

**Natalia Țislinscaia**

**METODE DE USCARE A MĂCEȘULUI**

Chișinău 2007

**CZU 664.854:633.88**

**Ț64**

În monografie este prezentată informația despre tehnica și tehnologia modernă de uscare a măceșului.

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:** A. Lupașco, doctor habilitat în tehnică, profesor universitar.

**Redactor:** M. Bernic, doctor în tehnică, conferențiar universitar.

Este recomandată pentru publicație de către Consiliul Științific al Institutului de Tehnologii Alimentare, proces verbal nr. 6 din 10 noiembrie a. 2006.

Descrierea CIP a Camerei Naționale a Cărții

Natalia Țislinscaia

Metode de uscare a măceșului / Natalia Țislinscaia. – Ch.: ITA, 2007  
- 80 p.

Bibliogr.P 74-80 (163 lit.) ITA

ISBN 978-9975-9970-1-0

100 ex.

664.854:633.88

ISBN 978-9975-9970-1-0

© N. Țislinscaia

## Cuprins

<b>1. Tehnica si tehnologia modernă de uscare a măceşului.....</b>	<b>4</b>
1.1 Bazele teoretice ale transferului de căldură și masă în procesul de uscare a materialelor.....	4
1.2 Tehnica si tehnologia modernă de uscare a măceşului.....	8
1.3 Direcțiile principale de perfecționare a tehnicii si tehnologiei procesului de uscare a măceşului.....	13
1.4. Obiectivele de cercetare.....	15
<b>2. Studiul parametrilor electrofizici ai măceşului .....</b>	<b>17</b>
2.1. Metodica de măsurare parametrilor electrofizici ai măceşului.....	17
2.2. Influența frecvențelor câmpului electromagnetic asupra parametrilor electrofizici ai măceşului.....	23
2.3. Influența umidității asupra caracteristicilor electrofizice ale măceşului.....	28
2.4. Influența temperaturii asupra caracteristicilor electrofizice ale fructului de măceş.....	31
2.5. Elaborarea metodei de calcul a parametrilor electrofizici ai măceşului ca un sistem complex.....	34
<b>3. Elaborarea instalației experimentale de uscare a măceşului .....</b>	<b>36</b>
3.1 Construcția și principiul de funcționare a instalației experimentale .....	36
3.2 Pregătirea preventivă a măceşului și metoda de experimentare .....	43
<b>4. Cercetarea cineticii procesului de uscare a măceşului.....</b>	<b>46</b>
4.1. Uscarea convectiva a măceşului .....	46
4.2. Uscarea combinata a măceşului prin convecție și în câmp electromagnetic de frecvență înaltă.....	48
4.3. Compararea metodelor de uscare a măceşului după rezultatele cercetărilor.....	54
4.4. Influența parametrilor procesului de uscare a măceşului asupra calității produsului finit.....	55
4.4.1. Metodica de determinare a vitaminei C în măceş.....	55
4.4.2. Analiza indicilor calitativi ai măceşului în procesul de uscare a lui .....	56
4.4.3. Corelatia matematică a indicilor calitativi, de temperatură si intensitate.....	56
<b>5. Descrierea matematică a metodei de uscare a măceşului cu utilizarea încălzirii convective și UHF .....</b>	<b>57</b>
5.1 Descrierea modelului matematic al procesului de uscare .....	57
5.2 Controlul modelului matematic la compatibilitate .....	65
<b>6. Construcția principiului de lucru a instalației de uscare propusă .....</b>	<b>68</b>
Concluzii.....	72
Bibliografia .....	74

# 1. TEHNICA ȘI TEHNOLOGIA MODERNĂ DE USCARE A MĂCEȘULUI

## 1.1. Bazele teoretice ale transferului de căldură și masă în procesul de uscare a materialelor

La baza teoriei procesului de uscare a materialelor stau legile de transfer de căldură și de masă care sunt înlocuite de transformări de fază în condiții de interacțiune a materialului cu gaze calde, ca agent de uscare, cu suprafețe fierbinți și influențate de câmpuri exterioare, ca de exemplu electromagnetice și de altă natură.

Procesul de uscare a materialelor, este însoțit de un șir de fenomene complexe de transfer de căldură și de masă atât în straturile interne ale materialului, cât și în cele din mediul care îl înconjoară.

La baza actualei teorii a transferului de căldură și de masă în materialele umede stau metodele termodinamicii proceselor ireversibile, care au fost elaborate în baza lucrărilor fizicienilor irlandezi și belgieni (L.Onzager, De Groot ș.a.). Această teorie și-a găsit o amplă răspândire și dezvoltare în lucrările cercetătorilor din statele CSI.

Bazându-se pe teoria termodinamicii proceselor ireversibile, academicianul A.V.Lîkov [81] a elaborat bazele teoretice și metodele analitice de cercetare a cineticii și dinamicii transferului de căldură și de masă în materialele umede, propunând legea transferului intern de masă, folosită la uscarea materialelor umede, în următoarea formă:

$$j_m = a_m \rho \Delta U - a_m \rho \delta \Delta t \quad (1.1)$$

unde:  $a_m$  - difuzitatea masică, în  $m^2/s$ ;

$\delta$  - coeficientul gradientului de temperatură, în  $K^{-1}$

$\Delta U, \Delta t$ - gradientii umidității, în  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$  și, respectiv, a temperaturii, în  $\text{Km}^{-1}$ ;  
 $\rho$  - densitatea materialului absolut uscat, în  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

Din (1.1) reiese, că gradientul de temperatură opune rezistență transportului de umiditate spre suprafața materialului. Transferul de masă, exprimat prin (1.1), este caracteristic uscării produsului prin convecție cu gaze.

Cercetările savanților A.V.Netușil, A.V.Ptușkin, P.D.Lebedev, I.A.Rogov, N.P.Jmakin, G.A.Maximov, N.L.Perșanov, V.T.Musteața ș.a. au demonstrat, că utilizarea energiei câmpurilor electromagnetice, (cum ar fi de pildă energia UHF), la încălzirea materialelor umede o pondere destul de mare îi revine gradientului de presiune internă.

Conform cercetărilor efectuate de G. A. Maximov [93] și N. P. Jmakin [47], o evaporare intensă a umidității din produs poate fi provocată de un flux de căldură la o viteză înaltă, cum ar fi încălzirea materialelor umede în câmp UHF. În acest caz evaporarea are loc în tot volumul corpului, însă după părerea autorilor [47, 50, 86, 123], într-un mod mai pronunțat evaporarea are loc în centru față de suprafață, ceea ce se lămurește datorită temperaturii sporite în straturile interioare ale materialului. În urma acestui fenomen apare gradientul presiunii totale interne care, după părerea lui G. A. Maximov [93], este forța motrice de bază a procesului de transport a vaporilor în interiorul corpului, și poate fi exprimată prin următoarea expresie:

$$j_{mp} = -K_p \Delta P \quad (1.2)$$

După A. V. Lîkov în câmpul electric alternativ transportul umidității este cauzat, de acțiunea difuziei electrice ( $a_m^e \rho \tilde{E}$ ). Așadar, în cazul general legea transferului intern de masă, privind uscarea materialelor umede se va exprima conform [80]:

$$j_m = a_m \rho \Delta U - a_m \rho \delta \Delta t - K_p \Delta P - a_m^e \rho \tilde{E} \quad (1.3)$$

Relația (1.3) a fost verificată experimental la uscarea silicaghelului [96]. Rezultatele obținute confirmă identitatea acestei relații.

Șubin G.S. [158] menționează, că la încălzirea prin convecție apare și o presiune excedentară. Ea se atenuează atât în sensul suprafeței materialului, cât și spre centru, creând astfel un gradient negativ. Așadar, unicul indice pozitiv la uscarea materialelor umede prin metoda convectivă, conductivă și prin radiație este gradientul umidității. În cazul încălzirii intensive a materialelor umede prin intermediul câmpului electromagnetic de frecvență înaltă gradientii  $\Delta U$ ,  $\nabla \Delta t$  și  $\Delta P$  favorizează transportul umidității în straturile superficiale, distingându-se prin aceasta de alte metode de încălzire.

Conform [81] deplasarea atât a fluxului de căldură cât și a fluxului de masă este cauzată de unele și aceleași forțe. Transferul de masă este determinat, atât de capacitățile mecanice și structurale ale materialului, de parametrii fizici, de formele de legătură dintre umiditate și scheletul corpului, cât și de condițiile de interacțiune a materialului cu mediul ambiant. În materialele umede transferul de umiditate, cum se consideră [82], se poate manifesta în formă de lichid sau de vapori.

De menționat că absorbția și deplasarea umidității în materiale într-o mare măsură depinde de prezența capilarelor de diferite forme și dimensiuni. Așadar, după cum indică și Iu. L. Kavkazov [55], în cazul absorbției umidității din atmosferă la presiune normală se completează cu umiditate numai microcapilarele cu raza  $r < 10^{-4}$  mm, cele cu raza  $r > 10^{-4}$  mm umplându-se doar la contactarea nemijlocită a mediului dispers cu lichidul și pot elimina complet umiditatea în atmosfera saturată cu vapori de apă [142].

La apariția gradientului de temperatură în corpurile umede se observă o circulație a lichidului în același sens ca și fluxul de căldură [158]. Un aport considerabil în domeniul cercetării mecanismului transportului pelicular a lichidului în sistemele capilare au adus savanții V.V.Dereaghin, N.V. Ciuraev.

S.V.Neprin s.a. [39, 113]. Conform lui B.V.Dereaghin, potențialul transferului pelicular, reprezintă gradientul presiunii de împănare. În procesul de uscare eliminarea umidității din materiale în mod deosebit este influențată de circulația aerului umed în macropori, apărând concomitent cu gradientul de temperatură. În acest caz are loc separarea termică și difuzică a vaporilor de apă ( $\mu = 18 \text{ kg/Kmol}$  - gazul ușor și  $\mu = 29 \text{ kg/Kmol}$  - aer), capetele capilarelor încălzite mai puternic fiind în așa fel saturate cu vapori de apă, iar cele mai puțin încălzite sunt alimentate cu aer uscat din atmosferă.

Pornind de la legile conservării energiei și a masei A. V. Lîkov [81] a obținut sistemul de ecuații diferențiale a transferului de căldură și de masă în materialele umede, luând în considerație transformările de fază la transportul convectiv a căldurii antrenate de fluxul vaporilor și a lichidului din material. Ecuațiile diferențiale care descriu procesele elementare menționate sunt reprezentate în următoarea formă:

$$c\rho \frac{dt}{d\tau} = -\text{div}j_q + \varepsilon\rho \frac{dU}{d\tau} \quad (1.4)$$

$$\rho \frac{dU}{d\tau} = -\text{div}j_m \quad (1.5)$$

unde:  $c$  - capacitatea specifică de căldură a materialului, în  $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ;

$\rho$  - căldura latentă de vaporizare, în  $\text{J}/\text{kg}$ ;

$\varepsilon$  - criteriul transformării de fază.

Uscarea materialelor umede cu aplicarea câmpului electromagnetic de înaltă frecvență crează surse interne de căldură și, deci, sistemul de ecuații diferențiale a transferului de căldură se va modifica:

$$(1.6)$$

$$\rho \frac{dU}{d\tau} = -\text{div}j_m \quad (1.7)$$

unde:  $P_v$  - puterea sursei de căldură a câmpului electromagnetic de înaltă frecvență raportat la volumul materialului supus uscării, în W/m<sup>3</sup>.

$P_v$  se determină prin relația [27, 114]:

$$P_v = 0,555f\varepsilon'tg\delta E^2 \cdot 10^{-6} \quad (1.8)$$

Coeficienții transferului de căldură și de masă, indicați în (1.6) și (1.7), variază la rândul său, și depind de factorii atât interni, cât și cei externi ai sistemului. Grație simplificării acestei ecuații sânt deduse admitând coeficienții transferului constanți. Pentru fiecare material, sau grup de materiale, ei se determină experimental. Aprecierii acestor coeficienți sunt dedicate lucrările cercetătorilor L.M.Nikitin, M.F.Kazanskii, V.P.Dușcenco, V.P.Juravleva, G.A.Maximov [45, 51, 56, 93, 114] ș.a.

Sistemul ecuațiilor diferențiale (1.6) și (1.7) nu conține termenul prezentat în expresia (1.2). Acest termen poate fi luat în considerație într-o oarecare măsură cu fluxul total, coeficienții transferului de masă și de căldură din sistemul (1.6) și (1.7) fiind determinați numai în cazul influenței câmpurilor electrice.

Problema transportului intern de masă în material este abordată în multe lucrări. Însă ele nu pot cuprinde toți factorii care apar la astfel de fenomene complexe. Un interes deosebit prezintă studierea unui număr de subiecte așa ca determinarea coeficienților de transfer la aplicarea câmpurilor electrice, ponderea fluxului umidității în fluxul total de masă, viteza de relaxare a câmpurilor potențiale în materialele umede, rezolvarea analitică a sistemului de ecuații neliniare privind schimbul de masă și de căldură.

## **1.2. Tehnica și tehnologia modernă de uscare a măceșului**

Implementarea teoriei de transfer de căldură și masă are o mare importanță pentru materia primă medico-biologică. La acest tip de materie primă pot fi



atribuite și fructele de măceș, care reprezintă un concentrat vegetal natural de polivitamine. În fructul de măceș se conțin vitaminele P, B<sub>2</sub>, K și polivitaminele A și E. Din acest motiv, el se utilizează îndeosebi ca materie primă medicinală în vederea obținerii concentratului de vitamină C, carotină, uleiuri și alte substanțe de valoare.

În afară de vitamine, fructul de măceș mai conține și o cantitate considerabilă de zahăr, acid organic, substanțe de pectină și de tăbăcire, precum și săruri minerale, ceea ce determină utilizarea lui largă în industria alimentară la prepararea tincturilor, siropurilor și dulcețurilor.

Pentru utilizarea în scopuri medicale, de regulă, se folosesc fructele uscate de măceș, astfel, ca din ele să fie posibilă extragerea maximală a componentilor necesari și prețioși, datorită conținutului minimal de apă.

Actualmente, fructul de măceș în deosebi, se pregătește prin metoda uscării naturale. Acest proces de lungă durată periodic, necesită cheltuieli mari de forță de muncă, astfel, ducând la mari pierderi de ulei, vitamina C și alți indicatori de calitate. Reieșind din literatura de profil, alte metode de alimentare cu energie nu și-au găsit largă răspândire [3].

