K) și de masă, în kg/(m<sup>2</sup>·s<sup>2</sup>·M).

Ele reprezintă ecuațiile bilanțului termic și a bilanțului masic aplicat suprafețelor corpului.

Condițiile inițiale sunt determinate de legea distribuiri temperaturii și potențialului transferului de masă în momentul inițial.

**Rezolvarea sarcinii:**

Introducem afirmațiile:

$$L[rt(r, \tau)] = \int_0^{\infty} rt(r, \tau) e^{-pt} dt = V_L(r, p) \quad (6.11)$$

$$L[r\theta(r, \tau)] = \int_0^{\infty} r\theta(r, \tau) e^{-pt} dt = U_L(r, p) \quad (6.12)$$

Pentru rezolvarea acestei probleme ne folosim de transformarea Laplace, pentru aceasta introducem următoarele notații distinctive.

Ecuția (1) se transcrie după Laplace în felul următor:

$$\begin{aligned} pV_{1L}(r, p) - rt_1(0) = \\ = a_{q_1} V''_{1L}(r, p) + \frac{\varepsilon_1 r_1' c_T'}{c_{q_1}} pU_{1L}(r, p) - \frac{\varepsilon_1 r_1' c_T'}{c_{q_1}} \theta_1(0) + \frac{Qr}{pc_{q_1} \rho_1} = 0 \end{aligned}$$

Împărțim ecuația dată la  $a_{q_1}$ :

$$\begin{aligned} V''_{1L}(r, p) - \frac{p}{a_{q_1}} V_{1L}(r, p) + \frac{\varepsilon_1 r_1' c_{T1}'}{c_{q_1} a_{q_1}} pU_{1L}(r, p) + \\ + \frac{Qr}{pc_{q_1} \rho_1 a_{q_1}} + \frac{rt_1(0)}{a_{q_1}} - \frac{\varepsilon_1 r_1' c_{T1}'}{c_{q_1} a_{q_1}} r\theta_1(0) = 0 \end{aligned} \quad (6.13)$$

Conform Laplace ecuația (6.2) va fi:

$$pU_{1L}(r, p) - r\theta_1(0) = a_{m_1} U''_{1L}(r, p) + a_{m_1} \delta_1 V''_1(r, p)$$

Împărțim ecuația dată la  $a_{m1}$ :

$$U''_{1L}(r, p) - \frac{p}{a_{m1}} U_{1L}(r, p) + \delta_1 V''_{1L}(r, p) + \frac{r}{a_{m1}} \theta_1(0) = 0 \quad (6.14)$$

Pentru stratul exterior ecuațiile (6.3) și (6.4) după transferările Laplace va fi următoarele:

$$\begin{aligned} V''_{2L}(r, p) - \frac{p}{a_{q2}} V_{2L}(r, p) + \frac{\varepsilon_2 r_2' c'_{T2}}{c_{q2} a_{q2}} p U_{2L}(r, p) + \\ + \frac{Qr}{pc_{q2} \rho_2 a_{q2}} + \frac{rt_2(0)}{a_{q2}} - \frac{\varepsilon_2 r_2' c'_{T2}}{c_{q2} a_{q2}} r \theta_2(0) = 0 \end{aligned} \quad (6.15)$$

$$U''_{2L}(r, p) - \frac{p}{a_{m2}} U_{2L}(r, p) + \delta_2 V''_{2L}(r, p) + \frac{r}{a_{m2}} \theta_2(0) = 0 \quad (6.16)$$

Din ecuația (6.13) determinăm  $U_{1L}(r, p)$  și derivata a doua  $U''_{1L}(r, p)$ :

$$\begin{aligned} U_{1L}(r, p) = \left( -V''_{1L}(r, p) + \frac{p}{a_{q1}} V_{1L}(r, p) - \frac{Qr}{pc_{q1} \rho_1 a_{q1}} - \right. \\ \left. - \frac{rt_1(0)}{a_{q1}} + \frac{\varepsilon_1 r_1' c'_{T1}}{c_{q1} a_{q1}} \theta_1(0) \right) \frac{c_{q1} a_{q1}}{\varepsilon_1 r_1' c'_{T1} p} \end{aligned} \quad (6.17)$$

$$U''_{1L}(r, p) = \left( -V_{1L}{}^{IV}(r, p) + \frac{p}{a_{q1}} V''_{1L}(r, p) \right) \frac{c_{q1} a_{q1}}{\varepsilon_1 r_1' c'_{T1} p} \quad (6.18)$$

Înlocuim (6.17) și (6.18) în (6.14) și obținem:

$$\begin{aligned} & \frac{c_{q_1} a_{q_1}}{\varepsilon_1 r_1' c_{T1}' p} \left[ -V_{1L}^{IV}(r, p) + \frac{p}{a_{q_1}} V_{1L}''(r, p) - \frac{c_{q_1} p a_{q_1}}{a_{m_1} \varepsilon_1 r_1' c_{T1}' p} * \right. \\ & * \left( -V_{1L}''(r, p) + \frac{p}{a_{q_1}} V_{1L}(r, p) - \frac{Qr}{pc_q \rho_1 a_{q_1}} - \frac{rt_1(0)}{a_{q_1}} + \right. \\ & \left. \left. + \frac{\varepsilon_1 r_1' c_{T1}'}{c_{q_1} a_{q_1}} r \theta_1(0) \right) \right] + \delta_1 V_{1L}''(r, p) + \frac{r}{a_{m_1}} \theta_1(0) = 0 \end{aligned} \quad (6.19)$$

$$\begin{aligned} & V_{1L}^{IV}(r, p) - V_{1L}''(r, p) \left( \frac{p}{a_{q_1}} + \frac{p}{a_{m_1}} + \frac{\delta_1 \varepsilon_1 r_1' c_{T1}'}{c_{q_1} a_{q_1}} p \right) + \\ & + \frac{p^2}{a_{q_1} a_{m_1}} V_{1L}(r, p) - \frac{rQ}{a_{m_1} \rho_1 c_{q_1} a_{q_1}} - \frac{prt(0)}{a_{m_1} a_{q_1}} = 0 \end{aligned}$$

Din ecuația (6.15) determinăm  $U_{2L}(p)$  și derivata a doua  $U''_{2L}(p)$ :

$$\begin{aligned} U_2(r, p) = & \left[ -V_{2L}''(r, p) + \frac{p}{a_{q_2}} V_{2L}(r, p) - \frac{Qr}{pc_{q_2} \rho_2 a_{q_2}} - \frac{rt_2(0)}{a_{q_2}} + \right. \\ & \left. + \frac{\varepsilon_2 r_2' c_{T2}'}{c_{q_2} a_{q_2}} \theta_2(0) \right] \cdot \frac{c_{q_2} a_{q_2}}{\varepsilon_2 r_2' c_{T2}' p} \end{aligned} \quad (6.20)$$

**Uscarea cătini albe în camp S.H.F.**

---

$$U_{2l}''(r, p) = \left( -V_{2l}^{VI}(r, p) + \frac{p}{a_{q_2}} V_{2l}''(r, p) \right) \cdot \frac{c_{q_2} a_{q_2}}{\varepsilon_2 r_2' c_{T_2}' p} \quad (6.21)$$

Introducem ecuațiile (6.20) și (6.11) în (6.16):

$$V_{2L}^{IV}(r, p) - V_{2l}''(r, p) \left( \frac{p}{a_{q_2}} + \frac{p}{a_{m_2}} + \frac{\delta_2 \varepsilon_2 r_2' c_{T_2}'}{c_{q_2} a_{q_2}} p \right) + \frac{p^2}{a_{q_2} a_{m_2}} V_{2L}(r, p) - \frac{rQ}{a_{m_2} \rho_2 c_{q_2} a_{q_2}} - \frac{prt(0)}{a_{m_2} a_{q_2}} = 0 \quad (6.22)$$

Am obținut o ecuație diferențială de gradul patru care are coeficienți variabili. Pentru a o rezolva o vom transcrie în felul următor:

$$Y^{IV}(r) - AY''(r) + BY(r) - Cr = 0$$

Integrala totală a ecuației diferențiale (6.19) se determină, dacă încă o dată utilizăm transferul Laplace pe coordonata r.

Ecuația (6.19) se rezolvă în felul următor:

$$V_{L2}(r, p) = \frac{rt_2(0)}{p} + \frac{rQ_2}{\rho_2 c_{q_2} p^2} + C_{21} e^{\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_{1r}} + C_{22} e^{\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_{2r}} + C_{23} e^{-\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_{1r}} + C_{24} e^{-\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_{2r}} \quad (6.23)$$

în care  $C_1, C_2, C_3, C_4$  sunt constante ale ecuației (6.23)

$$V_j^2 = \frac{I}{2} \left[ \left( I + F_e + \frac{I}{Lu} \right) + (-I)^j \sqrt{\left( I + F_e + \frac{I}{Lu} \right)^2 - \frac{4}{Lu}} \right] \quad (6.24)$$

în care:  $j=1,2$  Fe, Lu- corespunzător criterii Feodorov și criterii de inerție.

Pentru ca să determinăm  $U_{L1}(r,p)$  găsim  $V''_{L1}(r,p)$ ,  $V'_{L1}(r,p)$ :

$$\begin{aligned} V'_{L1}(r,p) &= \frac{t(0)}{p} + \frac{Q}{\rho_1 c_{q_1} p^2} + C_{11} \sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_1 e^{\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_1 r} + \\ &+ C_{12} \sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_2 e^{\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_2 r} - C_{13} \sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_1 e^{-\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_1 r} - C_{14} \sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_2 e^{-\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_2 r} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V''_{L1}(r,p) &= C_{11} \frac{p}{a_{q_1}} V_1^2 e^{\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_1 r} + C_{12} \frac{p}{a_{q_1}} V_2^2 e^{\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_2 r} + \\ &+ C_{13} \frac{p}{a_{q_1}} V_1^2 e^{-\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_1 r} + C_{14} \frac{p}{a_{q_1}} V_2^2 e^{-\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_2 r} \end{aligned}$$

Din ecuația (6.13) obținem  $U_L(r,p)$ :



$$U_{L_1}(r, p) = \left( -V''_{L_1}(r, p) + \frac{p}{a_{q_1}} V_{L_1}(r, p) - \frac{Qr}{pc_{q_1} \rho_1 a_{q_1}} - \frac{rt_1(0)}{a_{q_1}} + \frac{\varepsilon r'_T r \theta_1(0)}{c_{q_1} a_{q_1}} \right) \frac{c_{q_1} a_{q_1}}{\varepsilon r'_T p}$$

În ecuația dată înlocuim  $V''_{L_1}(r, p)$ ,  $V'_{L_1}(r, p)$ :

$$U_{L_1}(r, p) = \left( -C_{11} \frac{p}{a_{q_1}} V_1^2 e^{\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_1 r} - C_{12} \frac{p}{a_{q_1}} V_2^2 e^{\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_2 r} - C_{13} \frac{p}{a_{q_1}} V_1^2 e^{-\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_1 r} - C_{14} \frac{p}{a_{q_1}} V_2^2 e^{-\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_2 r} + \frac{rt(0)}{a_{q_1}} + \frac{rQ}{\rho_1 c_{q_1} p a_{q_1}} + C_{11} \frac{p}{a_{q_1}} e^{\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_1 r} + C_{12} \frac{p}{a_{q_1}} e^{\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_2 r} + C_{13} \frac{p}{a_{q_1}} e^{-\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_1 r} + C_{14} \frac{p}{a_{q_1}} e^{-\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_2 r} - \frac{Qr}{pc_{q_1} \rho_1 a_{q_1}} - \frac{rt_1(0)}{a_{q_1}} + \frac{\varepsilon r'_T r \theta_1(0)}{c_{q_1} a_{q_1}} \right) \frac{c_{q_1} a_{q_1}}{\varepsilon r'_T p}$$

## Uscarea cătini albe în camp S.H.F.

---

$$\begin{aligned}
 U_{L1}(r, p) = & \frac{r\theta_1(0)}{p} + C_{11} \frac{c_{q_1}}{\varepsilon_1 r_1 c_{T1}} (1 - V_1^2) e^{\sqrt{\frac{p}{a_{q1}}} V_1 r} + \\
 & + C_{12} \frac{c_{q_1}}{\varepsilon_1 r_1 c_{T1}} (1 - V_2^2) e^{\sqrt{\frac{p}{a_{q1}}} V_2 r} + C_{13} \frac{c_{q_1}}{\varepsilon_1 r_1 c_{T1}} (1 - V_1^2) e^{-\sqrt{\frac{p}{a_{q1}}} V_1 r} + \quad (6.25) \\
 & + C_{14} \frac{c_{q_1}}{\varepsilon_1 r_1 c_{T1}} (1 - V_2^2) e^{-\sqrt{\frac{p}{a_{q1}}} V_2 r}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_{L2}(r, p) = & \frac{r\theta_2(0)}{p} + C_{21} \frac{c_{q_2}}{\varepsilon_2 r_2 c_{T2}} (1 - V_1^2) e^{\sqrt{\frac{p}{a_{q1}}} V_1 r} + \\
 & + C_{22} \frac{c_{q_2}}{\varepsilon_2 r_2 c_{T2}} (1 - V_2^2) e^{\sqrt{\frac{p}{a_{q1}}} V_2 r} + C_{23} \frac{c_{q_2}}{\varepsilon_2 r_2 c_{T2}} (1 - V_1^2) e^{-\sqrt{\frac{p}{a_{q1}}} V_1 r} + \quad (6.26) \\
 & + C_{24} \frac{c_{q_2}}{\varepsilon_2 r_2 c_{T2}} (1 - V_2^2) e^{-\sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_2 r}
 \end{aligned}$$

Constantele  $C_{k_i}$  le determinăm din condiții de frontiere și condiții simetrice:

$$t'_{L1}(0, p) = t'_{L2}(R_1, p) \quad \theta_{1L}(0, p) = \theta_{2L}(R_1, p)$$

$$V_{1L}(0, p) = 0 \quad (6.27)$$

$$V_{2L}(R_1, p) = 0 \quad (6.28)$$

## Uscarea cătini albe în camp S.H.F.

---

Analitic scriem condițiile pentru potențialul de mase modificate:

$$U_{1L}(0, p) = 0 \quad (6.29)$$

$$U_{2L}(R_1, p) = 0 \quad (6.30)$$

$$\begin{aligned} V_{L1}(r, p) - \frac{rt_1(0)}{p} - \frac{rQ}{\rho_1 c_{q_1} p^2} = \\ = B_{11} sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_1 r + B_{21} sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_2 r \end{aligned} \quad (6.31)$$

$$\begin{aligned} U_{L1}(r, p) - \frac{r\theta_1(0)}{p} = B_{11} \frac{c_{q_1}}{\varepsilon_1 r_1' c_{T1}} (1 - V_1^2) sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_1 r + \\ + B_{21} \frac{c_{q_1}}{\varepsilon_1 r_1' c_{T1}} (1 - V_2^2) sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_2 r \end{aligned} \quad (6.32)$$

$$\begin{aligned} V_{L2}(r, p) - \frac{rt_2(0)}{p} - \frac{rQ}{\rho_2 c_{q_2} p^2} = \\ = B_{12} sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_1 r + B_{22} sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_2 r \end{aligned} \quad (6.33)$$

$$\begin{aligned}
 U_{L2}(r, p) - \frac{r\theta_2(0)}{p} &= B_{12} \frac{c_{q_2}}{\varepsilon_2 r_2' c_{T2}'} (1 - V_1^2) sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_1 r + \\
 &+ B_{22} \frac{c_{q_2}}{\varepsilon_2 r_2' c_{T2}'} (1 - V_2^2) sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_2 r
 \end{aligned} \tag{6.34}$$