Fructele de măceș reprezintă o structură eterogenă și neomogenă complicată, cărora le este caracteristică existența fazelor tari, lichide și de formare a gazelor.

În dependență de specie și locul de creștere, fructele de măceș pot căpăta diferite forme: alungite, rotunde, ovale, etc.

Greutatea unui fruct variază în limitele 0,2<sup>6</sup> kg. După structură, fructul e format din membrana externă, în interiorul căreia se află semințele. Suprafața internă a membranei, precum și semințele, sânt acoperite cu puf mărunț. Membrana reprezintă o peliculă și miez, care apără semințele de posibilele efecte nedorite. Ca regulă, din masa totală, masa semințelor reprezintă 15%-44%, iar masa miezului variază de la 56% la 85%.

Unul din indicatorii de bază ai fructului de măceș, ca obiect de uscare, îl reprezintă umiditatea sa. La uscarea măceșului, umiditatea de pe suprafața internă a miezului și din semințe, trebuie să treacă prin macro- și microcapilarele miezului spre suprafață, iar după aceea să fie eliminată în afară. Din acest motiv, procesul de uscare al măceșului este destul de îndelungat. Utilizarea anumitor metode de uscare intensivă care provoacă deteriorarea fructului este neefectivă.

Mărunțirea fructului până la uscare permite de a micșora esențial durata procesului. Însă, e cunoscut faptul [3], că în fructele mărunțite se intensifică procesul de oxidare a fermenților, care contribuie la distrugerea vitaminei C. Pentru păstrarea activității biologice a fermenților în [3], se presupune ca fructele mărunțite până la uscare să fie supuse sulfitații uscate sau umede cu desulfatația ulterioară la finele procesului de deshidratare. Însă, după părerea noastră, aceasta complică mult tehnologia procesului de producere a fructelor uscate de măceș.

Din acest motiv, metoda de uscare mai sus menționată nu a obținut o largă răspândire. Practic, uscării se supun doar fructe întregi.

Optimizarea parametrilor cu regim special, la uscarea fructului de măceș, depinde mult de prezența caracteristicilor termofizice. Dar, până la momentul actual, din diferite considerente, ele nu sânt definite și studiate. O importanță deosebită a fructelor de măceș, ca obiect biologic, o prezintă valoarea lor energetică și componența de vitamine. Astfel, valoarea energetică, după cum arată analiza bibliografică, în comparație cu alte fructe proaspete de acelaș gen, reprezintă 423 KJ, iar pentru cele uscate - 1060 KJ.

În structura vitaminelor, locul prioritar îl ocupă vitamina C. Conform GOST 1994-76, la recalcularea în masă uscată, componența vitaminei C în fructele uscate nu trebuie să fie mai mică de 1%.

Componența vitaminelor și zahărului în fructul de măceș determină o stabilitate energetică ne semnificativă și necesită o abordare mai serioasă în vederea

alegerii metodei de uscare, construcției instalației de uscare și regimului de deshidratare. Efectuarea corectă a procesului de uscare trebuie să asigure o maximală păstrare în fruct a uleiului, vitaminei C și altor substanțe prețioase.

Durata perioadei de păstrare a fructelor uscate, de regulă, mult depinde de umiditatea lor uniformă. Masa uniformă de umiditate a fructelor uscate la temperatura de 18<sup>0</sup>-20<sup>0</sup> C (mediului ambiant) și la o umiditate a aerului de 63% reprezintă 12%. Însă, e cunoscut faptul că la deshidratare în aparatul de uscare are loc fluctuația umidității finite. Studiarea proprietăților hidroscoapice ale fructului de măceș oferă posibilitatea de a determina variația limitelor minimale și maximele a fluctuației umidității între 12 și 14% [3].

Deshidratarea fructelor de măceș are loc prin uscarea naturală și artificială.

Uscarea naturală reprezintă influența căldurii asupra fructului prin razele solare. Dar aceasta duce la mari pierderi ale vitaminei C. De aceea, uscarea se efectuează la umbră. Acest proces este de lungă durată, ceea ce duce, în rezultatul contactului îndelungat cu mediul înconjurător, la pierderi de ulei, acid ascorbic și a altor substanțe de valoare. Din alt punct de vedere, acest proces e dificil, deoarece necesită un volum mare de muncă și de suprafață, și mult depinde de condițiile climaterice în regiunea de culegere și uscare a fructelor, de asemenea, e și mai puțin igienic.

Uscarea artificială se efectuează de recoltători în condiții de casă pe tavă, la o alimentare energetică suplimentară neînsemnată. În aceste condiții lipsește posibilitatea de a regla temperatura, ceea ce duce la uscarea neuniformă a fructului, în dependență de grosimea stratului. Aceasta, în final, conduce la diminuarea calității tuturor indicilor fructelor uscate, în deosebi la pierderi de ulei și a vitaminei C.

În Institutul de Cercetări în Industria Alimentară din Georgia s-a încercat utilizarea mostrelor de uscătorii ale fructului de măceș. Acest studiu s-a efectuat la

mașini de tipul PKS-10. Ele au demonstrat că pierderile acidului ascorbic în aceste uscătorii sânt mai mici comparativ cu uscarea naturală în condiții de casă. În aceste condiții temperatura agentului termic atinge valorile de 72-80 °C. Din rezultatele obținute se poate concluda că umiditatea finală a fructului rămâne destul de înaltă. De aceea, s-a propus o mașină de uscare divizată în 2 părți, astfel ca fructele uscate să fie încărcate odată în mașina de uscat la temperatura de 54-72 °C. Însă aceste cicluri de uscare, majorează dificultatea procesului și cheltuielile efectuate.

Necătând la faptul că uscătoria este un element extrem de important, în tehnologia industriei de uscare a fructelor de măceș, determinantul include cele mai mici pierderi de ulei și de vitamina C. Însă, reieșind din informația bibliografică de specialitate, până în prezent încă nu este determinată tehnologia de uscare a fructului de măceș, care să asigure păstrarea indicilor calității înalte.

În scopul intensificării procesului de uscare și păstrării maxime a indicilor calitativi inițiali, este necesar de a deteriora membrana exterioară a fructului. O metodă este blanșarea, dar cercetările descrise în [3], au demonstrat că blanșarea prealabilă a fructului, înainte de uscare, influențează negativ asupra calității fructului. S-a menționat [3], că coaja măceșului se înnegrește, dar temperatura majorată până la 55 °C conduce la micșorarea procentuală a conținutului de vitamină C. Aceasta relevă faptul că apar procese nedorite de fermentare în interiorul fructului.

Cercetările au demonstrat că la temperatura agentului termic de 80 °C se asigură o păstrare a culorii fructului, precum și a conținutului de vitamină C. Majorarea temperaturii până la 100 °C intensifică procesul de uscare, conținutul de acid ascorbic rămânând la nivelul inițial, în schimb, se remarcă schimbări ale culorii - fructele se înnegresc. Dar cum observăm din analiza oferită din literatură, procesului de uscare a fructelor de măceș până în prezent nu i s-a atras atenția binemeritată.

Toate acestea au demonstrat că metodele propuse sânt nesatisfăcătoare pentru optimizarea procesului de uscare.

### **1.3. Direcțiile principale de perfecționare a tehnicii și tehnologiei procesului de uscare a măceșului**

Analiza literaturii în domeniu ne demonstrează că până în prezent problemelor ce țin de uscarea măceșului iute nu li s-a acordat o atenție cuvenită. Instalațiile recente și elaborările existente nu pot exclude complet neajunsurile metodelor tradiționale de uscare. Puțin este studiată și influența diferitor metode de uscare a măceșului asupra calității produsului finit. Toate acestea ne demonstrează că cercetările efectuate anterior nu pot permite cu siguranță de a alege metode eficiente de uscare.

Reieșind din cele expuse mai sus, putem menționa următoarele neajunsuri esențiale ale procedeelor de uscare actuale:

- ▶ Încălzirea neuniformă a stratului de material, deci o parte a măceșului se usucă parțial, iar cealaltă se usucă excesiv;
- ▶ Durata îndelungată a procesului de uscare, fapt ce reduce esențial calitatea produsului finit;
- ▶ Apariția macro- și microflorei;
- ▶ Cheltuieli enorme de muncă;
- ▶ Mecanizarea și automatizarea imperfectă a procesului de uscare.

Studiul minuțios a metodelor de reducere considerabilă ale acestor neajunsuri a prezis necesitatea modernizării tehnicii și tehnologiei actuale de uscare a măceșului în direcțiile următoare:

- modernizarea tehnologiilor și utilajului existent;
- elaborarea liniilor mecanizate de producere neîntreruptă a măceșului;
- elaborarea tehnologiei și utilajului avansat pentru uscarea măceșului.

Modernizarea tehnicii și tehnologiei avansate are ca scop trecerea de la uscătoriile de tip cameră cu acțiune periodică (depășită moral și fizic) la uscătoriile

de tip conveer cu acțiune continuă, cu un nivel înalt de automatizare, inclusiv și a operațiilor auxiliare de încărcare și descărcare.

În ultimul timp o atenție deosebită se acordă procedeelor electrofizice de evaluare a energiei termice, privind utilizarea diferitor câmpuri electromagnetice din spectrul vizibil (radiații infraroșii, tuburi cu descărcare în gaz) și invizibil (contact electric, curenți de înaltă (UHF) și supraînaltă (SHF) frecvență) [91, 92, 94, 119, 124, 133, 142].

În cazul utilizării radiațiilor infraroșii procedeul de uscare se desfășoară datorită încălzirii atât interioare în volum, cât și celei exterioare prin radiație. Aceasta permite crearea condițiilor acționării gradientilor de temperatură și de umiditate în acelaș sens, ce conduce la intensificarea procesului de câteva ori. Pe lângă aceasta, utilizarea spectrului vizibil permite de a forma la suprafața produsului un strat dur, ce mărește durata de păstrare și livrare. Aplicarea acestui procedeu favorizează reglarea temperaturii în procesul de uscare, cu o precizie destul de înaltă, ce permite de a economisi considerabil resursele energetice.

S.G. Ilianov și V.V. Crasniacov menționează [59] că încălzirea rapidă în volum, datorită radiațiilor infraroșii, sporește adsorbția umidității, intensificând procesul de uscare și stopând inactivitatea fermenților.

Esența procedeului de încălzire prin contact electric constă în faptul, că curentul electric, trecând prin produsele ce posedă rezistență electrică, provoacă încălzirea lui.

Un interes deosebit prezintă alegerea corectă a frecvenței curentului electric. De exemplu, utilizarea curentului electric de frecvență industrială favorizează electroliza. Această histereză specifică depinde de frecvența curentului: la mărirea frecvenței curentului ea se reduce. În acest sens au fost efectuate o serie de cercetări care au permis de a preciza frecvența admisibilă a curentului în procedeul menționat. Astfel cercetările electrochimice cu electroliții au demonstrat

[115] că frecvența admisibilă pentru uscarea prin contact electric variază între 8 și 10 KHz.

Unele dintre cele mai perspective metode de intensificare a procesului de uscare a măceșului, după părerea noastră, sunt procedeele de uscare ce utilizează energia câmpurilor electromagnetice puternice, de pildă, cu curenți de frecvență înaltă (UHF).

#### **1.4. Obiectivele de cercetare**

Pentru intensificarea procesului de uscare a măceșului iute cea mai perspectivă este metoda electrofizică, bazată pe utilizarea energiei câmpului electromagnetic de frecvență înaltă.

Obiectivele cercetărilor sunt:

- analiza teoretică și studiul experimental al cineticii procedeeului de uscare a măceșului în câmpuri electromagnetice de înaltă frecvență;
- cercetarea parametrilor electrofizici ai măceșului, privind determinarea parametrilor optimali;
- stabilirea datelor inițiale pentru proiectarea instalației de uscare a măceșului iute cu utilizarea câmpului electromagnetic de frecvență înaltă.

Au fost propuse următoarele etape de rezolvare a problemei în cauză:

1. elaborarea instalației de laborator pentru determinarea parametrilor electrofizici ai măceșului;
2. efectuarea cercetărilor experimentale pentru aprecierea proprietăților electrofizice ale măceșului și ale componentilor lui principali: semințelor, pericarpului și a amestecului din semințe și pericarp, tangenta unghiului de pierderi ( $\text{tg}\delta$ ) și permitivitatea dielectrică relativă ( $\epsilon'$ ).

3. elaborarea instalației de laborator pentru cercetarea cineticii procedului de uscare a măceșului pentru utilizarea energiei câmpului electromagnetic de frecvență înaltă.
4. studiul cineticii procesului de uscare a măceșului privind utilizarea diferitor procedee de aplicare a energiei termice: convecția fără curenți de frecvență înaltă și convecția în combinație cu curenții de frecvență înaltă.
5. proiectarea instalației pentru prelucrarea termică a măceșului în câmp de frecvență înaltă bazată pe cercetările experimentale a cineticii procesului de uscare a măceșului prin utilizarea curenților de frecvență înaltă.



## 2. STUDIUL PARAMETRILOR ELECTROFIZICI AI MĂCEȘULUI

Rezultatele cercetărilor proprietăților electrofizice ( tangenta unghiului de pierderi dielectrice  $\text{tg}\delta$ , permitivitatea dielectrică relativă  $\varepsilon'$  și factorul de pierderi  $k$ ), au fost prelucrate cu ajutorul MEC folosind metoda grafo-analitică. În acest scop au fost folosite programele de tip SUPERCALC - 5, MACHCAD 5.0 și COREL CHART 5.0.

În cercetările experimentale efectuate parametrii variau în următoarele intervale: umiditatea - 0, 7.0, 14.0, 24.0, 29.0 și 34.0 %; temperaturile produsului - 18.0 ...100.0 °C și frecvențele câmpului electromagnetic 15 și 45 MHz [87, 96, 102].

Influența particularităților electrofizice a măceșului și a componentilor lui în funcție de frecvența câmpului electromagnetic, umiditate și temperatura produsului este reprezentată în fig. 2,4 – 2,10

### 2.1. Metodica de măsurare a parametrilor electrofizici ai măceșului

Actualmente, măsurarea parametrilor electrofizici ale produselor poate fi efectuată prin diferite metode. Parametrii de bază supuși măsurării sunt: tangenta unghiului de pierderi ( $\text{tg}\delta$ ) și permitivitatea dielectrică relativă ( $\varepsilon'$ ). Însă printre cele mai răspândite metode de măsurare a parametrilor electrofizici ale dielectricilor pot fi numite: metoda punților [84], metoda de rezonanță [112] și metoda aplicării liniilor de măsurare (de ghidare a undelor) [112].

Folosirea uneia sau altei metode menționate mai sus depinde în mare măsură de frecvența câmpului electric în care este amplasat dielectricul. După cum s-a stabilit în [16, 35], metodele punților se aplică în diapazonul frecvențelor de  $10^2$  ...

$10^7$ Hz, metodele rezonanțelor –  $10^5 \dots 10^{10}$  Hz și metodele undelor –  $10^9 \dots 10^{11}$  Hz.

Pentru măsurarea parametrilor electrofizici, în diapazonul frecvențelor câmpului până la  $10^{10}$  Hz, cel mai des este folosită metoda rezonanțelor. Metodele rezonanțelor (prin circuit și autogenerator) sunt bazate pe transformarea parametrilor condensatorului celulei de măsurare (inclusă în circuitul conturului LC) în valoarea ce-i revine factorului calitativ și frecvenței de rezonanță a circuitului. Aceste metode dau o precizie satisfăcătoare la aprecierea tangentei unghiului de pierderi ( $\text{tg}\delta$ ) și permitivității dielectrice relative ( $\epsilon'$ ).

Însă metodele de circuit în rezonanță, după cum s-a menționat și în [84], din punctul de vedere metrologic, sunt cele mai simple. Ele se aplică la aparatele Q - metru. Există diverse procedee de măsurare a parametrilor electrofizici cu ajutorul aparatului Q - metru. De obicei, ele se aleg în fiecare caz concret și pentru fiecare material aparte. O răspândire largă au căpătat procedeele din două și trei măsurări, metodică cărora este descrisă în [22, 93]. Procedeele din două măsurări este mai simplu și se folosește în schemele de măsurare în care lipsesc linii lungi de conectare. În caz contrar, se folosește metoda din trei măsurări, excluzând din calcule capacitățile electrice a acestor linii.

Schemele echivalente prezintă un avantaj vădit la analiza proceselor de măsurare a parametrilor electrofizici ai materialelor și la deducerea relațiilor de calcul în metodele menționate. Dintre cele mai simple scheme echivalente a materialelor semiconductoare este cea cu conectare paralelă și cea cu conectare în serie. După cum se menționează în [31, 35, 56, 93, 110, 113], prima schemă se întâlnește cel mai des la calculul parametrilor dielectrice.

Însă, la determinarea proprietăților dielectricilor cu pierderi mici (când  $\text{tg}\delta < 1$ ), după cum se demonstrează în [23, 83, 110] este metoda rezonanței.

Reieșind din cele expuse mai sus, studiarea caracteristicilor electrofizice ale măceșului iute a fost efectuată prin aplicarea metodei de rezonanță prin efectuarea a trei măsurări.

După cum se știe, principiul de bază a metodei de rezonanță constă în faptul, că la schimbarea parametrilor circuitului oscilant, la care este conectat condensatorul de măsurat umplut cu materialul supus cercetărilor, se poate de determinat parametrii condensatorului de măsurat. Aplicând schema paralelă echivalentă putem considera că condensatorul de măsurat poate fi înlocuit cu două condensatoare conectate în paralel. Unul din ele este condensatorul de măsurat în lipsa produsului, iar altul convențional reprezintă materialul ce trebuie studiat. În acest caz, este necesar de examinat trei circuite oscilante (fig.2.1 și 2.2).

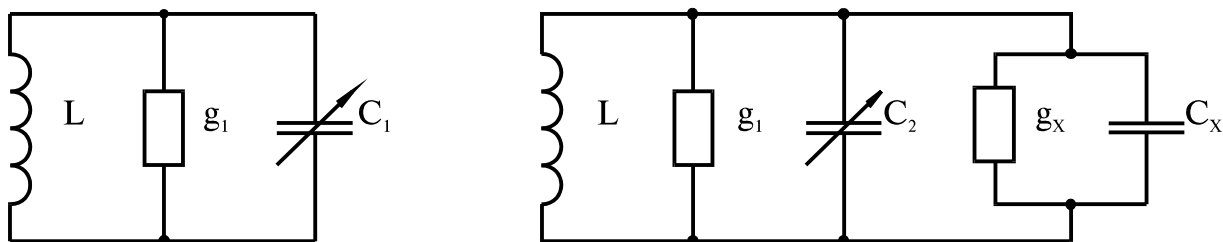


Fig. 2.1. Schema circuitului oscilant pentru măsurarea parametrilor bobinei și condensatorului de măsurat fără produs.

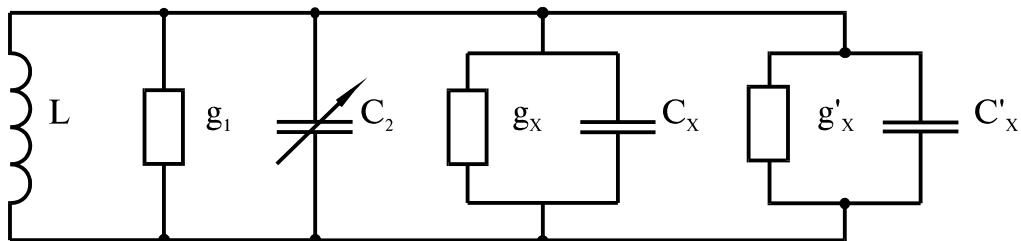


Fig. 2.2. Schema circuitului oscilant pentru măsurarea parametrilor produsului.

Determinarea parametrilor condensatorului de măsurat prin variația frecvențelor s-a efectuat în trei etape. Prima etapă constă în conectarea bobinei de inducție la Q-metru și schimbând capacitatea condensatorului de reglare se pune circuitul în rezonanță și se determină factorul calității  $Q_1$  și capacitatea de rezonanță  $C_1$ . La etapa a

doua, conectând în contur condensatorul de măsurat fără produs, s-au determinat folosind aceeași metodă  $Q_2$  și  $C_2$ . A treia etapă s-a redus la conectarea condensatorului de măsurat umplut cu produsul studiat și repetând aceleași operații precedente s-a determinat  $Q_3$  și  $C_3$ .

Calculul tangentei unghiului de pierderi dielectrice ( $\text{tg}\delta$ ) și a permitivității dielectrice relative ( $\varepsilon'$ ) a ardeiului iute s-a efectuat, utilizând relațiile [113]:

$$\text{tg}\delta = \frac{(Q_2 - Q_3) \cdot C_1}{Q_2 \cdot Q_3 (C_2 - C_3)}, \quad (2.1)$$

$$\varepsilon' = \frac{C_2 - C_3}{C_0} \quad (2.2)$$

unde:  $Q_1, C_1$  - factorul calitativ și, respectiv, capacitatea circuitului în rezonanță fără condensatorul de măsurat;

$Q_2, C_2$  - factorul calitativ și respectiv capacitatea circuitului în rezonanță cu condensatorul de măsurat fără produs;

$Q_3, C_3$  - factorul calitativ și, respectiv, capacitatea circuitului în rezonanță cu condensatorul de măsurat umplut cu produs;

$C_0$  - capacitatea condensatorului de măsurat în vid. Capacitatea condensatorului s-a calculat după relația [84]:

$$C_0 = 6.95 \frac{D^2}{d} \quad (2.3)$$

unde:  $D$  - diametrul plăcii condensatorului, în m;

$d$  - distanța dintre plăcile condensatorului, în m;

Permitivitatea dielectrică relativă  $\varepsilon'$  a fost apreciată cu o precizie de  $\pm 5\%$ , iar tangenta unghiului de pierderi dielectrice ( $\text{tg}\delta$ ) - cu  $\pm 8\%$ .

Cercetările parametrilor electrofizici ai măceșului au fost efectuate în instalația de laborator care este reprezentată pe fig. 2.3.

Instalația conține Q - metru E4-5A 1 la care se conectează condensatorul de măsurat 2 umplut cu produs și bobina de inducție 3. Parametrii electrofizici ai ardeiului iute au fost determinați la diferite temperaturi ale lui. Încălzirea produsului din condensator se efectuează cu ajutorul elementelor electrice de încălzire 4. Temperatura ardeiului iute s-a măsurat cu termocuplul „cupru – constantaniu” 5, conectat la puntea de măsurare P - 4833 6, sudura rece fiind amplasată în termostatul cu gheață 7.

Condensatorul de măsurare reprezintă două plăci rotunde cu diametrul 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 din condiția de reducere a efectelor marginale la minimum. Pentru aceasta diametrul interior al inelului izolator a fost acceptat de a fi mai mic cu 0,001 m față de cel al plăcii rotunde. Condensatorul de măsurare s-a instalat într-o cutie metalică pentru micșorarea acțiunii capacităților și inducțiilor parazitare.

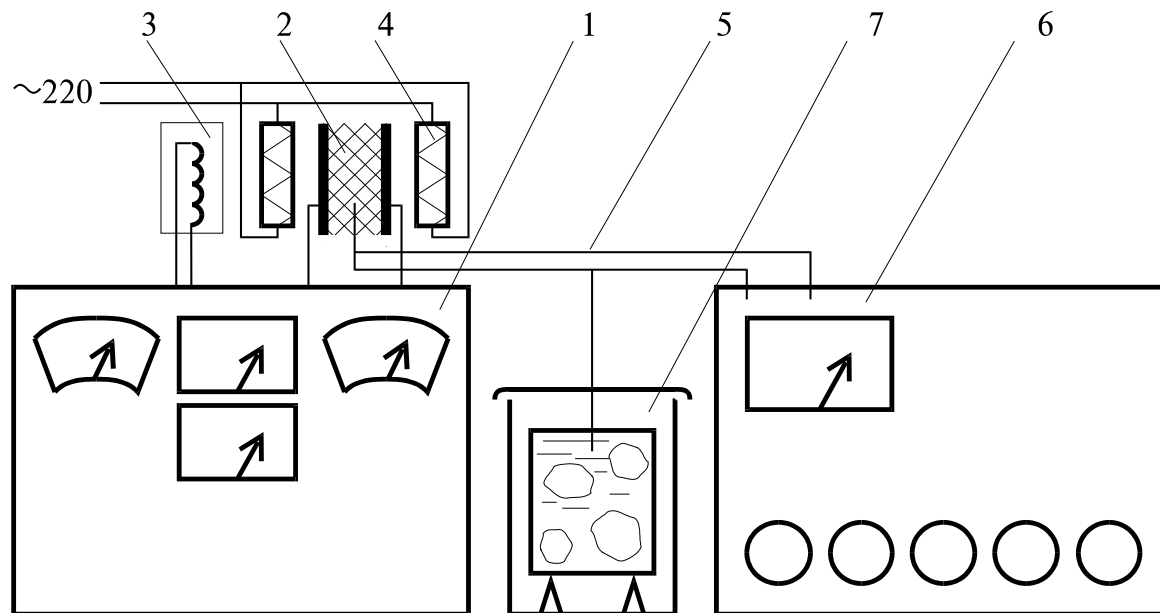


Fig.2.3. Schema instalației pentru determinarea parametrilor electrofizici ai ardeiului iute. 1 - Q-metru E4-5A; 2 - condensatorul de măsurare umplut cu produs; 3 - bobina de inducție; 4 - element electric de încălzire; 5 - termocuplu „Cupru și Constantaniu”; 6 - puntea de măsurare P-4833; 7 - termostat cu gheață.

Temperatura măceșului încălzit a fost măsurată cu termocuplul „Cupru și Constantan” unit cu potențiometrul P-4833. Sudura rece a termocuplului se introducea în vasul Dewar cu amestec de gheață și apă. Potențiometrul fixa tensiunea termo-electromotoare (t.t.e.m.) la capetele termocuplului. Diferența t.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.

În lotul de măceș selectat s-a determinat umiditatea inițială medie. Pentru obținerea probelor cu umiditate diversă ele au fost supuse unui procedeu special de uscare. Determinarea umidității finale a probelor, în prealabil, se calculează conform relației [28]:

$$W_2 = 100 - \frac{M_1}{M_2} (100 - W_1) \quad (2.4)$$

unde:  $M_2$  - 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 măceș, uscate până la umiditatea finală, au fost închise ermetic în vase aparte. Pentru a egala umiditatea în întregul volum, durata de menținere a acestei mase în vase a fost stabilită de șapte zile.

## 2.2. Influența frecvențelor câmpului electromagnetic asupra parametrilor electrofizici ai măceșului

Pe figurile 2.4-2.10. sunt prezentați parametrii electrofizici de prelucrare ai măceșului întreg, precum și semințelor lui.

Investigațiile au fost efectuate asupra probelor de material cu umiditatea 0, 7, 14, 24, 29, și 34 % în intervalul de schimbare a temperaturilor de la 18 °C și până la 100 °C în intervalul frecvențelor de la 15 până la 45 MHz.

Cercetările efectuate au demonstrat, că influența frecvenței câmpului electromagnetic asupra parametrilor electrofizici poartă un caracter complex. Însă, pentru condițiile normale ale mediului, aparatul permitea înregistrarea acestor parametri numai până la umiditatea de 34 % al produsului. S-a demonstrat că pentru umidități mai înalte, probabil, va crește brusc și componenta curentului activ, care influențează negativ polarizarea materialului, prin urmare și încălzirea dielectrică. Reieșind din aceasta, un interes deosebit îl prezintă dependența parametrilor electrofizici de valorile umidităților care variază în intervalul 0-34 %.

Pe fig. 2.4. (a, b, c) sunt prezentate dependențele tangentei unghiului de pierderi ( $\text{tg } \delta$ ) funcția de schimbare a frecvenței în intervalul 15-45 MHz. Tangenta unghiului de pierderi, în funcție de temperatură (18 °C) și umiditate (34 %) variază în limitele 0,3 - 0,8, iar la temperatura de 100 °C se schimbă în intervalul 0,2 - 0,6.

Cercetarea  $\text{tg } \delta$  și  $\epsilon'$  s-a efectuat pe baza mostrelor cu diferită umiditate (0, 7, 14, 24, 29, 34 %) la diferite temperaturi de la 18 °C ... 100 °C, variind în intervalul 15 - 45 MHz.

Din graficele prezentate se observă că în intervalele frecvențelor 25 - 30 MHz se obține valoarea maximală a  $\text{tg } \delta$ . Astfel, pentru fructul întreg de măceș, la temperaturi de 18 °C, 54 °C și 100 °C, valoarea  $\text{tg } \delta$  are valorile 0,8; 0,65 și 0,6.