Cu evidența (6.13) și (6.14):

$$t_{L1}(r, p) - \frac{t_1(0)}{p} - \frac{Q}{\rho_1 c_{q1} p^2} = B_{11} \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q1}}} V_1 r}{r} + B_{21} \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q1}}} V_2 r}{r} \tag{6.35}$$

$$\begin{aligned}
 \theta_{L1}(r, p) - \frac{\theta_1(0)}{p} &= B_{11} \frac{c_{q1}}{\varepsilon_1 r_1' c_{T1}'} (1 - V_1^2) \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q1}}} V_1 r}{r} + \\
 &+ B_{21} \frac{c_{q1}}{\varepsilon_1 r_1' c_{T1}'} (1 - V_2^2) \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q1}}} V_2 r}{r}
 \end{aligned} \tag{6.36}$$

$$t_{L2}(r, p) - \frac{t_2(0)}{p} - \frac{Q}{\rho_2 c_{q2} p^2} = B_{12} \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_1 r}{r} + B_{22} \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_2 r}{r} \tag{6.37}$$

$$\begin{aligned} \theta_{L_2}(r, p) - \frac{\theta_2(0)}{p} = & B_{12} \frac{c_{q_2}}{\varepsilon_2 r_2' c_{T2}'} (1 - V_1^2) \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_1 r}{r} + \\ & + B_{22} \frac{c_{q_2}}{\varepsilon_2 r_2' c_{T2}'} (1 - V_2^2) \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_2 r}{r} \end{aligned} \quad (6.38)$$

Coeficienții  $B_{11}, B_{21}$  se determină din condițiile (6.8), (6.9):

$$\lambda_{q_1} t'_{1L}(r, p) + (1 - \varepsilon_1) r_1 \beta_1 \left( \theta_{1L}(R_1, p) - \frac{Q_{1p}}{p} \right) = \lambda_{q_2} t'_{2L}(r, p) \quad (6.39)$$

$$\beta_1 \left( \theta_{1L}(R_1, p) - \frac{Q_{1p}}{p} \right) = \beta_2 \left( \theta_{L_2}(R_1, p) - \frac{Q_{2p}}{p} \right) \quad (6.40)$$

$$\begin{aligned} t_{1L}(R_1, p) &= t_{2L}(R_1, p) \\ \theta_{1L}(R_1, p) &= \theta_2(R_1, p) \end{aligned} \quad (6.41)$$

$$\lambda_{q_1} t'_{1L}(R_1, p) + (1 - \varepsilon_1) r_1 \beta_1 \left( \theta_{1L}(R_1, p) - \frac{\theta_{1p}}{p} \right) = \lambda_{q_2} t'_{1L}(R_1, p)$$

**Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

$$t'_{lL}(R_1, p)(\lambda_{q1} - \lambda_{q2}) + (1 - \varepsilon_1)r_1\beta_1\left(\theta_{lL}(R_1, p) - \frac{\theta_{1p}}{p}\right) = 0 \quad (6.42)$$

$$\left[\beta_1\left(\theta_{L1}(R_1, p) - \frac{\theta_{1p}}{p}\right)\right] = \beta_2\left(\theta_{L2}(R_1, p) - \frac{\theta_{2p}}{p}\right) \quad (6.43)$$

Din ecuația (6.35) determinăm  $t'_{L1}(r, p)$ :

$$t'_{L1}(r, p) = -B_{11}\sqrt{\frac{p}{a_{q1}}}V_{11}\frac{ch\sqrt{\frac{p}{a_{q1}}}V_{11}R_1}{R_1} + \frac{B_{11}sh\sqrt{\frac{p}{a_{q1}}}V_{11}R_1}{R_1^2} - \\ - B_{21}\sqrt{\frac{p}{a_{q1}}}V_{21}\frac{ch\sqrt{\frac{p}{a_{q1}}}V_{21}R_1}{R_1} + \frac{B_{21}sh\sqrt{\frac{p}{a_{q1}}}V_{21}R_1}{R_1^2} \quad (6.44)$$

Înlocuind ecuația (6.44) și (6.36) în (3.42):

$$\begin{aligned}
 & B_{11} \left[ -\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_{11} (\lambda_{q_1} - \lambda_{q_2}) - \frac{ch \sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_{11} R_1}{R_1} + (\lambda_{q_1} - \lambda_{q_2}) \cdot \right. \\
 & \left. \cdot \frac{ch \sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_{11} R_1}{R_1^2} + (1 - \varepsilon_1) r_1' \beta_1 \frac{c_{q_1}}{\varepsilon_1 r_1' c_T'} (1 - V_1^2) - \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_{11} R_1}{R_1} \right] + \\
 & + B_{21} \left[ -\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_{21} (\lambda_{q_1} - \lambda_{q_2}) - \frac{ch \sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_{21} R_1}{R_1} + (\lambda_{q_1} - \lambda_{q_2}) \cdot \right. \\
 & \left. \cdot \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_{21} R_1}{R_1^2} + (1 - \varepsilon_1) r_1' \beta_1 \frac{c_{q_1}}{\varepsilon_1 r_1' c_T'} (1 - V_2^2) - \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_2 R_1}{R_1} \right] + \\
 & + (1 - \varepsilon_1) r_1' \beta_1 \left( \frac{\theta_1(0)}{p} - \frac{\theta_1 ec}{p} \right) = 0 \tag{6.45}
 \end{aligned}$$

Transformăm ecuația (43) și înlocuim în ecuația (36):

**Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

$$\begin{aligned}
 & \theta_{1L}(\beta_1 - \beta_2) + \left( \beta_2 \frac{\theta_{2ec}}{p} - \beta_1 \frac{\theta_{1ec}}{p} \right) = 0 \\
 & B_{11}(\beta_1 - \beta_2) \frac{c_{q_1}}{\varepsilon'_1 r'_1 c'_{T1}} (1 - V_1^2) \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_1}} V_1 R_1}}{R_1} + \\
 & + B_{21}(\beta_1 - \beta_2) \frac{c_{q_1}}{\varepsilon'_1 r'_1 c'_{T1}} (1 - V_2^2) \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_1}} V_2 R_1}}{R_1} + \\
 & + (\beta_1 - \beta_2) \frac{\theta_1(0)}{p} + \beta_2 \frac{\theta_{2ec}}{p} - \beta_1 \frac{\theta_{1ec}}{p} = 0
 \end{aligned} \tag{6.46}$$

După simplificare sistemul de ecuații (6.45), (6.46) obține forma:

$$B_{11} \cdot \tilde{\theta}_{11} + B_{21} \cdot \tilde{\theta}_{21} + (1 - \varepsilon_1) r'_1 \beta_1 \left( \frac{\theta_1(0) - \theta_{1ec}}{p} \right) = 0 \tag{6.47}$$



$$\begin{aligned} \tilde{\theta}_{j1} = & -\sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_{j1} (\lambda_{q_1} - \lambda_{q_2}) - \frac{ch \sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_{j1} R_1}{R_1} + (\lambda_{q_1} - \lambda_{q_2}) \cdot \\ & \cdot \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_{j1} R_1}{R_1^2} + (1 - \varepsilon_1) \beta_1 \frac{c_{q_1}}{\varepsilon_1 c'_T} (1 - V_{j1}^2) - \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_{j1} R_1}{R_1} \end{aligned} \quad (6.48)$$

$$B_{11} \cdot \tilde{P}_{11} + B_{12} \cdot \tilde{P}_{12} + \beta_1 \left( \frac{\theta_1(0) - \theta_{1ec}}{p} \right) + \beta_2 \left( \frac{\theta_1(0) - \theta_{2ec}}{p} \right) = 0 \quad (6.49)$$

$$\tilde{P}_{j1} = (\beta_1 - \beta_2) \frac{c_{q_1}}{\varepsilon'_1 r'_1 c'_{T1}} (1 - V_j^2) - \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_1}}} V_j R_1}{R_1} \quad (6.50)$$

Din sistemul de ecuații (6.47), (6.49) determinăm coeficienții  $B_{11}, B_{21}$  :

$$\begin{aligned} B_{21} = & \frac{\tilde{P}_{11}}{\tilde{P}_{21} \tilde{\theta}_{11} - \tilde{\theta}_{21} \tilde{P}_{11}} (1 - \varepsilon_1) r'_1 \beta_1 \frac{\theta_1(0) - \theta_{1ec}}{p} - \\ & - \frac{\tilde{\theta}_{11}}{\tilde{P}_{21} \tilde{\theta}_{11} - \tilde{\theta}_{21} \tilde{P}_{11}} \beta_1 \left( \frac{\theta_1(0) - \theta_{1ec}}{p} \right) + \\ & + \frac{\tilde{\theta}_{11}}{\tilde{P}_{21} \tilde{\theta}_{11} - \tilde{\theta}_{21} \tilde{P}_{11}} \beta_2 \left( \frac{\theta_1(0) - \theta_{2ec}}{p} \right) \end{aligned} \quad (6.51)$$

**Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

$$B_{11} = \frac{\tilde{\theta}_{21}}{\tilde{P}_{21}\tilde{\theta}_{11} - \tilde{\theta}_{21}\tilde{P}_{11}} \beta_1 \frac{\theta_1(0) - \theta_{1ec}}{p} \left[ 1 - (1 - \varepsilon_1') r_1' \frac{\tilde{P}_{11}}{\theta_{11}} \right] - \quad (6.52)$$

$$- \frac{\tilde{\theta}_{21}}{\tilde{P}_{21}\tilde{\theta}_{11} - \tilde{\theta}_{21}\tilde{P}_{11}} \beta_2 \left( \frac{\theta_2(0) - \theta_{2ec}}{p} \right) - \frac{1}{\tilde{\theta}_{11}} (1 - \varepsilon_1) r_1' \beta_1 \frac{\theta_1(0) - \theta_{1ec}}{p} = 0$$

Coeficienții  $B_{12}, B_{22}$  se determină din condițiile de frontieră (6.9), (6.10)

$$- \lambda_{q2} t'_L(R_2, p) + \lambda_2 \left[ \frac{T_c}{p} - t_{2L}(R_2, p) \right] - \quad (6.53)$$

$$- (1 - \varepsilon) r_2' \beta_2 \left( \theta_{2L}(R_2, p) - \frac{\theta_{2ec}}{p} \right) = 0$$

$$\lambda_{m2} [\theta'_{2L}(R_2, p) + \delta_2 t'_{2L}(R_2, p)] + \beta_2 \left( \theta_{2L}(R_2, p) - \frac{\theta_{2ec}}{p} \right) = 0 \quad (6.54)$$

Din ecuațiile (6.37), (6.38) determinăm  $t_{2L}(R_2, p), t'_{2L}(R_2, p), \theta_{2L}(R_2, p), \theta'_{2L}(R_2, p)$  și le introducem în (6.53), (6.54):

$$t_{2L}(R_2, p) = \frac{t_2(0)}{p} + \frac{Q}{\rho_2 c_{q2} p^2} + \quad (6.55)$$

$$+ B_{12} \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_1 R_2}{R_2} + B_{22} \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_2 R_2}{R_2}$$

$$\begin{aligned}
 t'_{L2}(R_2, p) = & -B_{12} \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{12} \frac{ch \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{12} R_2}{R_2} + B_{12} \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{12} R_2}{R_2^2} - \\
 & - B_{22} \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{22} \frac{ch \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{22} R_2}{R_2} + B_{22} \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{22} R_2}{R_2^2}
 \end{aligned} \tag{6.56}$$

$$\begin{aligned}
 \theta_{L2}(R_2, p) = & \frac{\theta_2(0)}{p} + B_{12} \frac{c_{q_2}}{\varepsilon_2 r'_2 c'_{T2}} (1 - V_{12}^2) \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{12} R_2}{R_2} + \\
 & + B_{22} \frac{c_{q_2}}{\varepsilon_2 r'_2 c'_{T2}} (1 - V_{22}^2) \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{22} R_2}{R_2}
 \end{aligned} \tag{6.57}$$

$$\begin{aligned}
 \theta'_{L2}(R_2, p) = & -B_{12} \frac{c_{q_2}}{\varepsilon_2 r'_2 c'_{T2}} (1 - V_{12}^2) \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{12} \frac{ch \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{12} R_2}{R_2} + \\
 & + B_{12} \frac{c_{q_2}}{\varepsilon_2 r'_2 c'_{T2}} (1 - V_{12}^2) \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{12} R_2}{R_2^2} - B_{22} \frac{c_{q_2}}{\varepsilon_2 r'_2 c'_{T2}} (1 - V_{22}^2) \cdot \\
 & \cdot \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{22} \frac{ch \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{22} R_2}{R_2} + B_{22} \frac{c_{q_2}}{\varepsilon_2 r'_2 c'_{T2}} (1 - V_{22}^2) \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{22} R_2}{R_2^2}
 \end{aligned} \tag{6.58}$$

**Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

Înlocuim ecuațiile (6.55)-(6.58) în (6.54):

$$\begin{aligned}
 & B_{12} \left\{ \lambda_{q_2} \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{12} \frac{ch \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{12} R_2}{R_2} - \lambda_{q_2} \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{12} R_2}{R_2^2} - \right. \\
 & - \alpha_2 \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{12} R_2}{R_2} - (1 - \varepsilon_2) r_2' \beta_2 \frac{c_{q_2}}{\varepsilon_2 r_2' c_{T2}} (1 - V_{12}^2) \cdot \\
 & \left. \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{12} R_2}{R_2} \right\} + B_{22} \left\{ \lambda_{q_2} \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{22} \frac{ch \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{22} R_2}{R_2} - \right. \\
 & \left. \lambda_{q_2} \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{22} R_2}{R_2^2} - \alpha_2 \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{22} R_2}{R_2} - \right. \\
 & \left. - (1 - \varepsilon) r_2' \beta_2 \frac{c_{q_2}}{\varepsilon_2 r_2' c_{T2}} (1 - V_{22}^2) \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{22} R_2}{R_2} \right\} + \tag{6.59} \\
 & + \alpha_2 \left( \frac{t_{2c}}{p} - \frac{t_2(0)}{p} \right) - \frac{\alpha_2 Q}{\rho_2 c_{q_2} p^2} - (1 - \varepsilon_2) r_2' \beta_2 \frac{\theta_2(0) - \theta_{2ec}}{p} = 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & B_{12} \left\{ -\lambda_{m2} \frac{c_{q2}}{\varepsilon_2 r_2' c_{T2}'} (1 - V_{12}^2) \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{12} \frac{ch \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{12} R_2}{R_2} + \right. \\
 & + \lambda_{m2} \frac{c_{q2}}{\varepsilon_2 r_2' c_{T2}'} (1 - V_{12}^2) \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{12} R_2}{R_2^2} - \lambda_{m2} \delta_2 \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{12} \cdot \\
 & \cdot \frac{ch \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{12} R_2}{R_2^2} + \lambda_{m2} \delta_2 \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{12} R_2}{R_2^2} + \beta_2 \frac{c_{q2}}{\varepsilon_2 r_2' c_{T2}'} (1 - V_{12}^2) \cdot \\
 & \left. \cdot \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{12} R_2}{R_2} \right\} + B_{22} \left\{ -\lambda_{m2} \frac{c_{q2}}{\varepsilon_2 r_2' c_{T2}'} (1 - V_{22}^2) \cdot \right. \\
 & \cdot \frac{ch \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{22} R_2}{R_2} + \lambda_{m2} \frac{c_{q2}}{\varepsilon_2 r_2' c_{T2}'} (1 - V_{22}^2) \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{22} R_2}{R_2^2} - \\
 & - \lambda_{m2} \delta_2 \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{22} \frac{ch \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{22} R_2}{R_2} + \lambda_{m2} \delta_2 \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{22} R_2}{R_2^2} + \\
 & \left. + \beta_2 \frac{c_{q2}}{\varepsilon_2 r_2' c_{T2}'} (1 - V_{22}^2) \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{22} R_2}{R_2} \right\} + \beta_2 \left[ \frac{\theta_2(0)}{p} - \frac{\theta_{2ec}}{p} \right] = 0 \tag{6.60}
 \end{aligned}$$

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

După simplificare, ecuația (6.59) obține forma:

$$\left[ B_{12}\tilde{\theta}_{12} + B_{22}\tilde{\theta}_{22} + \left( \frac{t_c}{p} - \frac{t_2}{p} \right) - \frac{Q}{\rho_2 c_{T2} p^2} - (1-\varepsilon)r'_2 \frac{\beta_2(\theta_2(0) - \theta_{2ec})}{\alpha_2 p} \right] = 0 \quad (6.61)$$

$$\begin{aligned} \tilde{\theta}_{j2} = & \frac{\lambda_{q2}}{\alpha_2} \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{j2} \frac{ch \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{j2} R_2}{R_2} - \frac{\lambda_{q2}}{\alpha_2} \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{j2} R_2}{R_2^2} - \\ & - \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{j2} R_2}{R_2} - (1-\varepsilon)r'_2 \frac{\beta_2}{\alpha_2} \frac{c_{q2}}{\varepsilon'_2 r'_2 c_{T2}} (1-V_{j2}^2) \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{j2} R_2}{R_2} \end{aligned} \quad (6.62)$$

$$B_{iq} = \frac{\alpha_q}{\lambda_q} R ; \quad \frac{c_q}{c_T} = C ; K_2 = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \left( \frac{c_q \beta}{c_T \alpha} \right)$$

$$\begin{aligned} \tilde{\theta}_{j2} = & \frac{1}{B_{iq}} V_{j2} \frac{ch \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{j2} R_2}{R_2} - \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{j2} R_2}{R_2} - \\ & - (1+K_2(1-V_{j2})^2) \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{j2} R_2}{R_2} \end{aligned} \quad (6.63)$$