Pentru semințele măceșului la aceleași temperaturi, valoarea „ $\text{tg } \delta$ ” a constituit - 0,5; 0,6 și 0,65, iar pentru pericarp respectiv - 0,6; 0,65 și 0,75.

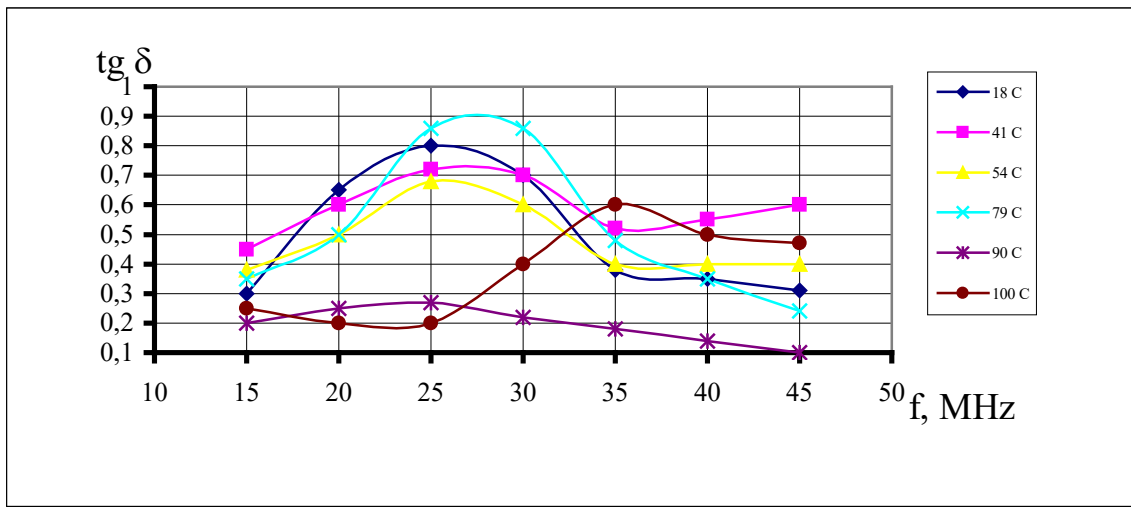
Valoarea maximală a „tgδ” pe grafice la frecvența dată, probabil se explică prin faptul că ea corespunde unei asemenea corelații dintre perioade de aplicare a intensității cu timpul relaxării, la care se observă cheltuieli mari de energie la înfrângerea de către dipoli a rezistenței, și anume, frecarea mediului. După cum se observă din fig. 2.5. (a, b, c), pentru semințe (fig. 2.5. b) se văd valori minime ale  $\varepsilon'$  și conțin 2 - 7, iar pentru pericarp (fig. 2.5. b) ele sunt maxime 4 - 20. Pentru fructul întreg al măceșului (fig. 2.5. a)  $\varepsilon'$  primește valori medii în raport cu valoarea  $\varepsilon'$  pentru pericarp și semințe.

În intervalul cercetat de frecvență, valoarea  $\varepsilon'$  pentru semințe practice nu se modifică în intervalul temperaturilor cercetate și constituie în medie 5. Această dovedește că polarizarea semințelor finalizează definitiv într-un timp foarte scurt în comparație cu semiperioada tensiunii.

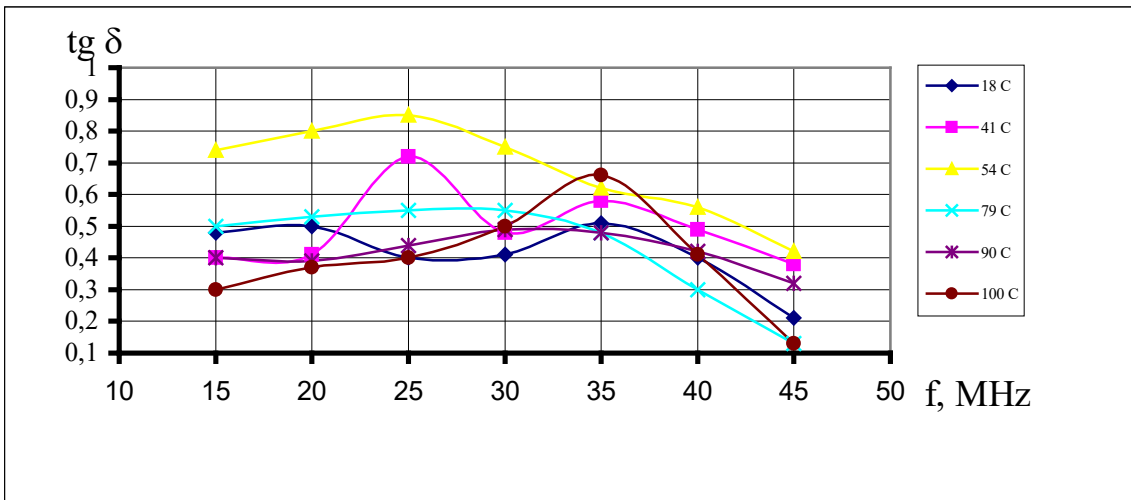
Conform [141, 148], o asemenea dependență a permitivității dielectrice relative a  $\varepsilon'$  de frecvență e caracteristică pentru dielectrici nepolari solizi.

Măceșul e un produs organic complex. E evident că fructului îi este caracteristică existența moleculelor complexe, care pot să aibă în componența sa grupuri separate polare și nepolare.

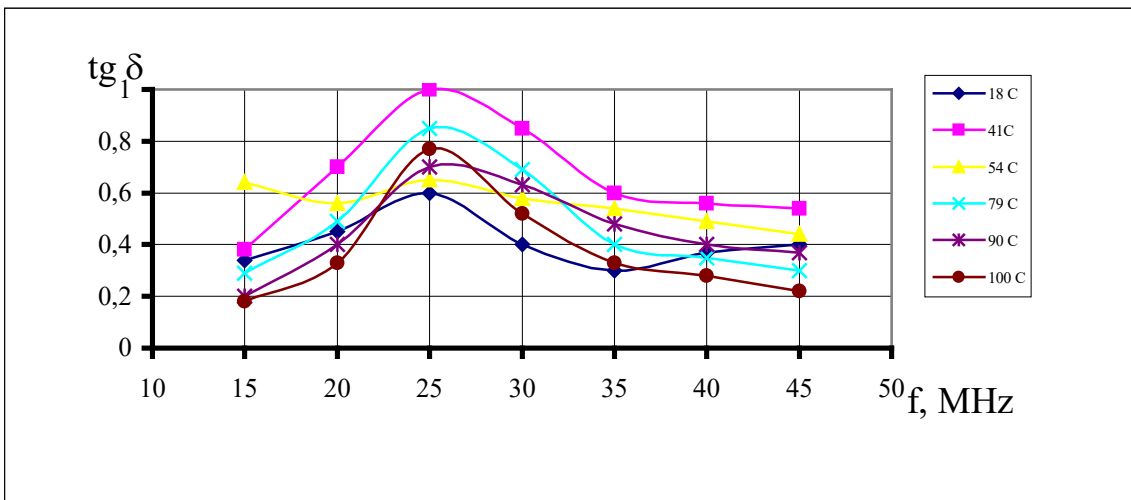




a)

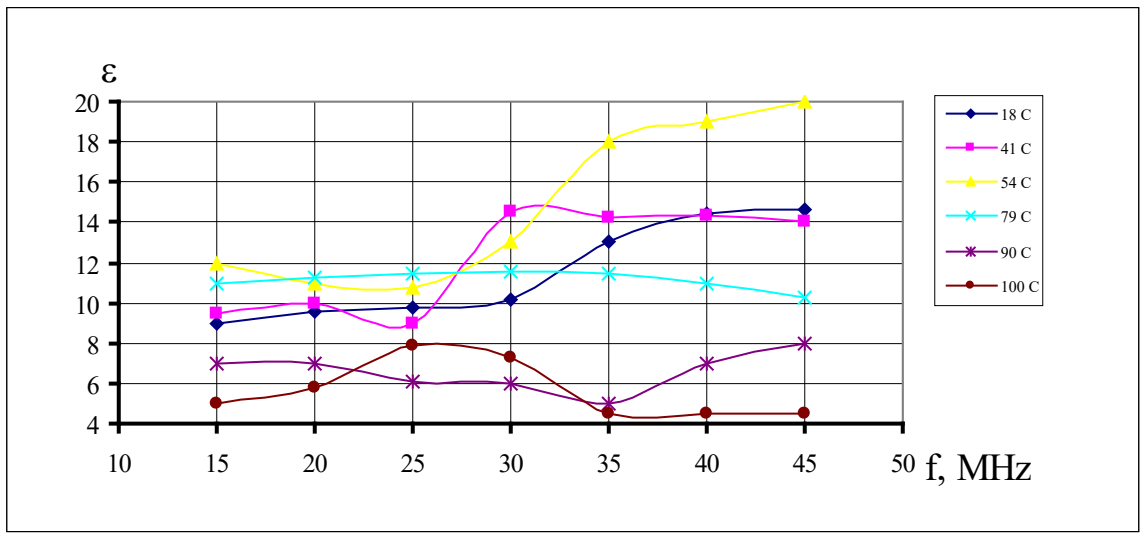


b)

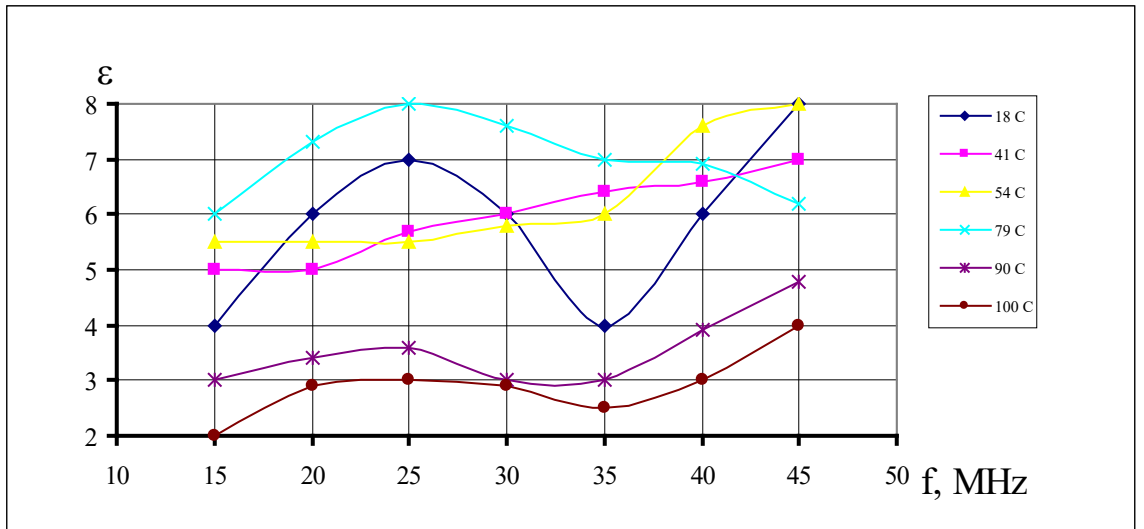


c)

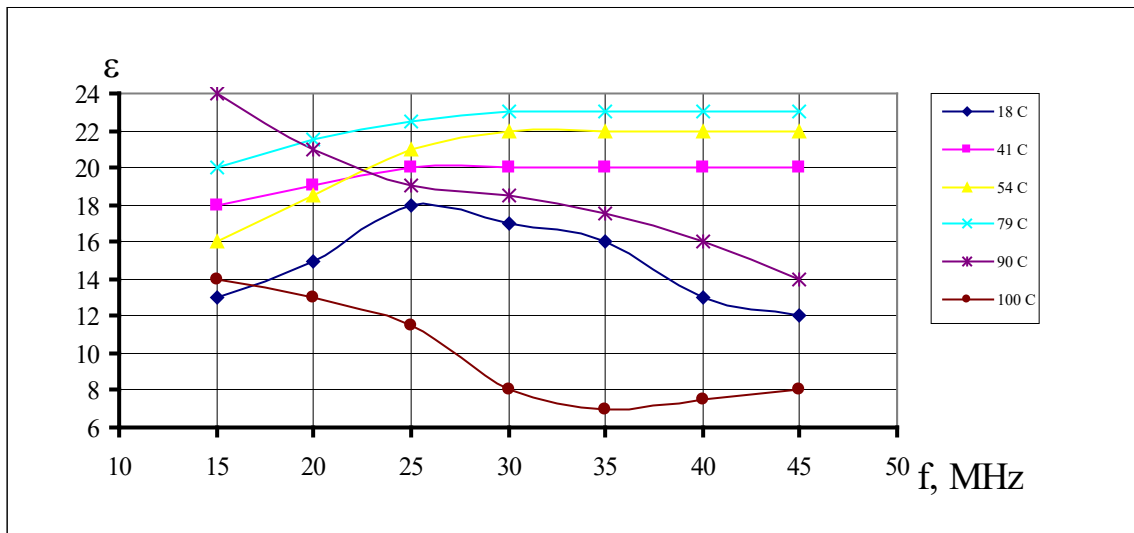
Fig. 2.4. Dependența „tg δ” de f la W = 34 % pentru a) măceș; b) semințe; c) cojii;



a)

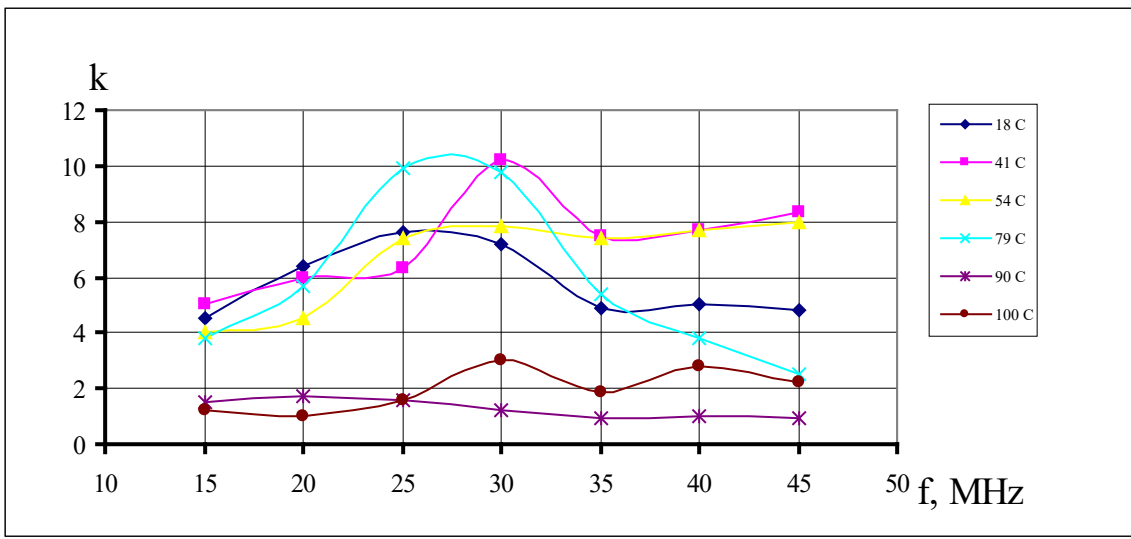


b)