După simplificare, ecuația (6.60) obține forma:

$$\left[ B_{12} \tilde{P}_{12} + B_{22} \tilde{P}_{22} + \left( \frac{\theta_2(0) - \theta_{2ec}}{p} \right) \right] = 0 \quad (6.64)$$

$$\begin{aligned} \tilde{P}_{j2} = & \frac{-\lambda_{m2}}{\beta_2} \frac{c_{q2}}{\varepsilon'_2 r'_2 c_{T2}} (1 - V_{j2}^2) \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{j2} \frac{ch \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{j2} R_2}{R_2} + \\ & + \frac{\lambda_{m2}}{\beta_2} \frac{c_{q2}}{\varepsilon'_2 r'_2 c_{T2}} (1 - V_{j2}^2) \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{j2} R_2}{R_2^2} - \frac{\lambda_{m2}}{\beta_2} \delta_2 \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{j2} \cdot \\ & \cdot \frac{ch \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{j2} R_2}{R_2} + \frac{\lambda_{m2}}{\beta_2} \delta_2 \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{j2} R_2}{R_2^2} + \\ & + \frac{c_{q2}}{\varepsilon'_2 r'_2 c_{T2}} (1 - V_{j2}^2) \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{j2} R_2}{R_2} \end{aligned}$$

$$\frac{\varepsilon' c_T \delta}{c_q} = F_c \quad - \text{criteriul lui Fiodorov}$$

## Uscarea cătini albe în camp S.H.F.

$$\begin{aligned} \tilde{P}_{j_2} = & -\frac{1}{B_{im}} \frac{\delta_2}{F_e} (1-V_{j_2}^2) \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{j_2} ch \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{j_2} R_2 + \frac{1}{B_{im}} \frac{\delta_2}{F_e} (1-V_{j_2}^2) \cdot \\ & \cdot \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} R_2}{R_2} - \frac{\delta_2}{B_{im}} \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{j_2} ch \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{j_2} R_2 + \frac{\lambda_{m_2} \delta_2 sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{j_2} R_2}{R_2^2} + \\ & + \frac{\delta}{F_e} (1-V_{j_2}^2) ch \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{j_2} R_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{P}_{j_2} = & -\left( \frac{1}{B_{im}} \frac{\delta_2}{F_e} (1-V_{j_2}^2) + \frac{1}{B_{im}} \frac{\delta_2}{F_e} \right) \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{j_2} ch \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{j_2} R_2 + \\ & + \left( \frac{\delta_2 (1-V_{j_2}^2)}{B_{im} F_e R_2} + \frac{\lambda_m \delta_2}{R_2^2} + \frac{\delta (1-V_{j_2})}{F_e} \right) sh \sqrt{\frac{p}{a_{q_2}}} V_{j_2} R_2 \end{aligned} \quad (6.65)$$

Din sistemul de ecuații (6.61) - (6.62) găsim  $B_{12}, B_{22}$ :

$$B_{12} = \frac{-(t_c - t_0)(\tilde{P}_{12} + 1) \frac{\tilde{\theta}_{22}}{\tilde{\theta}_{12}} + (1 - \varepsilon) \frac{r_2 \beta_2}{\alpha_2} \frac{\tilde{\theta}_{22}}{\tilde{\theta}_{12}} (1 - \tilde{P}_{12})}{p(\tilde{P}_{22} \tilde{\theta}_{12} - \tilde{P}_{12} \tilde{\theta}_{22})} + \quad (6.66)$$

$$\begin{aligned} & + \frac{Q}{\rho_2 c_{q_2}} \frac{\tilde{\theta}_{22}}{\tilde{\theta}_{12}} (1 - \tilde{P}_{12}) \\ & + \frac{Q}{p^2 (\tilde{P}_{22} \tilde{\theta}_{12} - \tilde{P}_{12} \tilde{\theta}_{22})} \\ B_{22} = & \frac{(t_c - t_0) \tilde{P}_{12} - \frac{(1 - \varepsilon) r_2' \beta_2 p_2}{\alpha_2} (\theta_2 - \theta_{2ec}) - (\theta_2 - \theta_{2ec}) Q_{12}}{P(\tilde{\theta}_{12} \tilde{P}_{22} - \tilde{\theta}_{22} \tilde{P}_{12})} - \quad (6.67) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{Q \tilde{P}_{12} \tilde{Q}_{12}}{\rho_2 c_{q_2}} \\ & - \frac{Q}{P^2 (\tilde{\theta}_{12} \tilde{P}_{22} - \tilde{\theta}_{22} \tilde{P}_{12})} \end{aligned}$$



## Uscarea cătini albe în camp S.H.F.

În așa mod, rezolvarea ecuațiilor (6.36) și (6.37) va fi astfel:

$$\begin{aligned}
 t_{L1}(r, p) - \frac{t_0}{p} - \frac{Q}{\rho_1 c_{q1} p^2} = & \left[ \frac{\tilde{\theta}_{21}}{\tilde{P}_{21} \tilde{\theta}_{11} - \tilde{P}_{11} \tilde{\theta}_{21}} \beta_1 \frac{\theta_1 - \theta_{1ec}}{p} \cdot \right. \\
 & \cdot \left( 1 - (1 - \varepsilon) r'_1 \frac{\tilde{P}_{11}}{\tilde{\theta}_{11}} \right) - \frac{\tilde{\theta}_{21}}{\tilde{P}_{21} \tilde{\theta}_{11} - \tilde{P}_{11} \tilde{\theta}_{21}} \beta_2 \frac{\theta_1 - \theta_{2ec}}{p} - \\
 & \left. - \frac{1}{\tilde{\theta}_{11}} (1 - \varepsilon) r'_1 \beta_2 \frac{\theta_1 - \theta_{1ec}}{P} \right] \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q1}}} V_1 r}{r} + \left[ \frac{\tilde{P}_{11}}{\tilde{P}_{21} \tilde{\theta}_{11} - \tilde{P}_{11} \tilde{\theta}_{21}} \cdot \right. \\
 & \cdot (1 - \varepsilon) r'_1 \beta_2 \frac{\theta_1 - \theta_{1ec}}{P} - \frac{\tilde{\theta}_{11}}{\tilde{P}_{21} \tilde{\theta}_{11} - \tilde{P}_{11} \tilde{\theta}_{21}} \beta_1 \frac{\theta_1 - \theta_{1ec}}{P} + \\
 & \left. + \frac{\tilde{\theta}_{11}}{\tilde{P}_{21} \tilde{\theta}_{11} - \tilde{P}_{11} \tilde{\theta}_{21}} \beta_2 \frac{\theta_1 - \theta_{1ec}}{P} \right] \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_2 r}{r} \quad (6.68)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_L(r, p) - \frac{rt_0}{p} = & \left( (t_c - t_0) \cdot \right. \\
 & \left[ \frac{\tilde{\theta}_{12} \beta_1 \left( 1 - (1 - \varepsilon) r'_1 \frac{\tilde{P}_{11}}{\tilde{\theta}_{11}} \right) - \tilde{\theta}_{21} \beta_2 - \frac{1}{\tilde{\theta}_{11}} (1 - \varepsilon) r_1 \beta_1 (\tilde{P}_{21} \tilde{\theta}_{11} - \tilde{\theta}_{21} \tilde{P}_{11})}{P(\tilde{\theta}_{11} \tilde{P}_{21} - \tilde{\theta}_{21} \tilde{P}_{11})} \cdot \right. \\
 & \left. \cdot sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_2 r + \frac{\tilde{P}_{11} (1 - \varepsilon) r'_1 \beta_1 - \tilde{\theta}_1 \beta_1 + \tilde{\theta}_{11} \beta_2}{P(\tilde{\theta}_{11} \tilde{P}_{21} - \tilde{\theta}_{21} \tilde{P}_{11})} sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_2 r \right] + \\
 & \left. + \frac{Q(\tilde{P}_{21} \tilde{Q}_{11} - \tilde{Q}_{21} \tilde{P}_{11})}{\rho_1 c_{q1} p^2 (\tilde{P}_{21} \tilde{Q}_{11} - \tilde{Q}_{21} \tilde{P}_{11})} = \frac{T_1(p)}{\psi_1(p)} \right) \quad (6.69)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \theta_{L1}(r, p) - \frac{\theta_{10}}{p} &= \left[ \frac{\tilde{\theta}_{21}}{\tilde{\theta}_{11}\tilde{P}_{21} - \tilde{\theta}_{21}\tilde{P}_{11}} \beta_1 \frac{\theta_{10} - \theta_{1ec}}{p} \right. \\
 &\cdot \left[ 1 - (1 - \varepsilon)r'_1 \frac{\tilde{P}_{11}}{\tilde{\theta}_{11}} \right] - \frac{\tilde{\theta}_{21}}{\tilde{\theta}_{11}\tilde{P}_{21} - \tilde{\theta}_{21}\tilde{P}_{11}} * \beta_2 \frac{\theta_{10} - \theta_{1ec}}{p} - \\
 &- \frac{1}{\tilde{\theta}_{11}} (1 - \varepsilon)r'_1 \beta_2 \frac{\theta_1 - \theta_{1ec}}{P} \left] \frac{c_{q1}}{\varepsilon'_1 r'_1 c_{T1}} (1 - V_1^2) \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q1}}} V_1 r}{r} + \\
 &+ \left[ \frac{\tilde{P}_{11}}{\tilde{P}_{21}\tilde{\theta}_{11} - \tilde{P}_{11}\tilde{\theta}_{21}} (1 - \varepsilon)r'_1 \beta_1 \frac{\theta_{10} - \theta_{1ec}}{P} - \frac{\tilde{\theta}_{11}}{\tilde{P}_{21}\tilde{\theta}_{11} - \tilde{P}_{11}\tilde{\theta}_{21}} \right. \\
 &\cdot \beta_1 \frac{\theta_{10} - \theta_{1ec}}{P} + \left. \frac{\tilde{\theta}_{11}}{\tilde{P}_{21}\tilde{\theta}_{11} - \tilde{P}_{11}\tilde{\theta}_{21}} \beta_2 \frac{\theta_1 - \theta_{1ec}}{P} \right] \frac{c_{q1}}{\varepsilon'_1 r'_1 c_{T1}} \cdot \\
 &\cdot (1 - V_2^2) \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q1}}} V_1 r}{r}
 \end{aligned} \tag{6.70}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{r\theta_1(0)}{p} - U_{L1}(r, p) &= (\theta_1 - \theta_{1ec}) \left( \left[ \frac{\tilde{\theta}_{21}}{(\tilde{P}_{21}\tilde{\theta}_{11} - \tilde{\theta}_{21}\tilde{P}_{11})P} \beta_2 + \right. \right. \\
 &+ \left. \frac{(1 - \varepsilon_1)r'_1 \beta_1}{\tilde{\theta}_{11}P} - \frac{\tilde{\theta}_{21}}{(\tilde{P}_{21}\tilde{\theta}_{11} - \tilde{\theta}_{21}\tilde{P}_{11})P} \beta_1 \left( 1 - (1 - \varepsilon)r'_1 \frac{\tilde{P}_{11}}{\tilde{\theta}_{11}} \right) \right] \cdot \\
 &\cdot sh \sqrt{\frac{p}{a_{q1}}} V_1 r + \left[ \frac{\tilde{\theta}_{11}\beta_1}{P(\tilde{P}_{21}\tilde{\theta}_{11} - \tilde{P}_{11}\tilde{\theta}_{21})} - \frac{\tilde{P}_{11}(1 - \varepsilon)r'_1 \beta}{P(\tilde{P}_{21}\tilde{\theta}_{11} - \tilde{P}_{11}\tilde{\theta}_{21})} - \right. \\
 &- \left. \frac{\tilde{P}_{11}(1 - \varepsilon)r'_1 \beta}{P(\tilde{P}_{21}\tilde{\theta}_{11} - \tilde{P}_{11}\tilde{\theta}_{21})} - \frac{\tilde{\theta}_{11}\beta_2}{P(\tilde{P}_{21}\tilde{\theta}_{11} - \tilde{P}_{11}\tilde{\theta}_{21})} \right] * \\
 &* \frac{c_{q1}}{\varepsilon'_1 r'_1 c_{T1}} (1 - V_2^2) sh \sqrt{\frac{p}{a_{q1}}} V_1 r
 \end{aligned} \tag{6.71}$$

$$\frac{r\theta_{10}}{P} - U_{L1}(r, p) = (\theta_1(0) - \theta_p) * \left( \frac{\tilde{\theta}_{21}\beta_2 + (1 - \varepsilon_1)r'\beta_1(\tilde{P}_{21}\tilde{\theta}_{11} - \tilde{P}_{11}\tilde{\theta}_{21}) - \tilde{\theta}_{21}\beta_1(1 - \varepsilon)r'_1\frac{\tilde{P}_{11}}{\tilde{\theta}_{11}}}{\tilde{\theta}_{11}} \right) * \frac{1}{P(\tilde{P}_{21}\tilde{\theta}_{11} - \tilde{P}_{11}\tilde{\theta}_{21})} \quad (6.72)$$

$$* (1 - \nu_1^2)sh \sqrt{\frac{p}{a_{q1}}} V_1 r + \frac{\tilde{\theta}_{11}\beta_1 - \tilde{P}_{11}(1 - \varepsilon)r'_1\beta - \tilde{\theta}_{11}\beta_2}{P(\tilde{P}_{21}\tilde{\theta}_{11} - \tilde{P}_{11}\tilde{\theta}_{21})} *$$

$$* \frac{c_{q1}}{\varepsilon_1 r'_1 c_{T1}} (1 - V_2^2)sh \sqrt{\frac{p}{a_{q1}}} V_1 r \Big) = (\theta_{10} - \theta_{ec}) \frac{W_1(p)}{\varphi_1(p)}$$