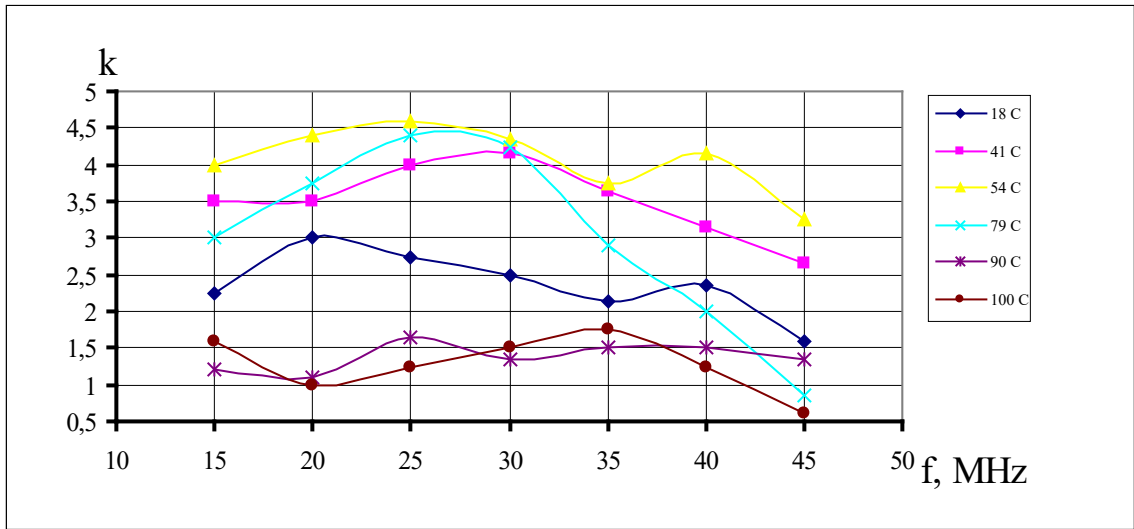


c)

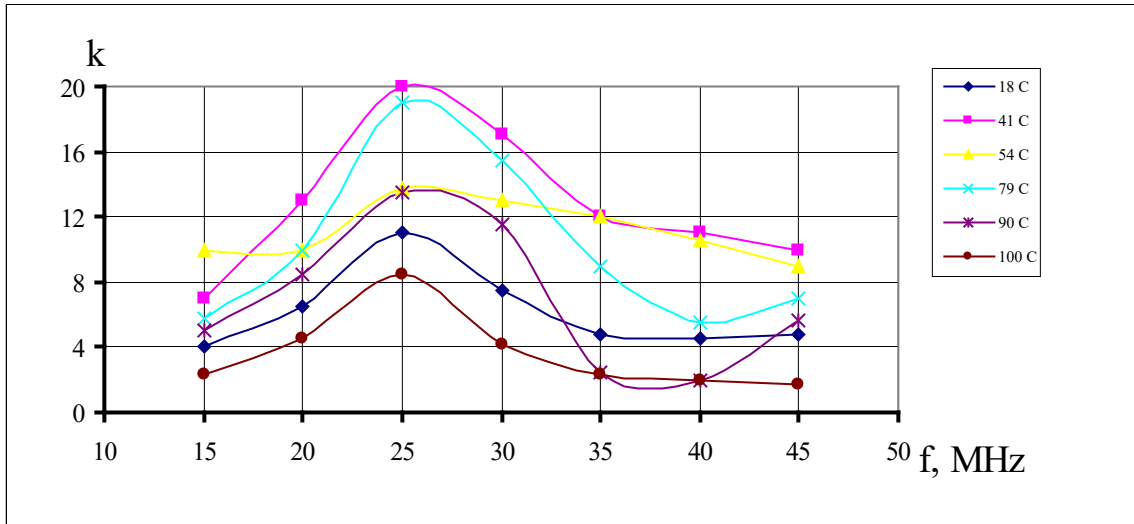
Fig. 2.5. Dependența „ε” de f la W = 34 % pentru a) măceș; b) semințe; c) pericarp;



a)



b)



c)

Fig. 2.6. Dependenta k de f la  $W = 34\%$  pentru a) maces; b) seminte; c) pericarp;

Aceasta demonstrează că e mai rațională uscarea măceșului întreg, decât părțile lui separate.

În afară de această, analiza datelor oferite, arată că reieșind din șirul parametrilor existenței al generatorilor industriali, în scopul obținerii unei încălziri mai uniforme și mai intensive e necesar de a alege întru desfășurarea procesului de uscare a generatorului de frecvență înaltă cu frecvență de lucru de 27 MHz.

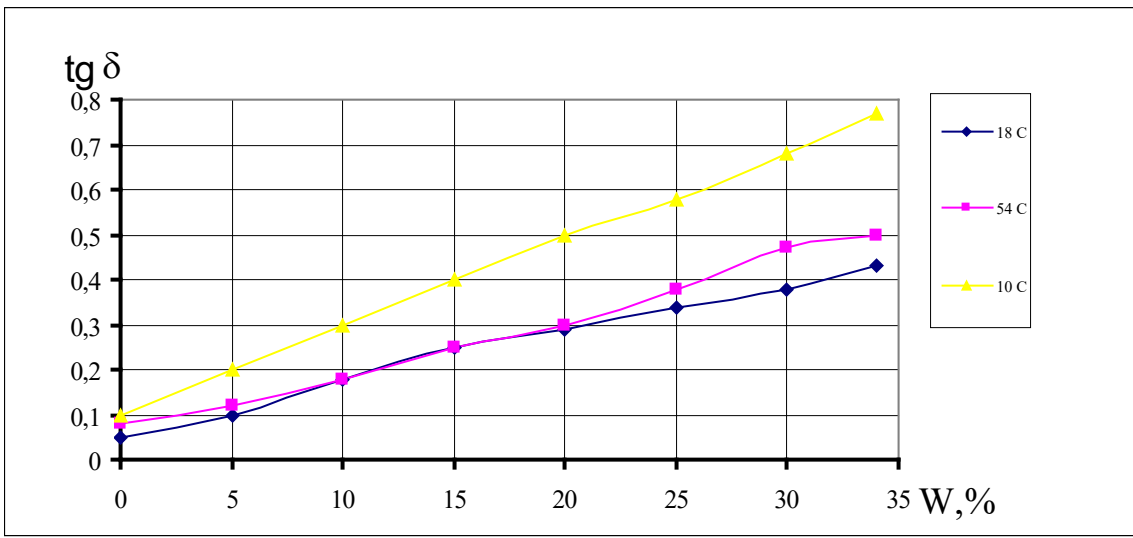
### **2.3. Influența umidității asupra caracteristicilor electrofizice ale măceșului**

Problema influenței umidității dielectricilor asupra parametrilor electrofizici nu sunt studiați complet. Studierii acestei probleme îi sunt dedicate lucrările [43, 45, 66, 130] și altele.

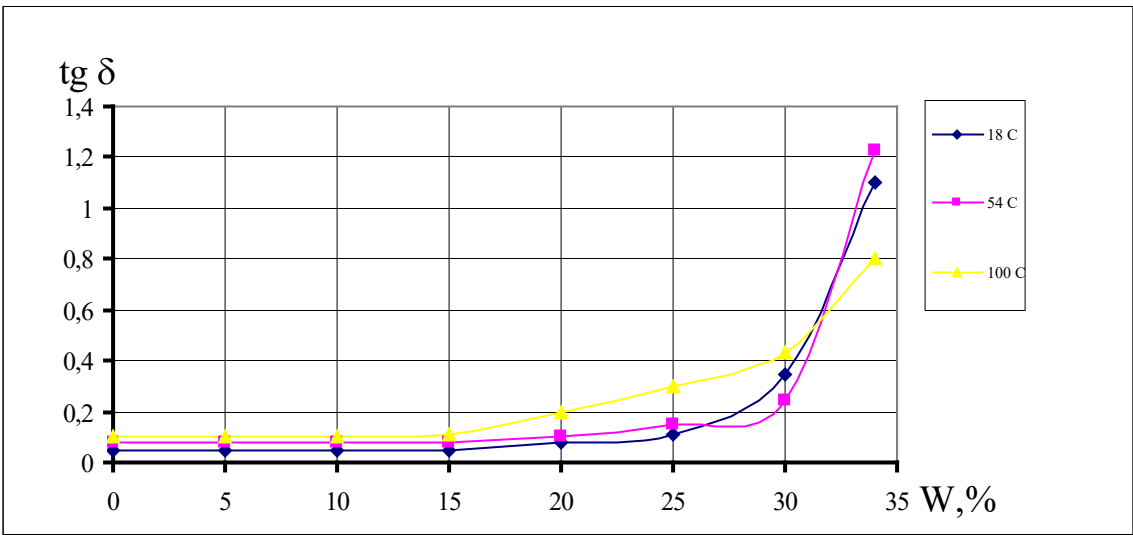
Mai sus s-a menționat raționalitatea selectării în calitate de frecvență de lucru a generatorului 27 MHz.

Astfel un interes major îl reprezintă descrierea dependenței parametrilor electrofizici de umiditate la frecvența dată.

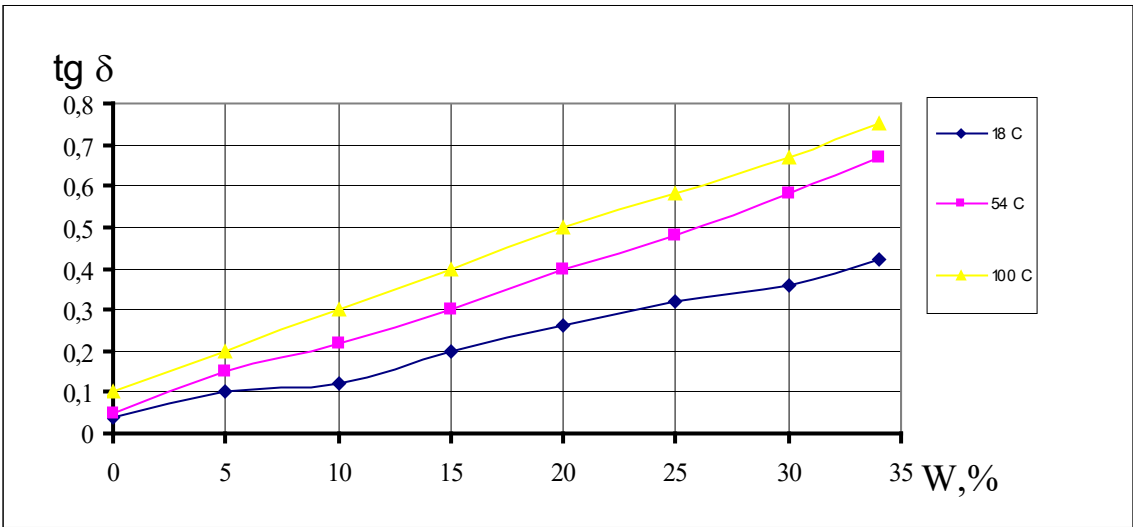
Din grafice se observă că cu majorarea umidității valoarea  $\text{tg } \delta$  se mărește, și pentru întreg fruct (fig. 2.4. a) și pentru pericarp (fig. 2.4. b) se vede o dependență liniară.



a)

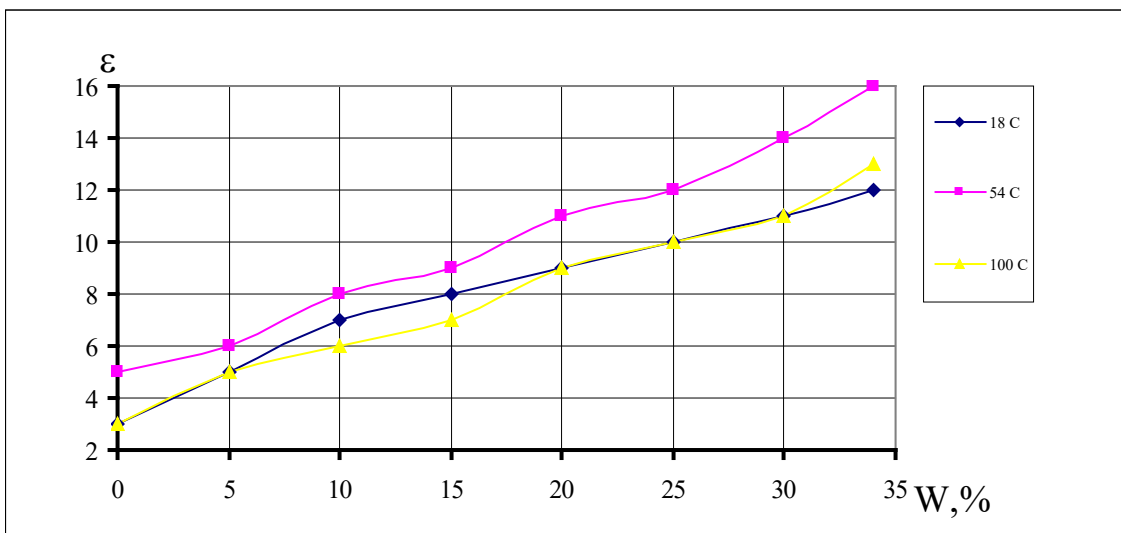


b)