Rezolvarea ecuațiilor (6.37) și (6.38) va fi astfel:

$$\begin{aligned}
 & t_{L2}(r, p) - \frac{t_2(0)}{p} - \frac{Q}{\rho_2 c_{q2} p^2} = \\
 & \left\{ \frac{-(t_c - t_0) \frac{\tilde{\theta}_{22}}{\tilde{\theta}_{12}} (\tilde{P}_{12} + 1) + \frac{(1-\varepsilon)r_2 \beta_2}{\alpha_2} \frac{\tilde{\theta}_{22}}{\tilde{\theta}_{12}} (1 - \tilde{P}_{12})}{P(\tilde{P}_{22} \tilde{\theta}_{12} - \tilde{P}_{12} \tilde{\theta}_{22})} + \right. \\
 & \left. + \frac{\frac{Q}{\rho_2 c_q} \frac{\tilde{\theta}_{22}}{\tilde{\theta}_{12}} P (1 - \tilde{P}_{12})}{P(\tilde{P}_{22} \tilde{\theta}_{12} - \tilde{P}_{12} \tilde{\theta}_{22})} \right\} \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_2 r}{r} + \\
 & + \left\{ \frac{(t_c - t_0) \tilde{P}_{12} - \frac{(1-\varepsilon)r'_2 \beta_2 \tilde{P}_{22}}{\alpha_2} (\theta_{20} - \theta_{2ec})}{p(\tilde{P}_{22} \tilde{\theta}_{12} - \tilde{P}_{12} \tilde{\theta}_{22})} - \right. \\
 & \left. - \frac{(\theta_{20} - \theta_{2ec}) \tilde{\theta}_{12} - \frac{Q \tilde{P}_{12} \tilde{\theta}_{12}}{\rho_2 c_{q2} p}}{p(\tilde{P}_{22} \tilde{\theta}_{12} - \tilde{P}_{12} \tilde{\theta}_{22})} \right\} \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_{22}}{r}
 \end{aligned}$$

$$K_{02} = \frac{\rho}{c_q} \frac{\theta_0 - \theta_p}{t_c - t_0}$$

$$\begin{aligned}
 & V_{L2}(r, p) - \frac{rt_2(0)}{p} = \\
 & (t_c - t_0) \left\{ \frac{\frac{\tilde{\theta}_{22}}{\tilde{\theta}_{12}} (\tilde{P}_{12} + 1) + \frac{(1-\varepsilon)r_2\beta_2}{\alpha_2(t_c - t_0)} \frac{\tilde{\theta}_{22}}{\tilde{\theta}_{12}} (1 - \tilde{P}_{12})}{P(\tilde{P}_{22}\tilde{\theta}_{12} - \tilde{P}_{12}\tilde{\theta}_{22})} + \right. \\
 & \left. + \frac{\frac{Q}{\rho_2 c_{q2}} (t_c - t_0) \frac{\tilde{\theta}_{22}}{\tilde{\theta}_{12}} P (1 - \tilde{P}_{12})}{P(\tilde{P}_{22}\tilde{\theta}_{12} - \tilde{P}_{12}\tilde{\theta}_{22})} \right\} sh \sqrt{\frac{p}{a_{q1}}} V_2 r + \\
 & + \frac{P_{12} - \frac{(1-\varepsilon)\beta_2 \tilde{P}_{22}}{\alpha_2} \frac{c_{q2}}{\rho_2} K_{02} - \frac{c_{q2}}{\rho_2} \tilde{\theta}_{12} K_{02}}{P(\tilde{P}_{22}\tilde{\theta}_{12} - \tilde{P}_{12}\tilde{\theta}_{22})} sh \sqrt{\frac{p}{a_{q1}}} V_2 r - \\
 & - \frac{Qr(\tilde{P}_{22}\tilde{\theta}_{12} - \tilde{P}_{12}\tilde{\theta}_{22})}{\rho_2 c_{q2} p^2 (t_c - t_0)} sh \sqrt{\frac{p}{a_{q1}}} V_2 r \left\{ + \frac{Q(\tilde{P}_{22}\tilde{\theta}_{12} - \tilde{P}_{12}\tilde{\theta}_{22})}{P(\tilde{P}_{22}\tilde{\theta}_{12} - \tilde{P}_{12}\tilde{\theta}_{22})} \right. \\
 & \left. + \frac{\rho_2 c_{q2} p^2 (t_c - t_0)}{P(\tilde{P}_{22}\tilde{\theta}_{12} - \tilde{P}_{12}\tilde{\theta}_{22})} \right\} \\
 & = (t_c - t_0) \frac{T_2(p)}{\varphi_2(p)}
 \end{aligned} \tag{6.73}$$

Punem în ecuația (6.38), (6.67) și (6.66):



$$\frac{r\theta_2(0)}{p} - U_{L2}(r, p) = (\theta_{20} - \theta_{2ec}) * \left\{ \frac{\left[ \frac{c_{q2}}{\rho K_{02}} \frac{\tilde{\theta}_{22}}{\theta_{12}} (\tilde{P}_{12} + 1) + \frac{(1-\varepsilon)r_2\beta_2}{\alpha_2(\theta_{20} - \theta_{2p})} \frac{\tilde{\theta}_{22}}{\tilde{\theta}_{12}} (1 - \tilde{P}_{12}) \right]}{P(\tilde{P}_{22}\tilde{\theta}_{12} - \tilde{P}_{12}\tilde{\theta}_{22})} * \right.$$

$$* \frac{c_{q2}}{\varepsilon'_2 r'_2 c_{T2}} (1 - V_2^2) \frac{sh \sqrt{\frac{p}{a_{q2}}} V_2 r}{r} +$$

$$\frac{-c_{q2}}{\rho K_{02}} P_{12} + \frac{(1-\varepsilon)r_2\beta_2 P_2}{\alpha_2} + \tilde{\theta}_{12} + \frac{Q\tilde{P}_{12}\tilde{\theta}_{12}}{\rho_2 c_{q2} p (\theta_{02} - \theta_{2ec})} * \left. \frac{1}{P(\tilde{P}_{22}\tilde{\theta}_{12} - \tilde{P}_{12}\tilde{\theta}_{22})} \right\} = (\theta_{20} - \theta_{2ec}) \left( \frac{W_2(p)}{\varphi_2(p)} \right)$$

Numărătorul și numitorul ecuațiilor (6.73), (6.74), (6.69), (6.72) prezintă polinoame generalizate referitor la p. Trecerea de la descriere la original cu excepția rădăcinii nule, se poate de efectuat după teoria simplă de descompunere.

Găsim rădăcinile  $\psi_1(p)$  :

$$\psi_1(p) = p(\tilde{\theta}_{11}\tilde{P}_{21} - \tilde{\theta}_{21}\tilde{P}_{11})$$

avem  $p = p_0 = 0$  rădăcina nulă:

$$(\tilde{\theta}_{11}\tilde{P}_{21} - \tilde{\theta}_{21}\tilde{P}_{11}) = 0 \quad (6.75)$$

Scriem în ecuația (6.75) funcția trigonometrică hiperbolică și notăm  $i\sqrt{\frac{p}{a_q}}R$  prin  $\mu$ .

$$P_n = -\frac{a_q\mu_n^2}{R^2}$$

$\mu_n$  îl determinăm din ecuația:

$$\theta_{j1}P_{j1} - \theta_{j2}P_{j2} = 0 \quad (6.76)$$

$$\begin{aligned} \theta_{j1} = & -v_{j1}(\lambda_{q1} - \lambda_{q2})\mu_{n1} \cos v_{j1}\mu_{n1} + \\ & (\lambda_{q1} - \lambda_{q2})\mu_{n1} \sin v_{j1}\mu_{n1} + \frac{(1-\varepsilon)\beta_1 c_{q1}}{\varepsilon_1 c'_t} (1-v_{j1}^2) \sin v_{j1}\mu_{n1} \end{aligned} \quad (6.77)$$

$$P_{j1} = (\beta_1 - \beta_2) \frac{c_{q1}}{\varepsilon_1 r'_t c'_{t1}} (1-v_{j1}^2) \sin v_{j1}\mu_{n1}$$

Transformarea finală o efectuăm pentru al doilea strat:



$$\theta_{j_2} = \frac{1}{Bi} v_{j_2} \cos v_{j_2} \mu_{n_2} - \sin v_{j_2} \mu_{n_2} - (1 + K_2(1 - v_{j_1}^2)) \sin v_{j_2} \mu_{n_2} \quad (6.79)$$

$$P_{j_2} = - \left( \frac{\delta_2}{Bim_2 Fe} (1 - v_{j_2}^2) + \frac{\delta_2}{Bim_2 R_2} \right) \mu_{n_2} v_{j_2} \cos v_{j_2} \mu_{n_2} + \left( \frac{\delta_2}{Bim_2 Fe R_2} + \frac{\lambda_{m_2} \delta_2}{R_2^2} + \frac{\delta(1 - v_{j_2})}{Fe} \right) \sin v_{j_2} \mu_{n_2} \quad (6.80)$$

Adică descrierea originală o scriem în forma:

$$L^{-1} \left[ \frac{T_1(p)}{\psi_1(p)} \right] = \frac{T_{01}(0)}{\psi'_{01}(0)} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{T_1(p_n)}{\psi'_1(p_n)} \exp(p_{n_1} \tau) \quad (6.81)$$

$$L^{-1} \left[ \frac{W_1(p)}{\psi_1(p)} \right] = \frac{W_{01}(0)}{\psi'_{01}(0)} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{W_1(p_n)}{\psi'_1(p_n)} \exp(p_{n_1} \tau) \quad (6.82)$$

$$L^{-1} \left[ \frac{T_2(p)}{\psi_2(p)} \right] = \frac{T_{02}(0)}{\psi'_{02}(0)} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{T_2(p_n)}{\psi'_2(p_n)} \exp(p_{n_2} \tau) \quad (6.83)$$

## Uscarea cătini albe în camp S.H.F.

$$L^{-1} \left[ \frac{W_2(p)}{\Psi_2(p)} \right] = \frac{W_{02}(0)}{\Psi'_{02}(0)} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{W_2(p_n)}{\Psi'_2(p_n)} \exp(p_{n2} \tau) \quad (6.84)$$

Termenul nul al ecuației îl scriem astfel:  $\lim \frac{T_0(0)}{\Psi'_0(0)} = r$

Pentru celelalte rădăcini:

$$\Psi'_1(p_{n1}) = \frac{\mu_{n1}}{2R_1^2} \Psi_{n1} \quad (6.85)$$

$$\Psi'_2(p_{n2}) = \frac{\mu_{n2}}{2R_2^2} \Psi_{n2} \quad (6.86)$$

în care:

$$\Psi_{n1,2} = v_1 P_{in2} A_{in1} + v_2 \theta_{in1} B_{in2} - v_2 P_{in1} A_{in2} - v_1 \theta_{in2} B_{in1} \quad (6.87)$$

$$A_{1nj} = v_{j1} (\lambda_{q1} - \lambda_{q2}) \mu_{n1} \sin v_{j1} \mu_{n1} + ((\lambda_{q1} - \lambda_{q2}) \mu_{n1} + \frac{(1-\varepsilon)\beta_1 c_{q1}}{\varepsilon_1 c'_{t1}} (1-v_{j1}^2)) \cos v_{j1} \mu_{n1} \quad (6.88)$$

$$B_{1nj} = (\beta_1 - \beta_2) \frac{c_{q1}}{\varepsilon_1 r'_1 c'_{t1}} (1-v_{j1}^2) \cos v_{j1} \mu_{n1} \quad (6.89)$$

$$A_{2nj} = -\frac{1}{Bi} v_{j2} \sin v_{j2} \mu_{n2} + (1 + (1 + K_2 (1 - v_{j1}^2))) \cos v_{j2} \mu_{n2} \quad (6.90)$$

$$\begin{aligned}
 B_{2nj} = & \left( \frac{\delta_2}{Bim_2 Fe} (1 - \nu_{j2}^2) + \frac{\delta_2}{Bim_2 R_2} \right) \mu_{n_2} \nu_{j2} \sin \nu_{j2} \mu_{n_2} + \\
 & + \left( \frac{\delta_2}{Bim_2 Fe R_2} + \frac{\lambda_{m_2} \delta_2}{R_2^2} + \frac{\delta(1 - \nu_{j2})}{Fe} \right) \cos \nu_{j2} \mu_{n_2}
 \end{aligned} \tag{6.91}$$

Rezolvarea sistemului de ecuații (6.81) - (6.82), (6.83) - (6.84) conform metodei descrise în literatură [122, 123] permite rezolvarea finală a sarcinii.

Adică, rezolvarea sistemului de ecuații diferențiale pentru schimbul de masă și căldură are următoarea formă:

- pentru stratul interior:

$$\begin{aligned}
 \frac{t_1(r, \tau) - t_0}{t_c - t_0} = & 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \left[ C_{n11} \frac{\sin \nu_{12} \mu_{n1} \frac{r}{R_1}}{\frac{r}{R_1}} - \right. \\
 & \left. - C_{n12} \frac{\sin \nu_{11} \mu_{n1} \frac{r}{R_1}}{\frac{r}{R_1}} - \frac{C_{n13}}{r} \right] \exp(-\mu_{n1}^2 Fo_1)
 \end{aligned} \tag{6.92}$$

**Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

$$\frac{U_{01} - U(r, \tau)}{U_{01} - U_{1p}} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \left[ C_{n12}^* (1 - v_{11}^2) \frac{\sin \mu_{n1} v_{11} \frac{r}{R_1}}{\frac{r}{R_1}} - \right. \\ \left. - C_{n11}^* (1 - v_{12}^2) \frac{\sin \mu_{n1} v_{12} \frac{r}{R_1}}{\frac{r}{R_1}} \right] \exp(-\mu_{n1}^2 Fo_1) \quad (6.93)$$

pentru stratul exterior:

$$\frac{t_2(r, \tau) - t_0}{t_c - t_0} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \left[ C_{n21} \frac{\sin v_{22} \mu_{n2} \frac{r}{R_2}}{\frac{r}{R_2}} - \right. \\ \left. - C_{n22} \frac{\sin v_{21} \mu_{n2} \frac{r}{R_2}}{\frac{r}{R_2}} - \frac{C_{n23}}{r} \right] \exp(-\mu_{n2}^2 Fo_2) \quad (6.94)$$

**Uscarea cătini albe în camp S.H.F.**

---

$$\frac{U_{02} - U(r, \tau)}{U_{02} - U_{2p}} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \left[ C_{n_{22}}^* (1 - v_{21}^2) \frac{\sin \mu_{n_2 v_{21}} \frac{r}{R_2}}{\frac{r}{R_2}} - C_{n_{21}}^* (1 - v_{22}^2) \frac{\sin \mu_{n_2 v_{22}} \frac{r}{R_2}}{\frac{r}{R_2}} \right] \exp(-\mu_{n_2}^2 F o_2) \quad (6.95)$$

$$C_{n_{11}} = \frac{\tilde{\theta}_{12} \beta_1 \left( 1 - (1 - \varepsilon) r_1' \frac{\tilde{P}_{11}}{\tilde{\theta}_{11}} \right) - \tilde{\theta}_{21} \beta_2 - \frac{1}{\tilde{\theta}_{11}} (1 - \varepsilon_1) r_1 \beta_1 (\tilde{P}_{21} \tilde{\theta}_{11} - \tilde{\theta}_{21} \tilde{P}_{11})}{\mu_n \psi_{1n}} \quad (6.96)$$

$$C_{n_{12}} = \frac{\tilde{P}_{11} (1 - \varepsilon) r_1' \beta_1 - \tilde{\theta}_1 \beta_1 + \tilde{\theta}_{11} \beta_2}{\mu_n \psi_{1n}} \quad (6.97)$$

$$C_{n_{13}} = \frac{Q(\tilde{P}_{21} \tilde{\theta}_{11} - \tilde{P}_{11} \tilde{\theta}_{21})}{\rho c_{q_1} \mu_n \psi_{1n}} \quad (6.98)$$

$$C_{n_{12}}^* = \frac{\tilde{\theta}_{21} \beta_2 + (1 - \varepsilon_1) r_1' \beta_1 (\tilde{P}_{21} \tilde{\theta}_{11} - \tilde{P}_{11} \tilde{\theta}_{21}) - \tilde{\theta}_{21} \beta_1 (1 - \varepsilon) r_1' \frac{\tilde{P}_{11}}{\tilde{\theta}_{11}}}{\tilde{\theta}_{11} \mu_n \psi_{1n}} \quad (6.99)$$

**Uscarea cătini albe în camp S.H.F.**

---

$$C_{n_{11}}^* = \frac{-\tilde{\theta}_{11}\beta_1 + \tilde{P}_{11}(1-\varepsilon)r_1'\beta + \tilde{\theta}_{11}\beta_2}{\mu_n\psi_{1n}} \frac{c_{q1}}{\varepsilon_1'r_1'c_{T1}} \quad (6.100)$$

$$C_{n_{21}} = \frac{\frac{\tilde{\theta}_{22}}{\tilde{\theta}_{12}}(\tilde{P}_{12} + 1) + \frac{(1-\varepsilon)r_2\beta_2}{\alpha_2(t_c - t_0)} \frac{\tilde{\theta}_{22}}{\tilde{\theta}_{12}}(1 - \tilde{P}_{12})}{\mu_n\psi_{n2}} + \frac{\frac{Q}{\rho_2 c_{q2}}(t_c - t_0) \frac{\tilde{\theta}_{22}}{\tilde{\theta}_{12}P}(1 - \tilde{P}_{12})}{\mu_n\psi_{n2}}}{\mu_n\psi_{n2}} \quad (6.101)$$

$$C_{n_{22}} = \frac{-P_{12} + \frac{(1-\varepsilon)\beta_2\tilde{P}_{22}}{\alpha_2} \frac{c_{q2}}{\rho_2} K_{02} + \frac{c_{q2}}{\rho_2} \tilde{\theta}_{12} K_{02}}{\mu_n\psi_{n2}} + \frac{\frac{Qr(\tilde{P}_{22}\tilde{\theta}_{12} - \tilde{P}_{12}\tilde{\theta}_{22})}{\rho_2 c_{q2} p^2(t_c - t_0)}}{\mu_n\psi_{n2}} \quad (6.102)$$

$$C_{n_{23}} = -\frac{\frac{Q(\tilde{P}_{22}\tilde{\theta}_{12} - \tilde{P}_{12}\tilde{\theta}_{22})}{\rho_2 c_{q2} p^2(t_c - t_0)}}{\mu_n\psi_{n2}} \quad (6.103)$$

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

$$C_{22}^* = \frac{c_{q2} \frac{\tilde{\theta}_{22}}{\rho K_{02} \theta_{12}} (\tilde{P}_{12} + I) + \frac{(1-\varepsilon)r_2\beta_2}{\alpha_2(\theta_{20} - \theta_{2p})} \frac{\tilde{\theta}_{22}}{\tilde{\theta}_{12}} (1 - \tilde{P}_{12})}{\varepsilon'_2 r'_2 c_{T2} \mu_n \psi_{n2}} \quad (6.104)$$

$$C_{n21}^* = \frac{\frac{c_{q2}}{\rho K_{02}} P_{12} - \frac{(1-\varepsilon)r_2\beta_2 P_2}{\alpha_2} - \tilde{\theta}_{12} - \frac{Q\tilde{P}_{12}\tilde{\theta}_{12}}{\rho_2 c_{q2} p(\theta_{02} - \theta_{2ec})}}{\mu_n \psi_{n2}} \cdot \frac{c_{q2}}{\varepsilon'_2 r'_2 c_{T2}} \quad (6.105)$$

în care  $F_0$  este criteriul Fourier,  $Fo = \frac{a_q \tau}{R^2}$

$\mu_n$  - rădăcina ecuației caracteristice, care poate fi determinată după metodele descrise în literatura [122, 126].