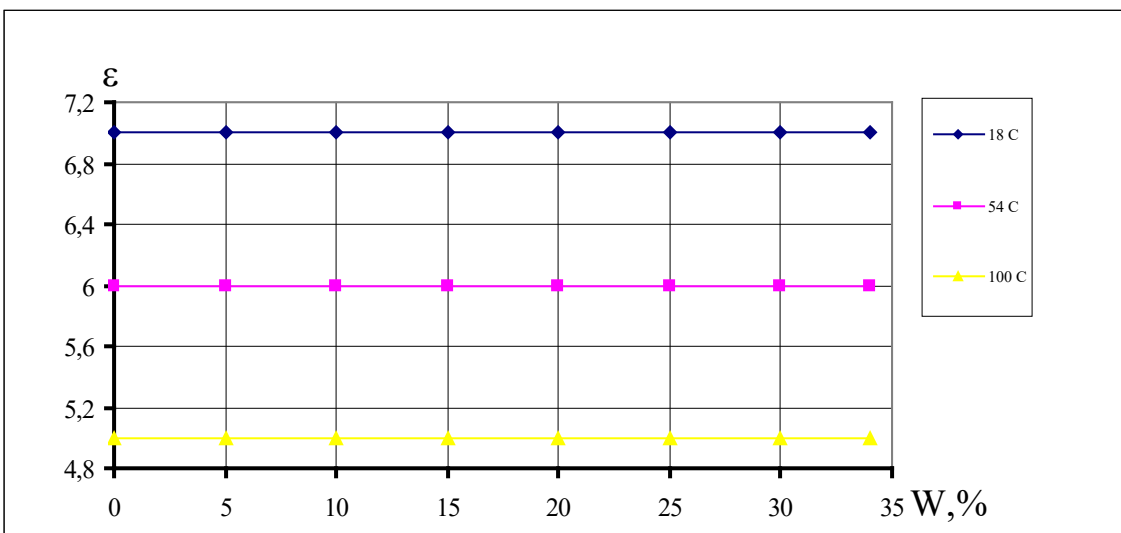


c)

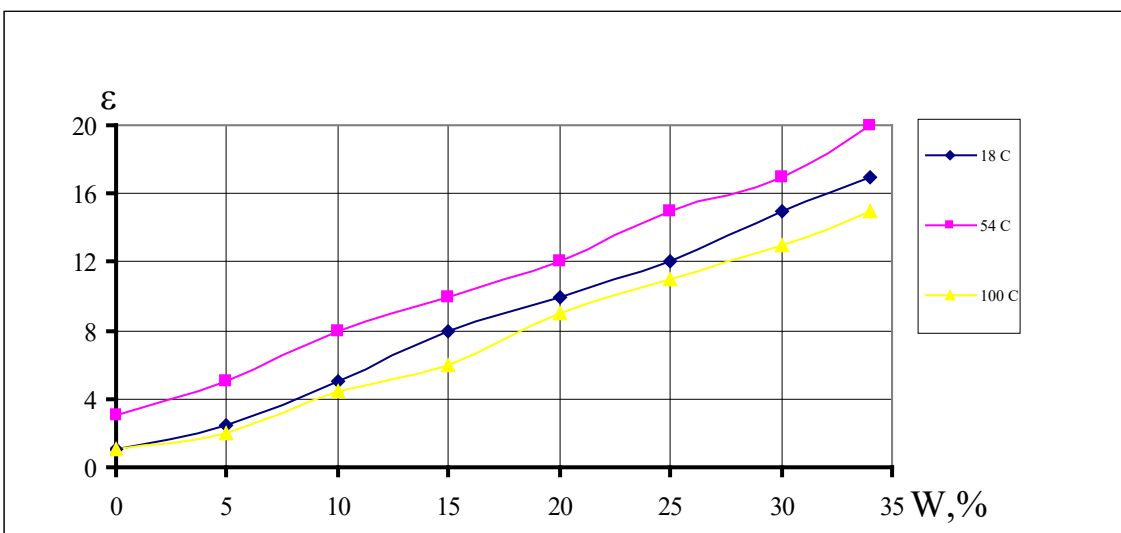
Fig. 2.7. Dependența  $\text{tg } \delta$  de  $W$  la  $f = 27$  MHz: a) măceș; b) semințe; c) pericarp;



a)



b)



c)

Fig. 2.8. Dependența  $\epsilon$  de  $W$  la  $f = 27$  MHz pentru: a) măceș; b) semințe; c) pericarp.

Modificarea lui  $\varepsilon'$  în intervalele date ale umidității pentru măceșul întreg, pentru semințe și pericarp este reprezentată în fig. 2.5. (a, b, c). Din fig. observăm că în tot spectrul de umiditate valoarea  $\varepsilon'$  pentru semințe practic nu se schimbă. Aceasta ne demonstrează că în semințe lipsește umiditatea liber legată. Astfel, putem presupune, că semințele pot fi referite la dielectrici, posedând o conductivitate mică.

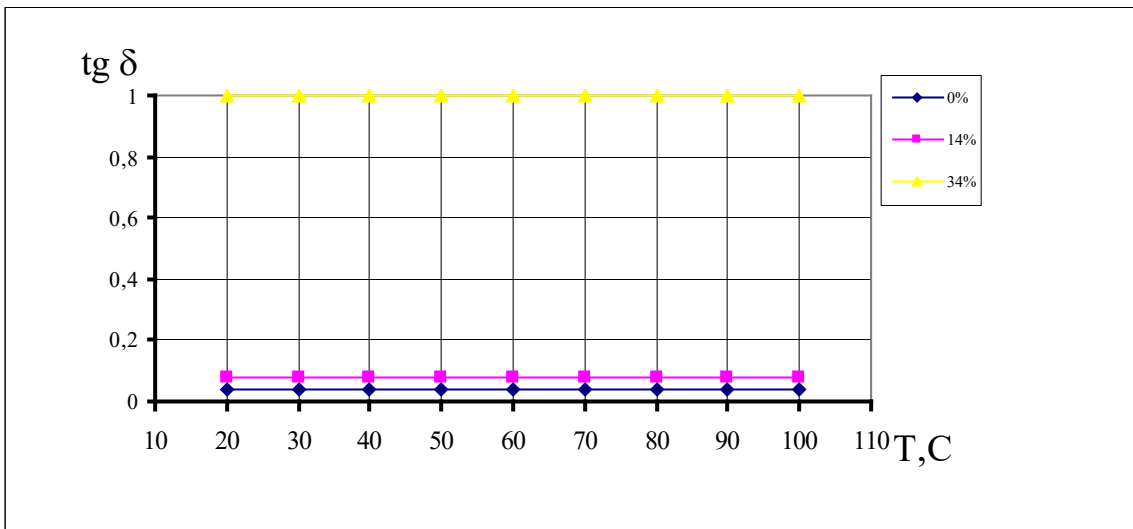
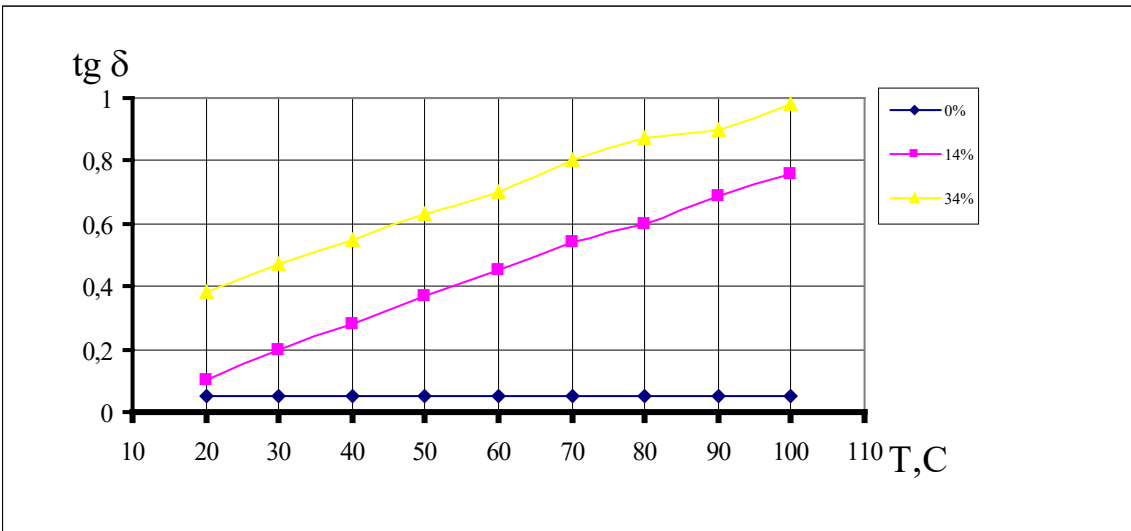
Caracterul schimbării  $\varepsilon'$  la temperaturile date are o formă liniară. Aceasta se demonstrează prin aceea, că odată cu majorarea umidității, are loc majorarea numărului de molecule polare în apă.

## **2.4. Influența temperaturii asupra caracteristicilor electrofizice ale fructului de măceș**

În figura 2.7 sunt reprezentate dependențele „tg  $\delta$ ” a măceșului integr, semințelor de măceș și a pericarpului în funcție de temperatura lor. Analiza acestor componente a fost de 0; 14; 34%. Frecvența câmpului electromagnetic fiind de 27 MHz.

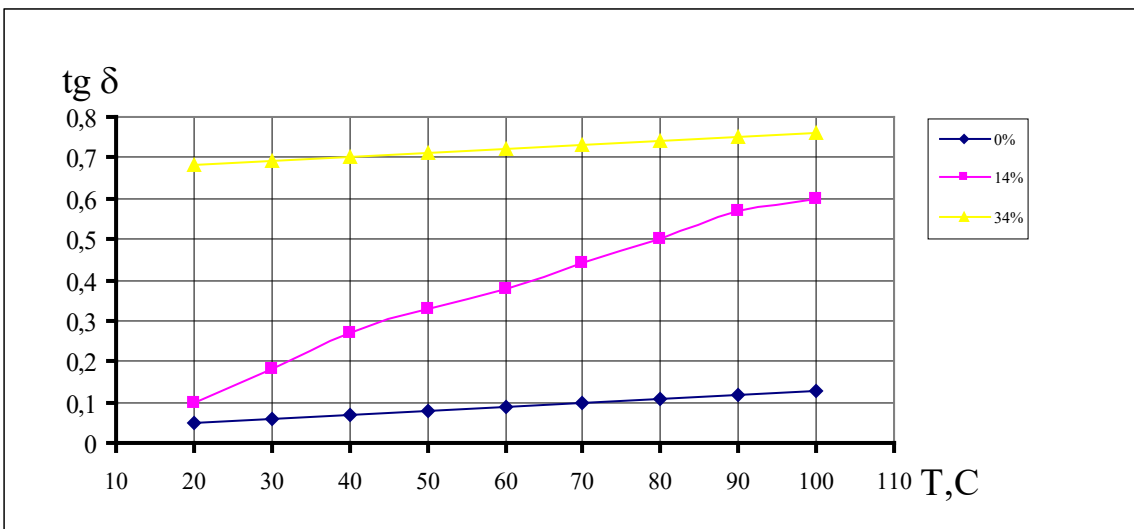
Din graficele obținute s-a conchis, că odată cu majorarea temperaturii, tangenta unghiului de pierderi, pentru măceș și coajă, are o funcție liniară.

Dependența obținută arată că pentru măceșul integr, semințe și pericarp la umiditatea de 0 %, valoarea permitivității dielectrice relative ( $\varepsilon'$ ) în intervalul de temperaturi menționate rămâne constantă și obține valorile 5,0; 6,0 și 6,5.



a)

b)



c)



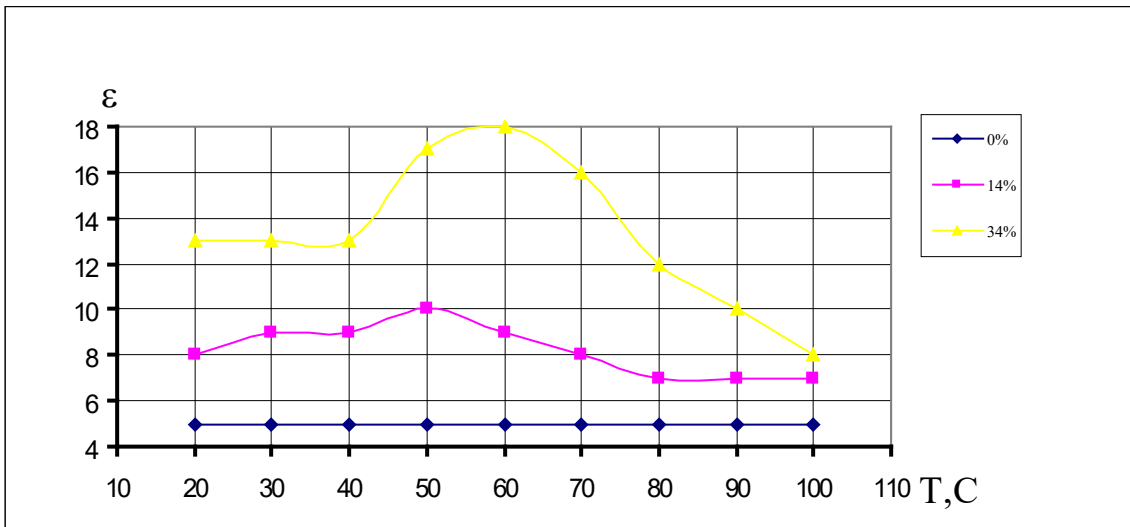
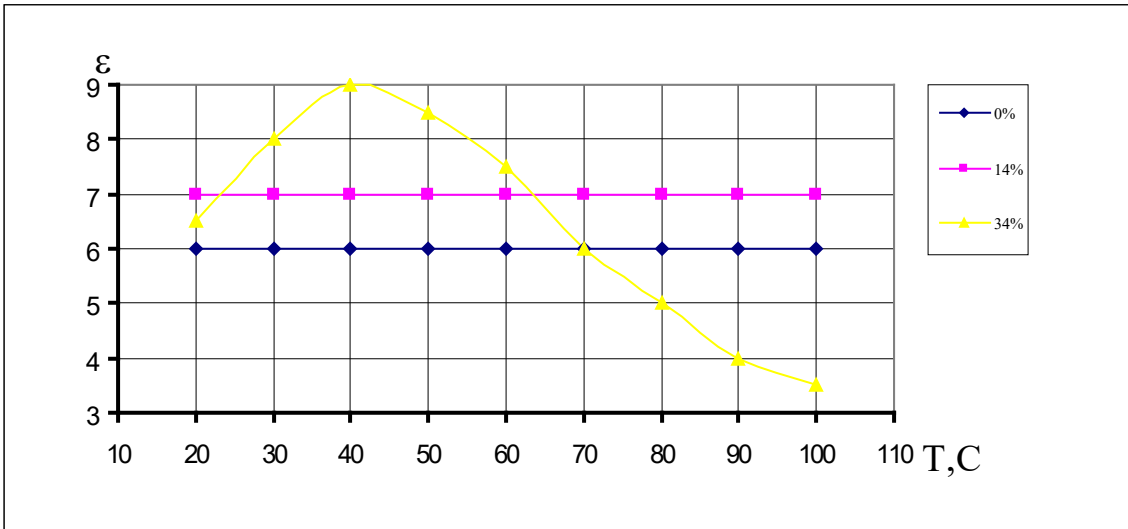
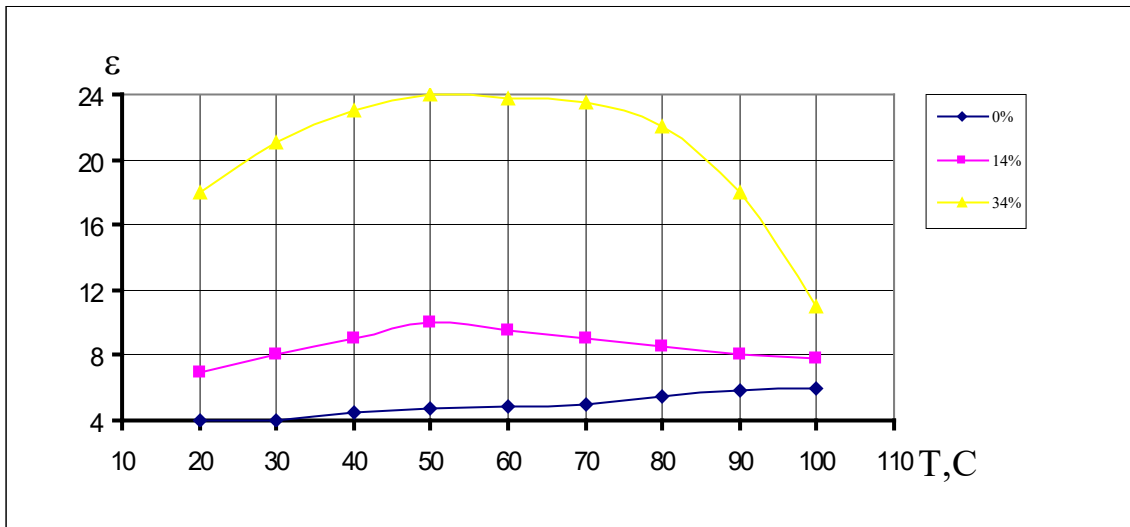


Fig. 2.9. Dependența „tg ε în funcție de T la f = 27 MHz a câmpului electromagnetic pentru: a) măceș; b) semințe; c) pericarp.

a)



b)



c)

Fig. 2.10. Dependența „ε în funcție de T la f = 27 MHz pentru: a) măceș; b) semințe; c) pericarp;

## 2.5. Elaborarea metodei de calcul a parametrilor electrofizici ai măceșului ca un sistem complex

Deoarece măceșul are o structură complexă, am elaborat o metodică de calcul a parametrilor electrofizici.

Fructul măceșului, din punct de vedere a dielectricilor, se examinează în secțiuni, în formă de elemente unite consecutiv pericarp - semințe - pericarp (fig. 3.8.). Pentru asemenea produse poate fi utilizată schema unirii consecutive.

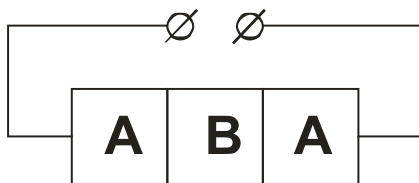


Fig. 2.4.1. Schema de unire a măceșului.  
A - pericarp; B - semințe;

Puterea dielectricului poate fi calculată în felul următor:

$$W = W' + W'' \quad (2.1),$$

Unde  $W'$ ,  $W''$  respectiv componenta activă și reactivă a puterii,  $W$ .

Mărimile acestor puteri se determină ca suma mărimilor fiecărui component  $W$ , care intră în componența măceșului.

$$W' = \sum_{j=1}^n W_j'$$

$$W'' = \sum_{j=1}^n W_j'';$$

Tangenta unghiului pierderilor dielectrice  $\operatorname{tg} \delta$  este egală cu raportul componentei active și reactive a curentului.

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{W'}{W''}; \quad \text{sau}$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{W_j'}{W_j''};$$

Utilizând relațiile (3.2) și (3.3) vom obține:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\sum_{j=1}^n W_j' \operatorname{tg} \delta_j}{\sum_{j=1}^n W_j''};$$

Permitivitatea dielectrică a sistemului poate fi exprimat și prin capacitatea condensatoarelor

$$\frac{1}{C'} = \frac{1}{C_a'} + \frac{1}{C_b'} + \frac{1}{C_a'};$$

$$C = \frac{\varepsilon S}{4\pi D};$$

Capacitatea condensatorului plat:

Exprimând  $C'$ ,  $C_a'$ ,  $C_b'$  prin  $\varepsilon'$ ,  $\varepsilon_a'$ ,  $\varepsilon_b'$ ,  $\operatorname{tg} \delta$ ,  $\operatorname{tg} \delta_a$ ,  $\operatorname{tg} \delta_b$  și parametrii geometrici vom obține:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_a' \varepsilon_b'}{Za \varepsilon_b' + b \varepsilon_a'};$$

### 3. ELABORAREA INSTALAȚIEI EXPERIMENTALE DE USCARE A MĂCEȘULUI

#### 3.1. Construcția și principiul de funcționare a instalației experimentale

Pentru o prezentare mai amplă a proceselor de transfer de căldură și masă la uscarea măceșului este necesar să dispunem în curbele de uscare  $\bar{U} = \varphi(\tau)$ , de curbele vitezei de uscare  $\frac{d\bar{U}}{d\tau} = \varphi(U)$  și de curbele temperaturii a produsului  $\bar{T} = \varphi(\tau)$ .

Pentru a obține aceste relații a fost proiectată și construită o instalație de uscare în condiții de laborator.

Această instalație trebuie să permită studierea cineticii procesului de uscare a măceșului prin aplicarea convectivă a energiei, utilizarea curenților de frecvență înaltă (UHF) și prin combinația: convecție cu UHF.

Elementele de bază ale instalației experimentale de laborator (fig. 3.1) sunt:

- camera de uscare;
- celula de lucru în formă de condensator coaxial;
- generatorul GD-6000 cu frecvența de lucru 27 MHz;
- un sistem de reciclare a agentului termic și de măsurare a parametrilor lui dinamici;
- instalația pentru măsurarea și reglarea automată a temperaturii agentului termic din camera de lucru;
- sistemul de măsurare și înregistrare a dinamicii variației temperaturii materialului pe parcursul uscării;
- sistemul de măsurare și înregistrare a scăderii de masă a produsului.

Condensatorul coaxial 2 este compus din doi cilindri orientați coaxial. Pereții laterali ai cilindrilor, care servesc ca plăci ai condensatorului, sunt fabricați din cupru

perforat, iar fundul din teflon perforat de marca F4. Plăcile condensatorului se conectează la ghidul coaxial, astfel, ca placa interioară să fie unită la fiderul de frecvență înaltă, iar placa exterioară - la pământ.

Pentru fixarea schimbului de masă, condensatorul este suspendat la balanța mecanică 3. Agentul termic alimentează camera de uscare prin intermediul conductei de aer 6. Instalația se alimentează cu curenți de frecvență înaltă de la generatorul GD-6000 8. Generatorul este conectat la camera de lucru cu ajutorul ghidului coaxial de unde 2.

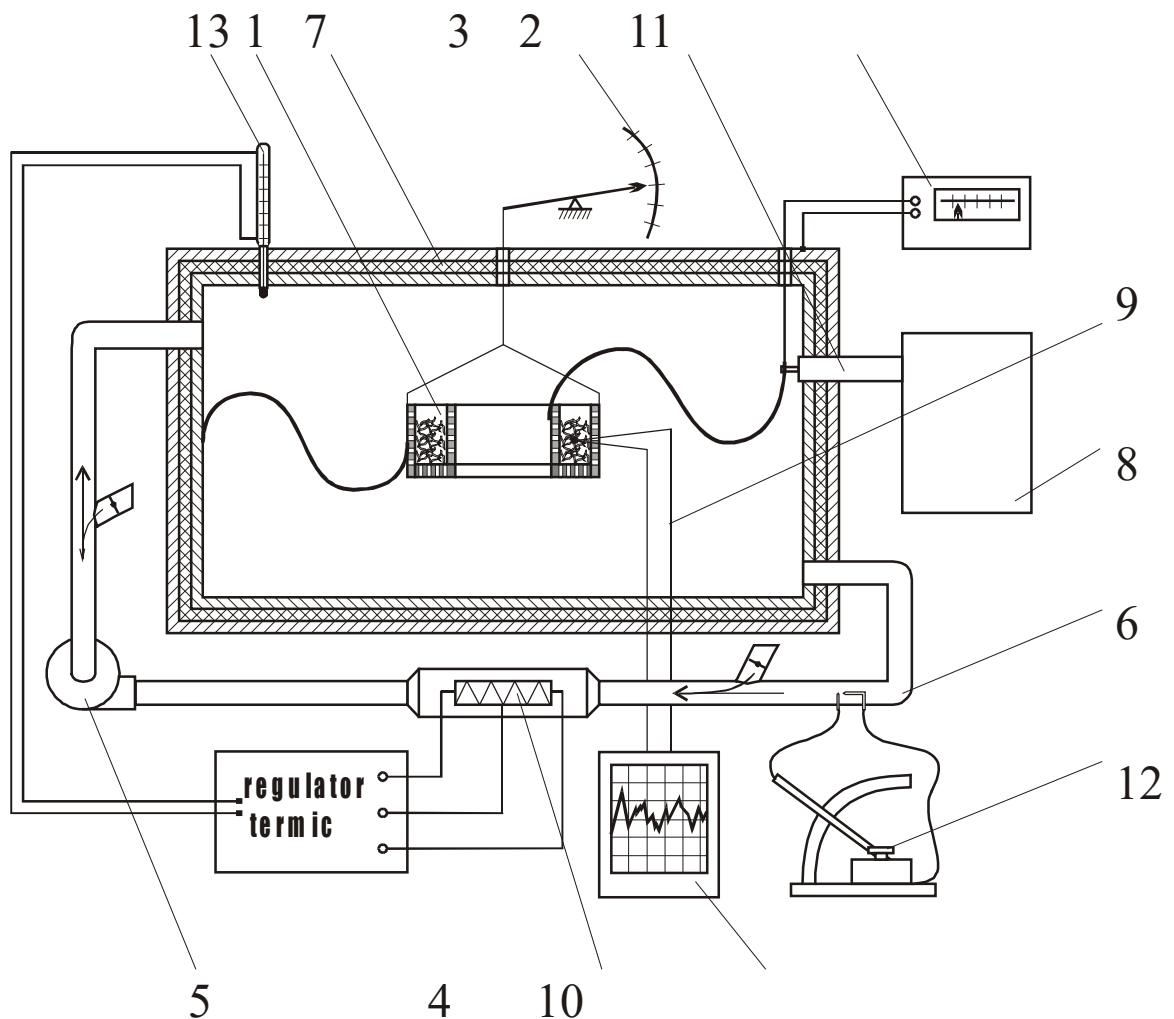


Fig.3.1. Instalația de laborator pentru cercetarea cineticii procedurii de uscare a măceșului 1 - celulă de lucru; 2 - ghid coaxial de unde; 3 - balanță mecanică; 4 - calorifer electric; 5 - ventilator; 6 - conductă

de aer; 7 – cameră de uscare; 8 - generator ĂĂ-6000; 9 - termocuplu; 10 - potențiomtru electronic; 11 - voltmetru electrostatic; 12 - micromanometru; 13 – termometru de contact.

Proba de măceș se încarcă între plăcile condensatorului coaxial, unde la demararea generatorului apare un câmp electromagnetic de frecvență înaltă care încălzește produsul.

În cazul aplicării energiei prin metoda pur convectivă, agentul termic încălzit în caloriferul electric 4 este vehiculat de către ventilatorul 8 prin conducta de aer în camera de uscare 7. Astfel, condensatorul este permanent agitat de un curent de aer cald. La acest regim plăcile condensatorului nu sunt alimentate cu energie UHF.

În cazul aplicării metodei de uscare în câmp electromagnetic de frecvență înaltă, plăcile condensatorului coaxial (între care se află produsul) se alimentează cu tensiune UHF. Evacuarea vaporilor, formați la încălzire, se efectuează datorită convecției naturale.

La încălzirea combinată (convecția în combinație cu energia UHF) procesele sus descrise se efectuează concomitent.

Pe parcursul uscării au fost fixate scăderea de masă și variația temperaturii produsului, tensiunea la plăcile condensatorului, viteza și temperatura agentului termic și consumul total de energie electrică.

La atingerea umidității finale de 14 % procesul de uscare a măceșului se întrerupe și produsul uscat se scoate din condensator.

Din sursele bibliografice [14, 34, 39, 147] se poate constata că există un șir întreg de bascule electronice cu înregistrare automată [64]. După părerea unor savanți [14, 34] utilizarea acestor bascule nu este eficientă la încălzirea în câmp electromagnetic de frecvență înaltă din cauza apariției unor erori esențiale la măsurări, legate de influența câmpului electromagnetic asupra elementelor aparatului electric secundar.

Pentru a exclude erorile apărute, a fost utilizat cântarul mecanic de tip BHU - 2. Sensibilitatea lui este de 2 g/div și precizia de  $\pm 5\%$ .

Pe parcursul uscării cântarul permite măsurarea scăderii de masă în orice moment de timp. Înregistrarea scăderii de masă se efectuează o dată la 3 minute la uscarea convectivă și peste fiecare minut la uscarea combinată.