### Verificarea modelului matematic adecvatitate

Modelul matematic de schimb de temperatură și umiditate în timp și după coordonate necesită de a fi verificat la adecvatitate ce corespunde curbelor experimentale de temperatură și curbelor umidității de uscare a fructelor de cătină.

Verificarea la procesul de corelație se efectuează cu ajutorul criteriului statistic Fișer. Pentru aceasta găsim temperatura și umiditatea medie a sferei coaxiale în întreg volum ca funcție integrând ecuația după rază.

$$\bar{t}(\tau) = \frac{3}{R^3} \int_0^R r t(r, \tau) dr \quad (6.106)$$

$$\bar{U}(\tau) = \frac{3}{R^3} \int_0^R r U(r, \tau) dr \quad (6.107)$$

Folosind datele transformate din ecuațiile (6.92) - (6.95) obținem pentru:

- stratul interior:

$$\bar{t}_1(\tau) = \frac{3}{R_1^3} \int_0^{R_1} t_c dr - \frac{3}{R_1^3} \int_0^{R_1} \left[ (t_c - t_{01}) \sum_{n=1}^{\infty} \left( C_{n11} \frac{\sin v_{12} \mu_{n1} \frac{r}{R_1}}{\frac{r}{R_1}} - C_{n12} \frac{\sin v_{11} \mu_{n1} \frac{r}{R_1}}{\frac{r}{R_1}} - \frac{C_{n13}}{r} \right) \exp(-\mu_{n1}^2 F_{01}) \right] dr \quad (6.108)$$

$$\bar{U}_1(\tau) = \frac{3}{R_1^3} \int_0^{R_1} U_{lec} dr + \frac{3}{R_1^3} \int_0^{R_1} \left[ (U_{01} - U_{lec}) \sum_{n=1}^{\infty} \left( C_{n12}^* (1 - v_{11}^2) \frac{\sin \mu_{n1} v_{11} \frac{r}{R_1}}{\frac{r}{R_1}} - C_{n11}^* (1 - v_{12}^2) \frac{\sin \mu_{n1} v_{12} \frac{r}{R_1}}{\frac{r}{R_1}} \right) \exp(-\mu_{n1}^2 F_{01}) \right] dr \quad (6.109)$$



- stratul exterior:

$$\bar{t}_2(\tau) = \frac{3}{R_2^3} \int_0^{R_1} t_c dr - \frac{3}{R_2^3} \int_0^{R_1} \left[ (t_c - t_{02}) \sum_{n=1}^{\infty} C_{n21} \left( \frac{\sin v_{22} \mu_{n2} \frac{r}{R_2}}{\frac{r}{R_2}} - \right. \right. \\ \left. \left. - C_{n22} \frac{\sin v_{21} \mu_{n2} \frac{r}{R_2}}{\frac{r}{R_2}} - \frac{C_{n23}}{r} \right) \exp(-\mu_{n2}^2 Fo_2) \right] dr \quad (6.110)$$

$$\bar{U}_2(\tau) = \frac{3}{R_2^3} \int_0^{R_1} U_{2ec} dr + \frac{3}{R_2^3} \int_0^{R_1} \left[ (U_{02} - U_{2ec}) \sum_{n=1}^{\infty} C_{n22}^* (1 - v_{21}^2) \frac{\sin \mu_{n2} v_{21} \frac{r}{R_2}}{\frac{r}{R_2}} - \right. \\ \left. \int_0^{\infty} \sum_{n=1}^{R_1} -C_{n21}^* (1 - v_{22}^2) \frac{\sin \mu_{n2} v_{22} \frac{r}{R_2}}{\frac{r}{R_2}} \exp(-\mu_{n2}^2 Fo_2) \right] dr \quad (6.111)$$

Pentru rezolvarea ecuațiilor (6.108) – (6.111) se folosește formula [37]:

$$\int x \sin x dx = \sin x - x \cos x \quad (6.112)$$

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

care în final permite a obține forma generală a soluției sistemului de ecuații dat.

$$T_1 = C_{11} + A_{11}e^{B_{11}\tau} \quad (6.113)$$

$$U_1 = C_{12} + A_{12}e^{B_{12}\tau} \quad (6.114)$$

$$T_2 = C_{21} + A_{21}e^{B_{21}\tau} \quad (6.115)$$

$$U_2 = C_{22} + A_{22}e^{B_{22}\tau} \quad (6.116)$$

în care:

$$A_{11} = (t_c - t_{01}) \left[ C_{n11} (\sin v_{12} \mu_{n1} - v_{12} \mu_{n1} \cos v_{12} \mu_{n1}) - C_{n12} (\sin v_{11} \mu_{n1} - v_{11} \mu_{n1} \cos v_{11} \mu_{n1}) - C_{n13} \ln R_1 \right] \quad (6.117)$$

$$A_{12} = (U_{01} - U_{1ec}) \left[ C_{n11}^* (1 - v_{11}^2) (\sin v_{11} \mu_{n1} - v_{11} \mu_{n1} \cos v_{11} \mu_{n1}) - C_{n12}^* (1 - v_{12}^2) (\sin v_{12} \mu_{n1} - v_{12} \mu_{n1} \cos v_{12} \mu_{n1}) \right] \quad (6.118)$$

$$A_{21} = (t_c - t_{02}) \left[ C_{n21} (\sin v_{22} \mu_{n2} - v_{22} \mu_{n2} \cos v_{22} \mu_{n2}) - C_{n22} (\sin v_{21} \mu_{n2} - v_{21} \mu_{n2} \cos v_{21} \mu_{n2}) - C_{n23} \ln R_2 \right] \quad (6.119)$$

$$A_{22} = (U_{02} - U_{2ec}) \left[ C_{n21}^* (1 - v_{22}^2) (\sin v_{22} \mu_{n2} - v_{22} \mu_{n2} \cos v_{22} \mu_{n2}) - C_{n22}^* (1 - v_{21}^2) (\sin v_{21} \mu_{n2} - v_{21} \mu_{n2} \cos v_{21} \mu_{n2}) \right] \quad (6.120)$$

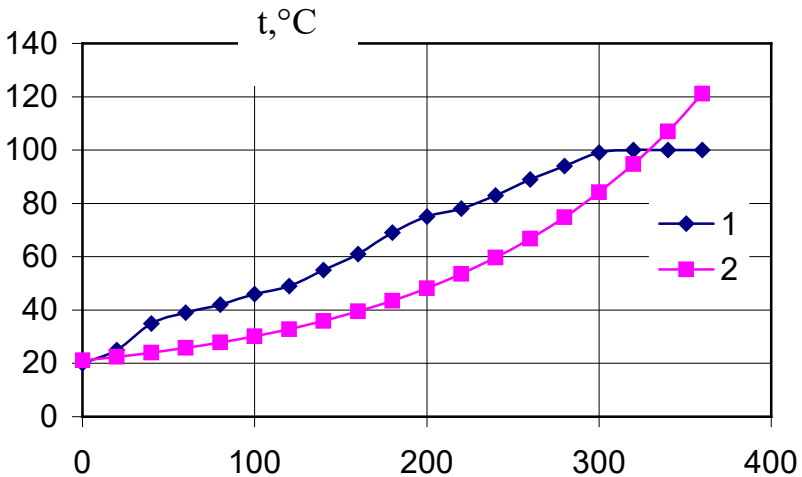
## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

Prin prelucrarea statistică a datelor experimentale au fost obținuți coeficienții numerici ce intră în componența ecuațiilor (6.113)-(6.116).

Pentru semințele cătinii ecuația temperaturii va fi următoarea:

$$T_1 = 12 + 19.1_{11} e^{0.0069\tau} \quad (6.121)$$

În figura 6.2 este prezentat graficul temperaturilor 1, construit după datele experimentale și graficul temperaturilor 2, obținut prin calcule după modelul propus. Verificarea modelului la procesul de adevătatitate se efectuează cu ajutorul criteriului statistic Fișer [31], care pentru cazul nostru constituie 2,313, care este mai mare ca valoarea tabelară, care pentru nivelul ales  $q=5\%$  este egală cu 2,24. Reieșind din aceasta se poate conchide că ecuația prezentată descrie adecvat procesul dat.



## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

Fig. 6.2. Curbele de temperatură a semințelor cătinii albe la uscare cu aplicarea convecției +UHF: 1 – experimental; 2 – calculat (6.121)

Schimbarea umidității în timp în partea interioară a fructelor de cătină se descrie de ecuația:

$$U_1 = -12.2 + 64.2e^{-0.0043\tau} \quad (6.122)$$

În figura 6.3 sunt prezentate datele experimentale (1) și cele calculate (2).

Verificarea la adecvatitate a arătat, că ecuația dată are sens ( $F=2,12$ ).

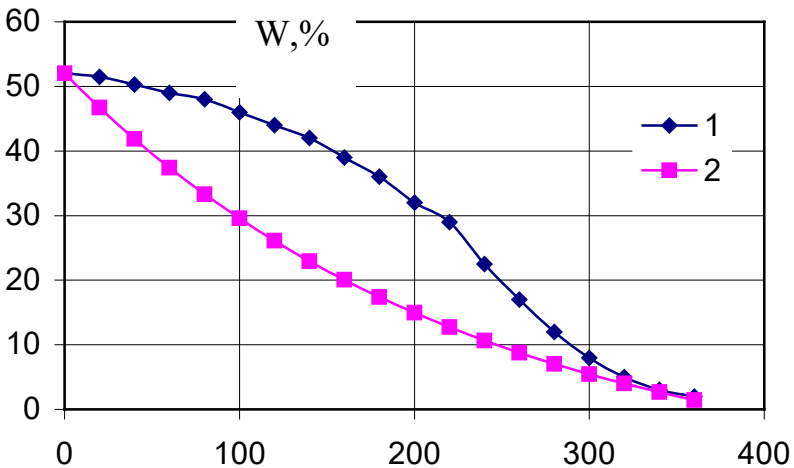


Fig.6.3. Curbele de uscare a semințelor de cătină albă la uscare cu aplicarea convecției + UHF: 1 – experimental; 2 – calculat (6.122)

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

Analogic prezentăm ecuația pentru partea exterioară (pulpa) a cătinii. Temperatura se determină cu ecuația:

$$T_2 = 20 + 15_{11} e^{0.0058\tau} \quad (6.123)$$

În figura 6.4 este prezentată aproximarea punctelor experimentale (1) și cele obținute de ecuația regresiei (2). Criteriul Fișer în acest caz este 2,25, care este mai mare decât în tabele.

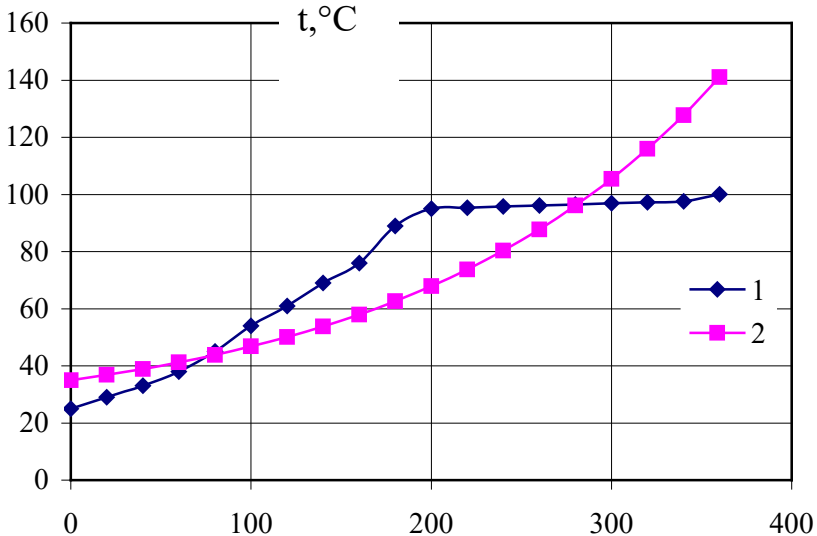


Fig.6.4. Curbele de temperatură a pulpei de cătină albă la uscare cu aplicarea convecției + UHF: 1 – experimental; 2 – calculat (6.123)

În procesul de deshidratare umiditatea în miez poate fi determinată în timp după ecuația:

$$U_2 = -7 + 95 e^{0.0044\tau} \quad (6.124)$$

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

Figura 6.5 prezintă adecvatitatea modelului obținut, evidențiind că criteriul Fișer în cazul dat este egal cu 11,039.

Astfel se poate conchide că modelul matematic pentru temperatură și umiditate obținut, pentru produse cu straturi multiple, va descrie adecvat procesul de uscare, adică după model se poate determina temperatura și umiditatea fructelor de cătină în orice moment de timp, care va permite optimizarea procesului de deshidratare.

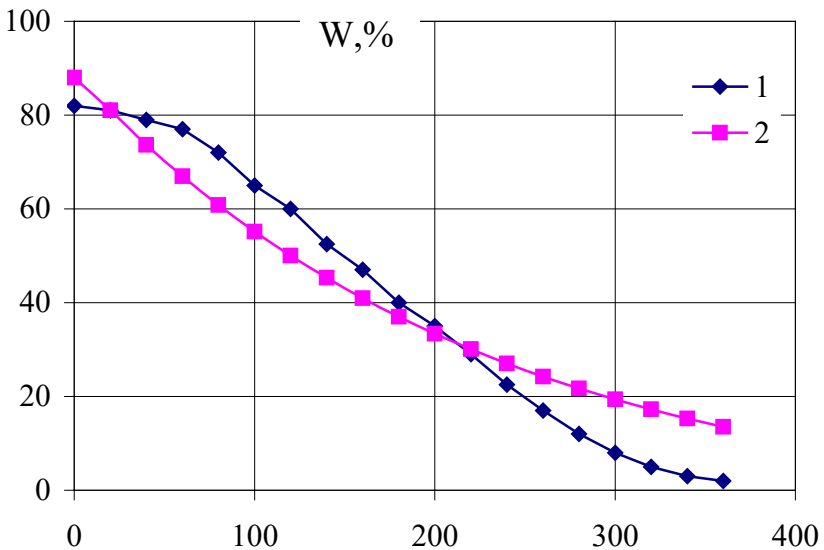


Fig. 6.5. Curbele de uscare a pulpei de cătină albă la uscare cu aplicarea convecției + UHF: 1 – experimental; 2 – calculat (6.124)

### 7. Realizarea tehnică a procesului de uscare a cătinii albe cu aplicarea UHF

Pe baza cercetărilor efectuate, a fost propusă construcția instalației pentru uscarea cătinii cu aplicarea aportului de căldură combinat - convecție +UHF.

Proiectul schiță a acestei instalații este prezentat în figura 7.1.

Instalația constă din trei părți constructive de bază – încărcare, transmisia și uscătoria tip tobă. Încărcarea prezintă un buncăr - alimentator elaborat din foaie din oțel inoxidabil de grosimea de 2 mm marca X18H10T. Buncărul este executat în formă de o piramidă secționată, însă unghiul de înclinare a pereților laterali este ales din condițiile creării puterii de frecare între pereți și cătina amestecată gravitațional. În partea superioară a buncărului de alimentare este amplasat un amestecător. Amestecătorul prezintă un arbore amplasat între două fusuri întăriți rigizi de corpul buncărului. În fiecare fus sunt montați rulmenți mobili elaborați în formă de două bușe de bronz. În acest fel arborele amestecătorului se rotește în doi rulmenți – suport. În scopul creării efectului de amestecare a cătinii la rotirea arborelui, pe suprafața lui sunt fixate la un anumit pas rigolete executate din plăci de foi inoxidabile. Alături stau fixate una de alta pe arbore, diametral opus, suprafețe plane.

În partea inferioară a buncărului – alimentator este amplasat transportorul elicoidal. Transportorul elicoidal (șnec) este executat mixt, în formă de un întreg, din două elemente. Unul din elemente este suprafața elicoidală, formată din două capete strânse unul cu altul, fiecare dintre care are câte un segment înlăturat. Al doilea element este arborele, pe care, prin metoda întinderii strâns se prinde suprafața elicoidală.

Calculul șnecului se efectuează reieșind din productivitatea lui (kg/h) care se determină din expresia [47]:

### Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

---

$$P = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \cdot \frac{S \cdot n}{60} \cdot \rho \cdot \varphi, \quad (7.1)$$

în care: D,d – diametrele corespunzător al șnecului și al arborelui, m;

S – pasul șnecului, m;

n – frecvența de rotire a șnecului, min<sup>-1</sup>;

ρ – masa volumetrică a cătinii, kg/m<sup>3</sup>;

φ – coeficientul de umplere a spațiului șnecului (se aplică =0,8).



## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

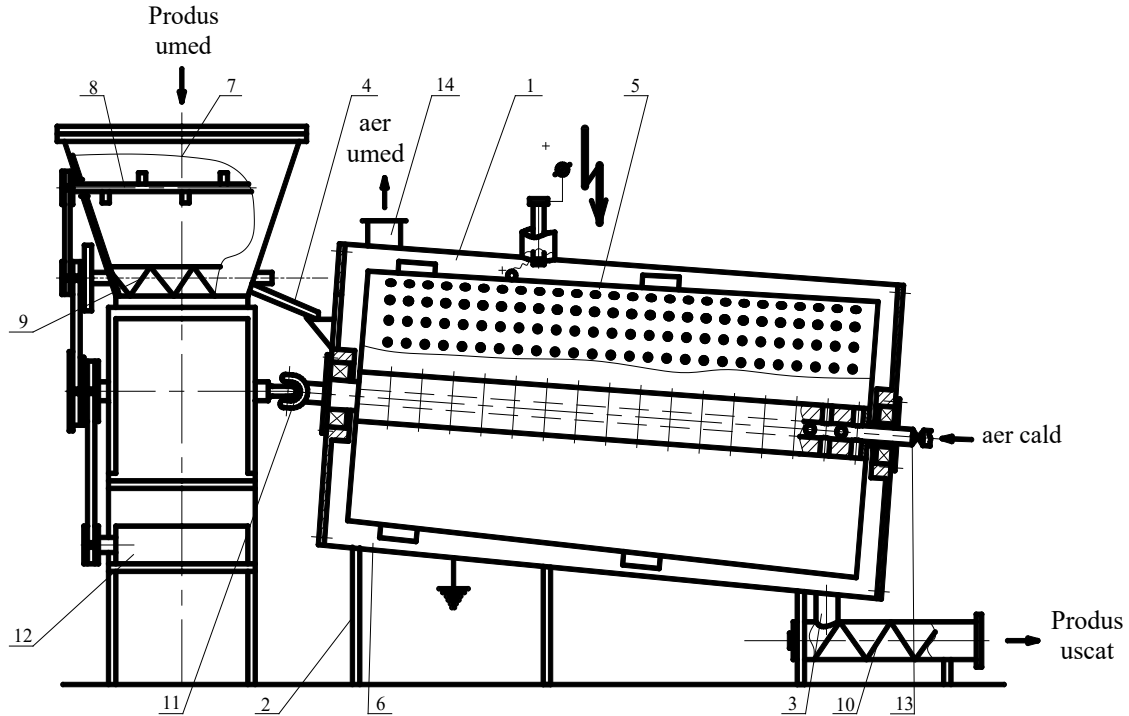


Fig. 7.1. Instalația pentru uscarea cătinii albe cu aplicarea căldurii combinate convecție +UHF

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

Calculul detaliat se efectuează după metoda prezentată în [47]. Rotirea arborelui șnecului se realizează de asemenea în două reazeme – rulmenți mobili. Fundul buncărului alimentator este executată în formă de jgheab, dimensiunile cărora corespund dimensiunilor șnecului de alimentare. Suportul de rulmenți mobili, în scopul protejării lor de nimerirea a materialelor străine și sucul cătinii, sunt protejați cu o garnitură de etanșare din părțile de contact cu cătina.

Din buncărul alimentator cătina, urmînd cursul stabilit, trece în uscătoria tip tobă.

Uscătoria tip tobă prezintă un cilindru amplasat orizontal cu un unghi mic de înclinare față de orizont. Toba este executată din oțel inoxidabil de marca X18H10T. Toba este fixată în cadru executat din colțar laminat în profil. Toba, în punctele diametrale de fixare este dotată cu două capete de țeavă. Țeava cu diametrul mai mic este amplasată în partea de jos a instalației, fiind destinată pentru evacuarea din instalație a produsului uscat. Țeava cu diametrul mai mare este amplasată în partea sa superioară și se folosește pentru evacuarea aburului format (aerului umed).

Pe axa tobei este amplasat un cilindru rotativ perforat. Rotirea cilindrului se realizează pe baza arborelui gol prins rigid de tobă. Între tobă și cilindrul perforat este joc inelar.

Fixarea rigidă a arborelui cu trunchiul de con perforat se efectuează prin flanșa frontală.

Transmisia de rotire a arborelui se realizează pe baza articulației mobile care este legată cu transmisia de bază a instalației.

Cilindrul perforat este executat în formă de trunchi de con. În acest fel jocul coaxial apărut între două cilindrice (cel exterior toba și cilindrul perforat) are după lungimea tobelor o intersecție variabilă. În plus valoarea maximală a intersecției jocului

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

coaxial corespunde zonei de încărcare, iar cea minimală zonei de descărcare.

Suprafața laterală a cilindrului interior este obținută în urma încovoierii foi metalice executată din alamă. Dimensiunile și forma orificiilor tobei perforate se stabilește în corelație cu dimensiunile geometrice ale cătinii, în așa fel ca:

1. să excludă posibilitatea trecerii libere a cătinii prin orificii.;

2. să aibă pierderi minime de substanțe folositoare;

3. să treacă liber prin orificii agentul de uscare.

Pe suprafața laterală a tobei perforate, sunt fixate, plăci la un anumit pas care formează o suprafață elicoidală. În acest fel, plăcile amplasate sub unghi față de axa de rotire a tobei, creează nu doar efectul de amestecare, dar și deplasarea produsului către mecanismul de descărcare a camerei de uscare.

Cîmpul electromagnetic de frecvență înaltă se formează între învelișurile, așa numitului condensator coaxial. În calitate de înveliș interior, adică „+”, servește suprafața exterioară a cilindrului perforat, iar pentru cel exterior, adică „-”, servește suprafața interioară a cilindrului exterior. Alimentarea instalației cu curent de frecvență înaltă se realizează de la generatorul UHF, prin ghidul de unde coaxial.

Intensitatea cîmpului electric (E), ce apare în jocul inelar se determină după formulă [47]:

$$E = \frac{U}{r \cdot \ln \frac{D}{d}}, \quad (7.2)$$

în care U este tensiunea pe căptușeala condensatorului coaxial, în V;

D, d – corespunzător diametrul interior al tobei exterioare și și diametrul exterior al cilindrului perforat, m;

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

$r$  – distanța dintre tobă și cilindrul perforat, m.

Din formula (7.2) se vede că  $r$  are valoare schimbătoare, deci și  $E$  de asemenea va fi o mărime schimbătoare. Schimbarea intensității câmpului electric are loc de la punctul de intrare a produsului în toba de uscare pînă la ieșirea lui. Prin aceasta, dacă luăm în considerare că valoarea  $r$  se micșorează după lungimea tobei în direcția ieșirii produsului uscat, atunci și intensitatea câmpului electric se mărește de asemenea în direcția ieșirii.

În așa fel reieșind din (1.3), valoarea căldurii emanate la prelucrarea cu curenți de frecvență înaltă se mărește pe măsura ieșirii cătinii uscate.

Rotirea cilindrului perforat se realizează cu ajutorul transmisiei 12.

Transmisia constă din motor electric, reductor și trei perechi de curele trapezoidale.

Arborele motorului electric, prin intermediul transmisiei prin curea trapezoidală, transmite mișcări de rotație reductorului melcat. Mișcarea de rotație a arborelui roții melcate se transmite, prin intermediul curelei trapezoidale, asupra arborelui de rotire a cilindrului perforat. De la același arbore prin intermediul a două trepte de perechi de transmisii trapezoidale, amplasate mai jos, se pune în mișcare arborele șnecului transportator 9 și arborele amestecătorului 8.

Descărcarea cătinii uscate se realizează prin intermediul capătului de țeava 3 amplasat în partea inferioară a tobei metalice 1. Din țeava 3 produsul cu șnecul 10 se transportă și se descarcă, cătina uscată se îndreaptă la următoarele operațiuni tehnologice.

Toba de uscare 1 amplasată în rama metalică 2, este executată din colțar în profil.

**Bibliografie**

1. Arsdel W.B. Food dehydration recent advances and unsolved problems // Food Technology. – vol.19. - № 4. – 1965.
2. Bejan A. Termodinamica, tehnica avansată. – Bucuresti: Editura tehnică, 1996. – 848 p.
3. Blaj I., Vâlcu L., ș.a. Economie și management în industria alimentară. Îndrumar metodic privind elaborarea proiectului de diplomă. – Chișinău: UTM, 1998. – 39p.
4. Calculul parametrilor electrofizici pentru sisteme compuse multicomponente / A.S. Lupașco, N.I. Țislinschi, V.P. Tarlev și alții // Teze la conferință.- Brașov (România). – 1997. – p. 307 – 310.
5. Cotelinic A. Managementul unității economice. – Chișinău: Complexul editorial – poligrafic al ASEM., 1998 – 309 p.
6. Holdwarth S.D. Recent development in dehydration and canning. Food Manufacture. – vol.44. - № 11. – 1969.
7. Lericì C.R., Pinnavaia G., Roso M.Dalla. Osmotic dehydration of fruit influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. I. and Food Science. – 2001. - № 5. – 50. – 1. – p. 1217 – 1219.
8. Mastrocola Dino, Lericì Carlo R., Pizzirani Stefano, Romani Santina. Azioni combinate nell'essicamento in corrente d'aria della frutta pretrattamento in soluzioni contenenti etanolo. №36. ИТ.; рез. англ. Ind. alim. 1997, с. 721-725. (Ital.)
9. Permittivity of arderly textured mixture dielectrics / Subramaniam K. Neelakanta P.S., Ungvichion V. // Electron. Lett. – 1991. – 27. - № 17. – p. 1534 – 1535 (англ.).
10. Shen Liang C. And oth. Analysis of the parallele – disk sample holder for dielectric permittivity measurment//IEEE

- Trans. Glosci. And Remote Sens. -1987. -25.№5. -p. 354-540.
11. Tolman R.C. Stational mechanics. – Cambridge, 1940.
  12. Zaiăț I., Bugaian L., Crețu I. Planificarea activității economice. Indicații metodice pentru proiect de an. – Chișinău: UTM, 2002. – 12p.
  13. Абель Ева. Её высочество облепиха: Специально для Gazeta. KZ. 22.11.2004.
  14. Аминов А., Сафаров О. Процесс сушки плодов и винограда нагретым ионизированным воздухом. Хранение и переработка сельхозсырья.- 1999, №8. - с.39-41.
  15. Аминокислотный состав сортовой облепихи Белоруссии и соков из нее / А.Н. Самсонова, Д.К. Шапиро, В.Н. Тимофеева и др. // – Пищевая промышленность. – N5. -с. 48-50.
  16. Анализ опытов прямой солнечной сушки /Mulet A., Berna A., Rossello C., ...// Drying Technol. -1993. -11. - №6. –с. 1385-1400 (англ.).
  17. Анализ плодов облепихи Зарафшинской далины / Х.Ш. Хусаинов, Н.К. Мухамидиев, М.Т. Гулюмова и др. Физические и Химические исследование синтетических и природных соединений. – Самарканд; 1984. – с.57 – 62.
  18. Аралушкина Е.В. Стандартизация фотометрических методов определения микроэлементов в природных объектах. – М.: МГУ, 1978.
  19. Артемова А. Облепиха исцеляющая и омолаживающая. Серия: Путешествие за здоровьем. –М.: ООО Фирма «Диля», 2001. -160 с.
  20. А. С. 1449903 СССР МКИ F26В 17/04. Сушилка для продуктов/ В. А. Тихонович и др. БИ, № 1, 1989.
  21. А. С. 1575030 СССР, МКИ F26В 3/06 Способ сушки плодов слив/Г. В. Шлягун, Е. П. Азэф, Г. Т. Гуйдя, А.

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

- А. Силич. - № 4459804/24.06; заявл. 13.06.1988; опубл. 30.06.90. бюлл. № 24
22. А. С. 1606829 СССР МКИ F26B 9/06, F24I 2/00 Сушилка/ Худяков Г. Г., Божок А. М. №4482939/30-13;Опубл. 15.11.90.
23. А.С. 182 4579 СССР; МКИ 33/02 Устройство для измерения диэлектрических свойств плодоовощной продукции при прогнозировании ее млекоспособности / В.И. Лукашенко и др.- № 4919282; Заявление 18.03.91, Опубликовано 30.06.93, Бюллетень N24.
24. А.С. 183 8733; МКИ F 26 В 3/28. Рационально – конвективная сушка овощей и фруктов / Ш. Сувонкулов, Н.Н. Хамидов, Р.С. Соянов. - № 5003444/06; заяв. 01.08.91.
25. А. С. № 1620050, СССР, С11В 1/10. Гавриш С. Д., Гавриш Н. С. Способ получения масла и сока из плодов облепихи. Опубл. БИ №1, 1991.
26. А. С. № 938900, СССР, А23G 3/00/ Пищевой гранулированный продукт «Даугил»//А. А. Алтымышев, и др. –Опубл. 30.06.82.- БИ. - № 24.
27. Ачилов Б.М., Назаров М.Р. Результаты исследования сушки фруктов с помощью гелиосушильной установки карусельного типа. Гелиотехника, 1988, №3.с.67-69.
28. Баженов Г.П. Установка для терморadiационно-конвективной сушки плодов и винограда // Достижение науки и техники АПК. – 1992. - № 1.- с.26-27.
29. Бирюков В.А. Процессы диэлектрического нагрева и сушки древесины. - М. – Л.: Гослесбумиздат, 1961. – 148с.
30. Богородицкий Н.П. и др. Электротехнические материалы. –Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 304с.

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

31. Бондарь А.Г. Математическое моделирование в химической технологии. - Киев: Высшая школа, 1973. - 280 с.
32. Бондарь А.Г. и др. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. – Киев: КПИ, 1979. – 68с.
33. Борисова М.Э., Койкова С.Н. Физика диэлектриков.- Л.: ЛГУ, 1979. –240с.
34. Боровая Е. Облепиха. –М.: Изд-во АСТ, 1999. – 336 с.
35. Боряк Л., Михайлик Т., Петрова Ж. Особенности сушки каротиносодержащего сырья. Труды конференции «Современные энергосберегающие тепловые технологии». Москва: МГАУ, 2002.- с.130-133.
36. Браун В. Диэлектрики. –М.: Иностранная литература, 1961. – 326 с.
37. Брычков Ю.А., Меричев О.И. Таблицы неопределенных интегралов. – М.: Наука,1986.-192с.
38. Буляндра О.Ф. Технічна термодинаміка: Підруч. для студ. енерг. спец. вищ. навч. Завладіи. – К.: Техніка, 2001. -320с.
39. Бурич О., Берки Ф. Сушка плодов и овощей. М.: Пищевая промышленность, 1978.
40. Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны. –М.: Радио и связь, 1988. – 440 с.
41. Вейник А.И. Термодинамика реальных процессов. - Минск: Наука і техника, 1991.–576с.
42. Вержбицкий В. М. Основы численных методов: учебник для вузов. –М.: Высшая школа, 2005.-840с.
43. Весы лабораторные, технические. <http://www.eurolab.ru/vesilab.htm>
44. Генин С.А. Технология сушки картофеля, овощей и плодов. – М.: Пищепромиздат, 1960. – 248 с.



## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

45. Гинзбург А.С., Дубровский В.П. Определение коэффициентов диффузии влаги в зернистых материалах // ИФЖ. – 1963. – т.6.- №10.-с.27-31.
46. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1973. –528 с.
47. Гинзбург А.С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности. –М.: Агропромиздат, 1985. – 336с.
48. Гинзбург А.С. Технология сушки пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1976. –248 с.
49. Гинзбург А.С., Савина И.М. Массовлагообменные характеристики пищевых продуктов. Справочник. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 280 с.
50. Глуханов Н.П., Фёдорова И.Г. Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов в машиностроении. - Л.: Машиностроение, 1983. – 147 с.
51. Глуханов Н.П. Физические основы высокочастотного нагрева. – Л.: Машиностроение, 1989. – 56 с.
52. Голубев В. Н., Колесник А. А., Исмаилов Т. К. Комплексная переработка облепихи с помощью мембран//Техника и технология. Пищевая промышленность. -№11. -1990. –с. 32-35.
53. Горганцев И.О. и др. // Методика измерения больших диэлектрических потерь / Заводская лаборатория. – 1977. – с.720-721.
54. Гришин М.А. Обоснование технологии сушки пищевых материалов // Труды конференции «Современные энергосберегающие тепловые технологии», Москва, 2002.- с.48-52.
55. Гришин М.А., Шлягун Г.В. Кинетика сушки слив и чернослива без косточки // – Изв. Вузов СССР. Пищевая технология, 1987, -с.78-82.

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

56. Гришин М.А., Ярославская Р., Новикова М. Сушіння білих коріннів пряно-смакових культур у зваженому шарі. Наукові праці, випуск 23, 2002. - с.77-80.
57. Гробавский И.И. Косточки и семена – ценное сырье для переработки. Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии, 1986.- № 6.-94с.
58. Грохольский А.Л. Измерители добротности – куметры. – Новосибирск: Наука, Сибирское отд., 1966. – 259 с.
59. Губиев Ю.К. Перспективы СВЧ – теплотехнологии в пищевой промышленности. // Изв. Вузов. Пищевая технология. – 1986. - № 2.- с.13-17.
60. Губин В.Б. О физике, математике и методологии. – М.: ПАНМС, 2003. – 321 с.
61. Губин В.Б. Физические модели и реальность. Проблема согласование термодинамики и механике. – Алматы: МГП «Демеу» при изд. «Раун» Минпечати республики Казахстан, 1993. – 231 с.
62. Гуменев М.С., Таболин А.Р. Диэлектрические потери в стеклах системы Ag – Ge – Se // Физика и химия стекла. – 1991. - № 1. – с. 36 – 40.
63. Гусев Г.В. Определение электрических характеристик диэлектриков методом разряда // Изв. Вузов. Технология текстильной промышленности. – 1992.- № 3.– с.73-77.
64. Де Гроот, Мазур П. Неравновесная термодинамика. – М.: Мир, 1964. – 456 с.
65. Деккер А. Физика электрических материалов. – Л. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 255 с.
66. Дж. Барфут, Дж. Тейлор. Полярные диэлектрики и их применение. –М.: Мир, 1981. -526.
67. Диэлектрическая релаксация полибензинметакрилата / Kihira I. // Makromol Chem. – 1990. – 191. - № 11. с. 2609 – 2613 (англ.).

68. Долгополов Н.М. Электрофизические методы в технологии строительных материалов. – М.: Госстройиздат, 1971. – 270с.
69. Дерягин Б.В., Нерпин С.В., Чураев Н.В. Испарение воды из капиллярно пористых тел // Физика, химия, биология, минералогия почв СССР: Сб. ст. АН СССР, наука, 1964. 394 с.
70. Дубкова Н.З., Галиярбеков З.К., Николаев Н.А. Исследование кинетики сушки при получении порошков из растительного сырья. //Хранение и переработка сельхозсырья. 2002.-№2.- с.30-33.
71. Дубровин И.И. Целебная облепиха. – М.: Яуза: Эксмо-Пресс, 2000. – 128 с.
72. Дущенко В.П., Байджанов Х.Б., Василенко В.М. Влияние различных форм связи влаги, пористой структуры и температуры на коэффициент внутреннего переноса типичных дисперсных материалов // Тепло-массоперенос: Сб.ст. –Киев, 1968
73. Дущенко В.П., Байджанов Х.Б., Барановский В.М. Зависимость коэффициентов тепло- и массопереноса коллоидных материалов от влажности и температуры // Изв.вузов. Пищевая технология. – 1967. – №3.-с.146-150.
74. Ермаков Б.С. Лесные растения в вашем саду. – М.: Экология, 1992.
75. Жмакин Н.П. Исследование процесса нагрева влажных материалов токами высокой частоты. Докл. АН БССР. – 1960. – с.20-23.
76. Жмакин Н.П. Тепло- и массообмен при высокочастотном нагреве влажных тел // Сб./ Проблемы теплообмена при литье. – Минск. – 1960. – с.172-188.

77. Жукова Т. М. Дикорастущие плоды и ягоды. Целебные свойства, сбор и хранение, консервирование. –М.: Центрполиграф, 2001. -320 с.
78. Журавлёва В.П. Исследование диффузии влаги в капиллярно-пористых телах. – Минск: Наука и техника. 1965. – с. 60-73.
79. Загibalов А.Ф., Дроздов А.И., Саин В.С. Комплексное использование плодовых косточек в пищевой промышленности. – Консервная, овощесушильная и пищевконтратная промышленность, 1988.-№35.- с.1-20.
80. Заявка 2566106 Франция, МКИ F 26 В 15/18, 3/04 Сушилка для фруктов / F. Duc, N. 8406430; Заявл. 24.04.84; Оpubл. 25.10.85.
81. Заявка 2566106 Франция, МКИ F 26 В 3/04, 15/18 Сушилка для фруктов / I. Soyer:m Sover Jacques et Soc. Industrielle Mabor. - N. 8409343; Заявл. 14.06.84; Оpubл. 20.12.85.
82. Здоровые продукты с использованием растительного лекарственного сырья / Л.Н. Саватеева, Н.Т. Пехтерева, Т.П. Юдина и др. // 3 международный симпозион «Экология человека: Проблемы и состояние лечебно – профилактического питания»; 26-30 сентябрь., 1994: Тезисы и доклады – ч. 1. – М.: 1994. – с.47-48 (рус)
83. Зоркий П.М. Структурная химия на рубеже веков. Рос. хим. журнал (Ж. Рос. Хим. об-ва им. Д. И. Менделеева ). Т. XLV. - № 2. – 2001. – с. 3-10.
84. Зуев В. Ф. Скороплодные сады и ягодники. –М.: Агропромиздат, 1991. -96с.
85. Измерение электрических и неэлектрических величин / под ред. Н.Н. Евтихеева. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
86. ИК-облучение плодов и овощей при сушке в гелиоустановках// С. Г. Ильясов, Е. П. Тюрев и др. Техно-

- логия и оборудование пищевой промышленности и пищевого машиностроения. – Краснодар: -1985. -с. 24-34.
87. Иманов Л.М., Аббасов Я.М. Определение диэлектрических коэффициентов при помощи куметра при больших потерях // ЖФХ. –1965. 39. – № 2.-с. 3044-3049.
88. Использование отходов переработки облепихи в производстве кулинарной продукции / Л. П. Ольховская, В. П. Суханова // 3 - международный симпозион «Экология человека: Проблемы и состояние лечебно – профилактического питания»; 26-30 сентябрь., 1994: Тезисы и доклады – ч. 1. – М.: 1994. – с.65-66 (рус)
89. Исследование продуктов переработки облепихи при производстве хлеба / И.Б. Абрименно, Т.Г. Качаева, М.В. Преловская и др. // Всесоюзная научная конференция «Пути повышения качества зерна, зернопродуктов, улучшение ассортимента крупы, муки и хлеба»; 17 – 19 октября, 1989; Тезисы и доклады. – М.: 1989. – с.98-99 (рус).
90. Исследование стабилизации облепихового сока / G. Dongovski, W. Vock, I. Briicner // Nahrung. – 1989. – 33. –№ 7. – с. 631 – 640 (нем).
91. К исследованию процесса сушки плодов и винограда в гелиоустановках. / М.М. и др. Мирзоев // Гелиотехника. –1982. -№ 6.-с.40-43.
92. Кац З.А. Производство сушеных овощей, картофеля и фруктов.– М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.–216 с.
93. Кинетика нагрева и выбор температурных режимов двухстадийной сушки слив. Шлягун Т.В., Брега В.Д. // Новое в технологии переработки фруктов и винограда, 1988. –с.25-36.

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

94. Кинетика сушки абрикосов / Vagenas G.K., Marinos – Kouris D // Drying Technol. – 1991. – 9. - № 3. – с. 735-752 (англ.).
95. Кисилев В. И., Султанаев Р. М. Устройство для измерения диэлектрических свойств материалов на низких и инфранизких частотах// Приборы и техн. эксперимента. -1991.-№ 2.-с. 190-193.
96. Климов Юрий. Облепиховое масло//АиФ Здоровье. -№ 32 (469). 07.08.-2003.
97. Клоков Ю.В., Остапенко А.И., Гинзбург А.С. Сушка в электромагнитном поле. Изв. Вузов. Пищевая технология. – 1987. – № 5.-с.76-79.
98. Княжевская Г.С. и др. Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов. – Л.: Машиностроение.- 1989. –65 с.
99. Ковалева Л.А., Галимбеков А.Д. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико–химические процессы в многокомпонентных средах // вестник Оренбургского государственногоуниверситета. – 2004.– № 1.- с. 141 – 146.
100. Койков С.Н. Физика Диэлектриков // конспект лекций. – Л.: ЛПИ, 1974. – 164 с.
101. Комбинированная солнечная сушильная установка / Захидов Р.А., Кирчизбаев Д.А. и др. // Гелиотехника. – 1988. – № 4.-с.60-64.
102. Комплексная переработка ягод облепихи / В.А. Помозова, Е.В. Ельцева, Т.Ф. Киселева, О.Н. Протасова // Достижения науки и техники АПК. – 2001. – № 7.- с. 20 – 29
103. Коробейников С.М. Диэлектрические материала. Учебное пособие. - Новосибирск: НГТУ, 2000. – 67 с.
104. Корячкина С.Я., Сандракова И.В., Фаттахова О.М. Минеральный состав дикорастущих и культивируемых

- ягод Сибири. – Пищевая промышленность. – 1992.– № 6.– с. 25.
105. Красников В.В. Кондуктивная сушка. – М.: Энергия, 1973. – 288с.
106. Краснощекоев П.С., Петров А.А. Принципы построения моделей. – ФАЗИС: ВЦ РАН, 2000. - 412с.
107. Кремнев О.А. и др. Исследование влияния высокочастотных электрических полей на перенос влаги в капиллярно-пористом материале // Электронная обработка материалов – 1968. –№ 3(9).- с.60-64.
108. Кремнев О.А., Боровский В.Р., Долинский А.А. Скоростная сушка. – Киев: - Гостехиздат УССР, 1963. – 382 с.
109. Кузембаев К., Старчеус П. А. Электрофизические характеристики проса//Изв. Вузов. Пищевая технология. -1977.
110. Кухарева Л. Лекарственные растения. – М.: Махаон Издательская, 2001. – 96с.
111. Куцакова В.Е., Богатырев А.Н. Интесификация тепло- и массообмена при сушке пищевых продуктов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 236с.
112. Лесные ягоды в саду и огороде. Серия: В помощь фермеру. –М.: Проф-Пресс, 2001.-192с.
113. Лупашко А. Интесификация процесса сушки сельскохозяйственного сырья медико-биологической направленности с применением ТВЧ. //Автореферат докторской дисс. – Киев: 1996. – 45с.
114. Лупашко А., Дикусар Г., Лупу О.и др. Интенсификация процесса конвективной сушки плодовых с применением СВЧ. // Наукови праці. – 2002, - Выпуск 23. – с. 143-146.

115. Лупашко А., Дикусар Г., Настас О. Кинетика сушки абрикос с использованием токов СВЧ. //Электронная обработка материалов.-1999. -.№ 2.-с.46-49.
116. Лупашко А, Дикусар Г, Настас О. Кинетические характеристики сушки ядер косточек абрикос с использованием ТВЧ. //Электронная обработка материалов.-2000. - № 6 –с.57-60.
117. Лупашко А., Дикусар Г., Настас О.и др. О применении нетрадиционных методов сушки плодов косточковых. //Сборник трудов IX МНТК.- Донецк, 2002.- т.2.-с.143-146.
118. Лупашко А., Дикусар Г., Настас О. и др. О применении электрофизических методов для сушки плодов косточковых. // СЭТТ.- Москва, 2002.- с. 143-146.
119. Лупашко А., Мустьяца В., Берник М.. Электрофизические параметры красного стручкового перца // Тезисы докладов Всесоюзной НТК / Харьков. – 1990.
120. Лушиц Т. Е. Косточковые: слива, вишня, черешня, алыча, облепиха. –(Серия: «На грядке и в саду»). – СПб.: Книжный дом, -Невский проспект, 2001. -80с.
121. Лыков А.В., Журавлева В.П. Коэффициенты диффузии влаги влажных материалов в процессе сушки // Сб. Тепло – и массоперенос, - К.: Наукова думка, 1968. – т. VI. – ч.1. – с.136 – 146.
122. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория переноса энергии и вещества. – Минск: АН БССР, 1959,-330с.
123. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло и массопереноса. –М.:ГЭИ, 1963.-353с.
124. Лыков А.В. Применение метода термодинамики необратимых процессов к исследованию тепло- и массопереноса // ИФЖ.. – 1965.- № 9.-3.-с.287-304.
125. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 470с



## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

126. Лыков А.В., Теория теплопроводности. –М.: Высшая школа,1967.-600с.
127. Лыков А.В. Тепло- и массообмен в процессах сушки. – М. –Л.: ГЭИ, 1956. – 464 с.
128. Лыков А.В. Явление переноса в капиллярно-пористых телах. – М.: Гостехиздат, 1954. – 296с.
129. Львов И.Г. Что такое энтропия? ЭЛЖ. <http://ilvov.narod.ru/phisica4.htm>, 2002. - 21 с.
130. Максимов Г.А. Основные закономерности переноса тепла и влаги при нагреве в электрическом поле высокой частоты //Сб. / Труды научной сессии, посвященной достижениям и задачам современной биофизики в с/х. АН СССР. – 1955. – с.173-175.
131. Малежик И.Ф., Лупашко А.С., Котелевич Н.Я. Расчет электрофизических параметров для сложных многокомпонентных систем // Тезисы докл. НТК. – Кишинев. –1990. – с.99-100.
132. Маслова Е.А. Как правильно приготовить облепиховое масло в домашних условиях / Е.А. Маслова. – Всеукраинская газета – целительница «Бабушка». – 07.06.2004
133. Матыцин С. М., Новогрудский Л. Н., Розанов К. Н. Методы измерения диэлектрической проницаемости листовых композитных материалов в дециметровом диапазоне// Методы и средства измерений электромагнитных характеристик материалов на ВЧ и СВЧ: Тез. докл. 7-й Всесоюзной научно-технической конференции. -1991. –с. 93-94.
134. Мельник Анатолий. Зеленая золушка: Раздел – здоровье// Зеркало недели. - № 35 (152). -30.08.-5.09.1997.
135. Менке Х., Гундлах Ф. Радиотехнический справочник. М. – Л.: Госэнергоиздат, 1962. - т.2. – 576 с.

136. Минаева В. Г. Лекарственные растения Сибири. -5-е изд. перераб. и доп. –Новосибирск: Наука, 1991.- 431с.
137. Микуров Олег, Петин П. Облепиха из «Сибирского» ее здесь так много, как нигде в мире // Олег Микуров, П Петин - Алтайская Правда. – 141 (24394). – 29.05.2003
138. Минаковский М.М. Электрофизические характеристики влажных картонов и бумаг // Электронная обработка материалов. – 1974. - № 2.-с.62-67.
139. Мустьяца В.Т., Боровский В.Р., Шелиманов В.А. и др. Конвективно-высокочастотная сушка при импульсном нагреве влажных материалов // Тр. КПИ им.С.Лазо. – Кишинев.- 1970. –вып.19.- с.21-27.
140. Мустьяца В.Т., Ганя Г.П., Лупашко А.С. Исследование электрофизических свойств какао-крупки // Электронная обработка материалов.- 1979. – № 2.-с.78-81.
141. Мустьяца В.Т. Тепло-и массообмен во влажных материалах в электрических полях высокой частоты.– Кишинев:Штиинца, 1985 – 62с.
142. Натурные испытания гелиофруктосушильной установки с дискретной продувной теплоносителя / Б. М. Набиханов, Ю. Г. Тюрин, Т. З. Абидов. Гелитехника. - 1988. -№ 4. -1-с. 67-69.
143. Нерпин С.В., Чураев Н.В. Кинетика испарения влаги из капиллярно-пористых тел// ИФЖ. – 1965. – 8. -1.-с.22-26.
144. Нетушил А.В. Влияние условий сушки на кинетику сушки и температуру продукта. *Drying Technol.* 1999. – 17.- № 10. -с.1981-1998 (англ.).
145. Нетушил А.В. и др. Высокочастотный нагрев диэлектриков и полупроводников. – М. – Л.: ГЭИ, 1959. – 480 с.
146. Нетушил А.В. Нагрев неоднородных диэлектриков в высокочастотном электрическом поле // Сб. / Промышленное применение ТВЧ. – М.– Л., 1954. – с.187-216.

147. Никитина Л.М. Термодинамические параметры и коэффициенты массопереноса во влажных метариалах. – М.: Энергия, 1968. – 500с.
148. Новое в технике и технологии сушки овощей и плодов. –М.: ЦНИИТЭИ пищепром, 1970. -22с.
149. Новый способ высушивания плодов и овощей/ Kompany E., Allaf K., Bouvier I. и др. // Inof. Alim. Et. agr—1990.-107. -№ 12. –с. 1243-1248.
150. О расчете величины лучистой энергии солнца, поглощаемой фруктами и овощами в процессе солнечно – радиационной сушки / Г.Г. Умаров и др. – Гелиотехника. – 1984. – № 4. –с. 43-46.
151. Овощефруктовые консервы для профилактики радиационных воздействий на детский организм / С.Ф. Понаморенко, Ю.Д. Пилипенко, Л.Ф. Филиппова // 4 - международный семинар «Экология человека: пищевая технология и продукты»; 24-25 октября 1995: Тезисы и доклады – ч. 2. – М.: - Видное, 1995. – с.270-280 (рус)
152. Окресс Э. СВЧ – Энергетика. – т.3 (применение энергии СВЧ в медицине, науке и технике) – М.: Мир, 1971. – 248 с.
153. Отечественный и зарубежный опыт сушки винограда /Э. С. Гореньков и др., 1991, выпуск 10. -28с.
154. Павлов К., Романков П., Носков А. Примеры и задачи по курсу ПАХТ., Л., -Химия, 1981.-с.384.
155. Панков С. С. Целебная облепиха. Серия: Миникнига. – Санкт-Петербург: ООО А. В. К. – Тимошка, 2000.
156. Панченко М.С., Дущенко В.П. и др. О влияние электрического и магнитного полей на коэффициенты внутреннего массопереноса при сорбций влаги типичными капиллярно – пористые телами в различных температурных условиях //Сб. / Тепло и массоперенос.– Минск: УТМО АНБССР. – 1972. – VI. С. 118 – 123.

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

157. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. Учебник для вузов. Изд. 3 – е перераб. – С. – Петербург: Лань, 2001. – 368 с.
158. Патент 2002 422 Россия, МКИ А 23 В 7/02, F 26В 5/04 Способ сушки жома облепихи / М.С. Василишин, А.К. Виноградов, А.А. Лобанова и др. – № 50004048/13; Заявление 23.07.91, Опубликовано 15.11.93, Бюллетень № 41 – 42.
159. Патент 203 4015 Россия, МКИ С 11 В 9/02 Линия для переработки ягод облепихи: / О.И. Квасенков, О.И. Андропова и др. – № 93044234/13; Заявление 03.09.93, Опубликовано 30.04.95, Бюллетень №12.
160. Патент 2043734, МКИ А 23 L 1/22. Способ получение пищевой добавки из облепихового шрота / В.О. Злочевский, М. Тихман, Т.Архипова, и др. – № 94023864/13; Заявление 1.07.94; опубл. 20.09.95. – 26.
161. Патент 2043741, МКИ А 23 L 2/08 . Концентрат облепихи и способ его приготовления / В.С. Аксельрод, Л.И. Прохорова, С.В. Козырев. – НПО: Алтай - № 5024295/13; Заявление 27.01.02, Опубликовано 20.09.95, Бюллетень № 26.
162. Патент 81300 СРР, МКИ F26В 11/12 17/04 Аппарат для сушки овощей и фруктов/Eskarde Н. Union Technique Aquitaine.-№ 96987; заявл. 21.03.79; опубл. 28.02.83.
163. Патент России 2052743, МКИ F 26 В 11/04 Сушилка / Ю.М.Шакиров, Ф.Ю. Шакиров. – 035035100/06; Опубл. 20.01.96. БИ №2 .
164. Патент России 2059172, МКИ F 26 В 9/06 Лотковые сушилки. Опубл. 29.09.96. БИ № 2.
165. Патент (RU)России № 02118353 С12G 3/06. Чугунова Т. М. Плодовый винный напиток «облепиха». 27.08.98.
166. Першанов К.Л. Конвективно- высокочастотная сушка древесины. –М.: Гослесбумиздат, 1963. – 82 с.

167. Пестрецов С.И. Кинетика и оптимизация процесса конвективной сушки материалов с высоким внутридиффузионным сопротивлением в плотном движущем слое. //Дисс.канд.техн.наук. – Тамбов, ТГТУ. – 2001. – 160с.
168. Петров В.М. Новые применения радиоэлектроники: Разупрочнение горных пород мощным электромагнитным полем СВЧ (продолжение). – Радиоэлектроника и Телекоммуникации. - № 3 (21). – 2002. –с. 49 – 55.
169. Пищевая ценность шрота облепихи / Л.П. Ольховая, В.К. Суханова // Комплексная переработка пищевого сырья и основные направления расширения ассортимента продуктов питания: Тезисы и доклады международной научной конференций 27 – 30 сентябрь., 1993/ Дальневосточный коммерческий институт Владивостока. -1993.-с.91(рус)
170. Преображенский В. Очищение и лечение облепихой. – Ростов-на-Дону: БАРО-ПРЕСС, 2002.-32с.
171. Преображенский В. Полное очищение и лечение калиной, клюквой, облепихой, рябиной, шиповником. – Ростов-на-Дону: БАРО-ПРЕСС, 2002.-64с.
172. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов. – М. : Иностранная литература, 1960. – 127 с.
173. Птушкин А.Т. Сушка пищевых продуктов в поле токов высокой частоты // Сушка в пищевой промышленности. – М.: Профиздат, 1958. – с.144-163.
174. Пугырский И. Н., Прохоров В. Н., Кухарева Л. В. Лекарственные растения. –Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. -95с.
175. Рогов И.А., Горбатов А.В. Новые физические методы обработки мясопродуктов. – М.: Пищевая промышленность. 1974.- 583с.

## Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.

176. Рогов И.А., Некрутман С.В. Сверхвысокочастотный нагрев пищевых продуктов. – М.: Агропромиздат, 1986. – 351 с.
177. Романова Г. Лечение облепихой. (Серия: Советы Анастасии Семеновы и ее друзей) 2001. -126с.
178. Рудобашта С.П. Массоперенос в системах с твердой фазой. – М.: Химия,1980.– 248 с.
179. Румер Ю.Б. Рывкин М.Ш. Термодинамика, статическая физика и кинетика: Учебное пособие –3– е изд. стер. – Новосибирск: Изд – во Новосибирского университета, 2001.– 608 с.
180. Саяхов Ф. Л., Факимов В. С. Обработка водонефтяных эмульсий ВЧ и СВЧ электрическими полями// Электронная обработка материалов. -1978. –№ 5. –с. 62-64.
181. Серебряков В.Н., Колесников Е.В. Методика определения диэлектрических свойств сыпучих сельскохозяйственных продуктов // 6-я Всес. НТК. – М.: 1989. – 39с.
182. Силич А.А., Зозулевич Б.В., Поповский В.Г. Сушка плодов и винограда в тоннельных сушилках. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – с.80.
183. Сканава Г.И. Физика диэлектриков (область слабых полей). – М.–Л.: ГИТТЛ, 1958. – 907 с.
184. Скурихин И. М., Волгарев М. Н. Химический состав пищевых продуктов. Справочник. Изд. 2-ое доп.и перер. кн. 2. –М.: Агропромиздат, 1987.
185. Снежкин Ю. Энергосбережение в процессах сушки коллоидных капиллярно-пористых тел растительного происхождения. // МНПК «Региональные проблемы энергосбережения в производстве и потреблении энергии»./ Тез. доклада. Киев,1999.
186. Совершенствование процессов сушки плодов / Пищев. пром. Сер.: Консервная производство (заруб. опыт). – М.: НИИТЭИПП. – 1986. – вып. 5. – с. 5-7.

187. Совершенствование техники для производства сушеной продукции / Васюк А. М. и др. // Актуальные проблемы развития общ. пит. потреб. коопераций. – М.: 1989. – с. 144 – 147.
188. Содержание свободных аминокислот в семечковых плодах сублимационной сушки / Я. Гречов и др. // Научн. Тр. НИИ консервн. пром – сти. – Пловдив: - 1984. – 20. – с. 123-137 (Болг.).
189. Соколов В.М. Уточнение резонаторного метода измерения параметров диэлектриков // Измерительная техника. – 1992. – № 12.-с.41-42.
190. Солнечная сушка фруктов / Carnegie G.I. // Sol. Energy Agr. – Amsterdam etc., 1991. – с. 335 – 349 (англ.).
191. Способ производства сушеных плодов. Патент 369149 МКИ F 26 В 3/33.
192. Справочник мастера сушильного производства / Б.В. Зозулевич, Л.Н. Кабанов, В.П. Поповский, А.А. Силич. – М.: Агропромиздат. – 1985. – 175с.
193. Справочник по электротехническим материалам / под ред. Ю.В. Корицкого, В.В. Пасынкова и др. В 3-х томах. –Л.: Энергоатомиздат, 1986. -368с.
194. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. –М.: Стройиздат. ч. 2., 1977.
195. Сушеные овощи и фрукты/ В. А. Воскобойников, В. Н. Гуляев, З. А. Кац, О. А. Попов. –М.: Пищевая промышленность, 1980. -323с.
196. Сушка в электромагнитом поле / Ю.В. Клоков, А.М. Остапенков, А.С. Гинзбург. – изд. вузов, Пищевая технология. – № 5, 1987. - с. 76 – 79.
197. Сушка слив воздухом. Сравнение 12 сортов/ Barbnti Davide, Maetrocolo Dino, Severini Corla // Sci. alim.- 1994.-14.- № 1. –с.61-73(англ.).

198. Таиров З. К повышению эффективности исследования солнечной энергии для сушки плодов и винограда // Гелиотехника. – 1983. - № 5. – с. 69 – 72.
199. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов. – М.: Энергия, 1982. – 320 с.
200. Тарлев В.П., Лупашко А.С., Малежик И.Ф. и др. Интенсификация процесса сушки слив с использованием ТВЧ.// РЖ 03.22-19 Р<sub>1</sub> 141. 2003.- том 22.- с.14.
201. Телегин А.С., Швыдкий В.С., Ярошенко Ю.Г. Тепло – массоперенос: Учебник для вузов. –М.: Металлургия, 1995. – 400с.
202. Терешук Л. В. Облепиха в комбинированных молочных продуктах// Молочная промышленность.-2001.- № 5. –с. 48-52.
203. Торговников Г.И. Диэлектрические свойства древесины. М.: Лесная промышленность, 1986. – 128 с.
204. Трофимов Т. Т., Кийко Е. П. Облепиха. –М.: Издат-во МГУ, 1997. -112с.
205. Умаров Г. Я., Тюрин Ю.Г., Умаров Г.Г. Разработка гелиосушительных комплексов для плодоовощных культур // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. – с. 9-11.
206. Умаров Г. Я. и др. Использование низкопотенциальных солнечных установок. – Ташкент. – 1976.
207. Управление процессом высокочастотнотерморadiационно-конвективной сушки плодов и винограда/Г. П. Баженов, Д. П. Губанов, Б. В. Попов, Воронежский технологический институт.-Воронеж, 1992, -7-е (рус.) Доп. В АгроНИИТЭН пишепром 05.05.92, № 2450.
208. Установки для сушки пищевых продуктов : Справочник / М.А. Гришин, В.И. Атаназевич, Ю.Г. Семенов. –М.: Агропромиздат, 1989. – 215с.



209. Участкин П. В. Вентиляция, кондиционирование воздуха и отопление на предприятиях легкой промышленности. –М.: Легкая индустрия, 1980. -243с.
210. Физическая химия / Под ред. Акад. Б.П.Никольского. 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 880с.
211. Филатов О. Г. Лечение облепихой. –СПб: ИД Литера, 2003. -64с.
212. Хатемов С.О., Аверзов Р.Р., Умаров Г.Г. Исследование аэродинамических сопротивлений солнечных водонагревателей. – Гелиотехника. – 1979. - № 2.
213. Хусаинов У.М. Сушка плодов и винограда с использованием аккумуляирования солнечной энергии. – М.: Легкая и пищевая промышленность. – 1983. – 41с.
214. Частотные зависимости диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь пленок поливинилиденфторида (ПВДФ) в СВЧ-области / Osaki Shigeyoshi // L. Polym. Sei. С. 1990. -28. - № 4.- с.147-153 (англ.).
215. Чем полезна облепиха: Medicus – По материалам «Женское здоровье» // Правда. ру. – 26.05.2004. – [http://www.Medicus.ru/?cont=newslwns\\_id=6420](http://www.Medicus.ru/?cont=newslwns_id=6420)
216. Черкинский Ю.С. Общая термодинамика. Второе изд. – М.: Мир, АО «ПОЛИЭКС», 1994. - 504 с.
217. Штерн А. А. Солнечная сушка фруктов// Всесоюзное совещание по интенсификации процессов и улучшенного качества материалов при сушке в основных отраслях промышленности и в сельском хозяйстве/ Серия сельского хозяйства. Профиздат, 1958.
218. Шубин Г.С. Некоторые вопросы влагопереноса в процессе сушки древесины // Изв. Вузов Лесн. Журн. – 1990.– N2.- с. 57 – 60
219. Щадилов Е. В. Лечимся ягодами. Дача вылечит, дача исцелит. –Санкт-Петербург: Питер, 2003. -224с.

## **Uscarea cătinii albe în camp S.H.F.**

---

220. Эйдельмант А. С. Все об облепихе // Будь здоров. -1999. - №6. - с. 4-46.
221. Эйдельмант А.С. Облепиха в медицине, косметики, кулинарий. – М.: Крон – Пресс, 1998. – 376с.
222. Эйдельмант А. С. Стратегическая облепиха//Поиск. - № 3.-2003
223. Экспериментальная солнечная установка для ускоренной сушки с/х сырья/ Сиопян Г. Г., Калошян М. С., Абовян С. С. И др. // Новые виды продукции из плодов и винограда. – М.П -1990. –с. 101-105.
224. Эмме Ф. Диэлектрические измерения. – М.: Химия, 1967. – 223 с.
225. Эткин В.А. Термокинетика (термодинамика неравновесных процессов переноса и преобразования энергии): Учебное пособие для вузов. – 2 – е изд. переработанное и дополненное. – Тольятти, 1999. – 216 с.