Măsurarea temperaturii produsului este una din problemele care apar la uscarea în câmp de frecvență înaltă. Metoda de măsurare a temperaturii cu termometrele cu lichid posedă un șir de neajunsuri, printre care sânt și dificultatea posibilității de măsurare a temperaturii obiectelor mici, înregistrării automate a datelor, etc. Precizia măsurării cu termometrele lichide, în mare măsură, este limitată din cauza distorsiunii câmpului electric în locurile instalării lor. Creșterea temperaturii materialului sub influența distorsiunii câmpului electric în vecinătatea țevii cilindrice, introdusă în material, se determină prin expresia [14]:

$$\Delta t = 1.4 \frac{C_q r_0^2}{\lambda} \left( \frac{dt}{d\tau} \right) \quad (3.1)$$

unde:  $\frac{dt}{d\tau}$  - viteza preconizată de încălzirea materialului, în  $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ .

Din ecuația 3.1. rezultă că scăderile de temperatură, provocate de către țevile cilindrice, datorită distorsiunii câmpului electric în material, sânt cu atât mai reduse, cu cât este mai mic diametrul țevii. Din acest punct de vedere, termocuplele au prioritate mai mare față de termometrele lichide, care aduc la distorsiuni neînsemnate a câmpului electric. Pentru diametrul firului de 0,1 mm, scăderea de temperatură în jurul lui constituie  $10^{-6}$   $^{\circ}\text{C}$  și poate fi neglijată. Avantajul acestor termocuple este favorizat de lipsa inerției lui și dă posibilitatea înregistrării automate a parametrilor.

Totodată, în apropierea termocuplului are loc o creștere a temperaturii din cauza curentului capacitiv. În lucrarea [112] se indică, că la instalarea simetrică a

termocuplului, după cum se vede și din fig. 3.2., temperatura se poate calcula după relația:

$$t_T = t_n + \frac{\sigma'}{2\lambda} \left[ \frac{1}{4} E^2 \ln \frac{D}{d} (D-d) + \Delta\varphi^2 \right] \quad (3.2)$$

unde:  $\sigma'$  - valoarea conductivității specifice, cm/m;

$\Delta\varphi$  - creșterea potențialului termocuplului datorită curenților capacitivi.

Din formula (3.2) rezultă, că atunci când  $\Delta\varphi = 0$ , temperatura termocuplului este egală cu temperatura punctului termic al materialului.. Majorarea lui  $\Delta\varphi$  poate fi exprimată prin potențialul punctului de instalare și se calculează prin ecuația:

$$\Delta\varphi = \varphi_0 \frac{C_2}{C_2 - C_1} \quad (3.3)$$

unde:  $C_1$  și  $C_2$  – capacitățile condensatoarelor arătate pe figura 3.2.

Creșterea suplimentară a temperaturii din cauza curenților capacitivi se apreciază conform [80]:

$$\Delta t = \frac{\sigma' \Delta\varphi^2}{2\lambda} \quad (3.4)$$

La intensitatea câmpului electric de 16500 V/m potențialul termocuplului atinge valoarea:

$$\varphi_0 = \frac{E \cdot (D-d) \ln \frac{D}{d}}{4} = \frac{16500 \cdot (0.18 - 0.1) \cdot \ln \frac{0.18}{0.1}}{4} = 194V \quad (3.5)$$



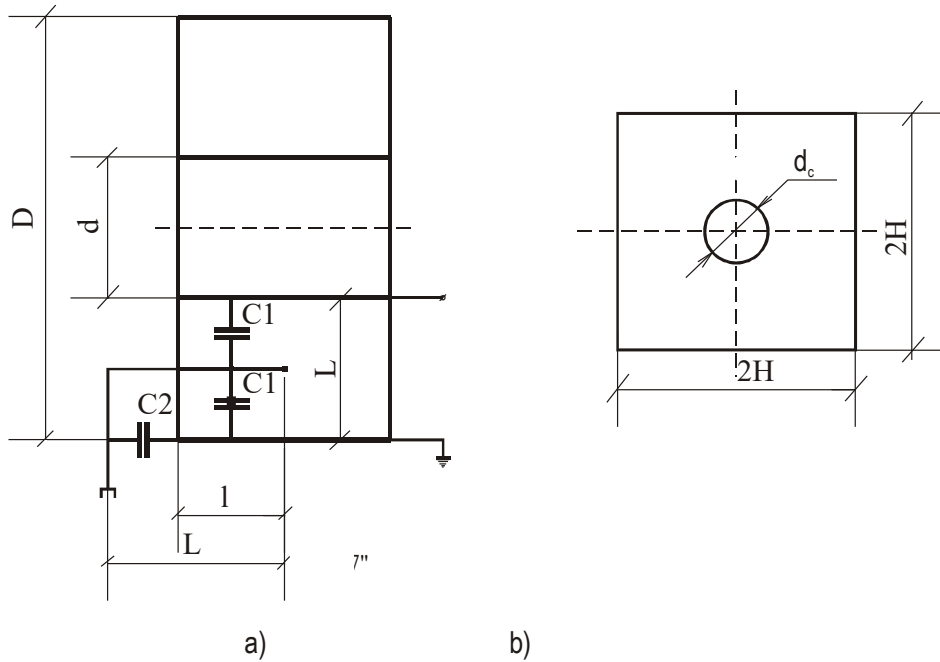


Fig. 3.2. Schema instalării termocuplului

a) în condensatorul de măsurare

b) în corp

Capacitatea condensatorului format dintre termocuplul și electrozii condensatorului de măsurare va fi:

$$C_1 = \frac{\pi \cdot \varepsilon' \cdot \ln \frac{D}{d}}{\ln \frac{d_0}{d} \cdot \ln \frac{D}{d_0} + \frac{1}{2} \ln \frac{D}{d} \ln \left[ \frac{d_0}{2 \cdot a} \left( 1 - \frac{d_0^2}{D^2} \right) \right]} = 9 \text{ pF} \quad (3.6)$$

unde: **a** – raza termocuplului.

Capacitatea dintre termocuplu și corpul instalației s-a determinat după schema, reprezentată în fig.3.2.b. Termocuplul poate fi introdus și scos din camera de lucru printr-o gaură pătrată, cu lățimea de 2H; lungimea termocuplului, care se află în gaură  $l = 30 \text{ mm}$ . În acest caz, capacitatea electrică a termostatului față de carcasul instalației va fi egală cu [5]:

$$C_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon'_a}{\ln\left(1.08 \cdot \frac{2 \cdot H}{d_0}\right)} = 0.031 pF \quad (3.7)$$

unde:  $\varepsilon'_a$  – permitivitatea dielectrică relativă a aerului.

Creșterea potențialului termocuplului după formula (3.3) a constituit 0.665 V.

Valoarea conductibilității specifice a ardeiului se calculează după formula:

$$\sigma' = f \cdot C_1 \frac{Q_2 - Q_3}{Q_2 \cdot Q_3} \quad (3.8)$$

Semnele distinctive sînt aceleași ca și în (2.2 și 2.3).

Pentru ardeiul cu  $W = 78 \%$  și  $f = 27 \text{ M Hz}$  valoarea  $\sigma'$  constituie  $12.7 \cdot 10^{-6}$  cm/m. Valoarea conductivității termice conform [9] este de  $0.09 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ .

Din relația 3.4 obținem valoarea lui  $\Delta t$  care este egală cu  $0.03 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}$ .

Așa eroare a termocuplului se află în limita admisibilă în ce privește precizia aparatului secundar.

Din relația (3.3) reiese, că curenții capacitivi prin termocuplu pot fi micșorați prin scăderea capacității dintre termocuplu și carcasul instalației.

În lucrarea [14] s-a demonstrat, că curenții capacitivi ai termocuplului și precizia de măsurare a temperaturii se mărește atunci când se folosesc termocuplele simple.

În instalația noastră (fig.3.2) lungimea termocuplului n-a depășit 0.2 m. Scăderea curenților capacitivi se realizează și la instalarea termocuplelor perpendicular pe liniile câmpului electric.

Din cele expuse mai sus reiese, că termocuplele pot fi folosite cu succes la măsurarea temperaturii în câmp de frecvență înaltă, respectând condițiile descrise mai sus. De acest gen poate fi și măsurarea temperaturii, la deconectarea curenților de frecvență înaltă, care pot evita influența câmpului electromagnetic în aparatul

secundar, și, de asemenea, conectarea termocuplului la aparat numai în lipsa câmpului electromagnetic în aparatul secundar. Conectarea termocuplului la aparat, în lipsa câmpului electromagnetic Aceasta permite excluderea curenților capacitivi în circuitul termocuplului.

În materialul de cercetare, proba se introducea în termocuplu Cromel-Copel (fig.3.1), poz.3.1 cu diametrul termoelectrozilor de 0.1 mm. Indicațiile termocuplului au fost înregistrate cu potențiometrul electronic ( fig. 3.1 ), poz.13 . Tot sistemul de măsurare a termocuplului a fost instalat într-un ecran care era unit cu pământul. Lungimea capetelor termocuplului atingea lungimea de 10-15 mm.

Temperatura aerului, care alimenta camera de uscare, se menținea prin intermediul unui sistem de automatizare.

Sistemul este constituit din termometrul cu contact 13 (fig.3.1), caloriferul electric 4 și releul electronic fig. (3.1)

Toate experiențele au fost efectuate la o viteză constantă a agentului termic, care se aprecia din condiția de antrenare minimală a particulelor de ardei iuți. Viteza se înregistrează cu ajutorul micromanometrului MMH (fig.3.1), poz.12.

Tensiunea curentului de frecvență înaltă a plăcilor condensatorului de lucru se măsoară cu voltmetrul electrostatic (fig.3.1), poz. 10 de tipul C-196, având precizia de măsurare - 0.2.

Pentru reglarea lentă a tensiunii câmpului electric format între plăcile condensatorului în circuitul de alimentare cu energie electrică au fost instalate consecutiv două autotransformatoare de tipul PHT-220-12.

Intensitatea câmpului electric s-a determinat după formula:

$$E = \frac{2U}{(D-d)\ln\frac{D}{d}} \quad (3.9)$$

unde: U - este tensiunea între plăcile condensatorului de lucru, V;

D - diametrul interior al cilindrului exterior, m;

d - diametrul exterior al cilindrului interior, m.

### 3.2. Pregătirea preventivă a măceșului și metodică de experimentare

Pentru ca proba de măceș să fie supusă uscării, ea trebuie să posede o umiditate constantă în tot volumul ei. Din acest motiv, măceșul s-a păstrat în decurs de o săptămână într-un vas din sticlă. Vasul se închidea ermetic, iar marginile lui au fost prelucrate cu parafină. După expirarea timpului de păstrare, din patru zone a întregii mase prin sondaj s-au luat probe pentru determinarea umidității inițiale a masei.. Umiditatea măceșului a fost determinată prin metoda uscării până la o masă constantă. Valorile medii ale umidității din diferite zone a volumului de măceș se aprecia din 3 probe.

Măceșul prelucrat preventiv a fost supus procesului de uscare. În condensatorul coaxial, cântărit preventiv, se încărcă o porțiune de 200 g de măceș. Acest condensator umplut cu măceș era suspendat prin intermediul unui suport special de balanță. După aceasta, plăcile condensatorului se conectau la rețeaua cu curent de frecvență înaltă și materialul începea să se încălzească.

La uscarea combinată – convectivă, în câmp electromagnetic de frecvență înaltă, alimentarea cu agent termic se petrecea concomitent cu alimentarea cu energie UHF.

Procesul de uscare se considera terminat atunci, când umiditatea din produs atinge valoarea de 14 %. Masa finală a produsului uscat se determină preventiv după formula [64]:

$$M_2 = M_1 \frac{100 - W_1}{100 - W_2} \quad (3.10)$$

unde:  $M_1$  - masa inițială a probei de măceș, kg;

$M_2$  - masa finală a probei de măceș, kg;

$W_1$  - umiditatea inițială a probei de măceș, %;

$W_2$  - umiditatea finală a probei de măceș, %.

Procesul de uscare se termina atunci, când masa produsului devine egală cu  $M_2$ , calculată după relația 3.10.

Conform datelor experimentale au fost trasate curbele de uscare  $U = \varphi(\tau)$  și curbele de temperatură  $T = \varphi(\tau)$ .

Curbele vitezei de uscare  $\frac{dU}{d\tau} = \varphi(U)$  au fost construite conform datelor obținute la derivarea funcției tabulare după formula [14, 34]:

$$\frac{dU}{d\tau}(U_0) = \frac{\sum_{m=-p}^p m U_m}{n \sum_{m=-p}^p m^2} \quad (3.11)$$

unde:  $\frac{dU}{d\tau}(U_0)$  - valoarea vitezei de uscare pentru conținutul de umiditate

medie a materialului, în (%)/s;

$\bar{U}_m$  - valoarea medie a conținutului de umiditate din material până și

după momentul, în care conținutul de umiditate a fost  $U_0$ , în %;

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

În cercetările noastre la uscarea pur convectivă intervalul de timp a fost 3 min, iar la uscarea combinată - convecția în combinație cu câmpul UHF a fost de 1 min.

Valoarea vitezei de uscare pentru primele două și ultimele două puncte s-a determinat după formulele [34, 51]:

• pentru primul punct:

$$\frac{dU}{d\tau}(\bar{U}_1) = \frac{-21\bar{U}_4 + 13\bar{U}_3 + 17\bar{U}_2 - 9\bar{U}_1}{20 \cdot n}, \quad (3.12)$$

• pentru punctul al doilea:

$$\frac{dU}{d\tau}(\bar{U}_2) = \frac{-11\bar{U}_4 + 3\bar{U}_3 + 7\bar{U}_2 - \bar{U}_1}{20 \cdot n}, \quad (3.13)$$

• pentru penultimul punct:

$$\frac{dU}{d\tau}(\bar{U}_{n-1}) = \frac{-\bar{U}_n - 7\bar{U}_{n-1} - 3\bar{U}_{n-2} + 11\bar{U}_{n-3}}{20 \cdot n}, \quad (3.14)$$

• pentru ultimul punct:

$$\frac{dU}{d\tau}(\bar{U}_n) = \frac{9\bar{U}_n - 17\bar{U}_{n-1} - 13\bar{U}_{n-2} + 21\bar{U}_{n-3}}{20 \cdot n}. \quad (3.15)$$

## 4. CERCETAREA CINETICII PROCESULUI DE USCARE A MĂCEȘULUI

### 4.1. Uscarea convectivă a măceșului

Uscarea convectivă a măceșului s-a efectuat, utilizând în calitate de agent termic aerul cald. În toate experiențele viteza aerului cald a constituit 1,1 m/s.

În fig.(4.1.) sunt prezentate curbele de temperatură a măceșului  $T = f(U)$ , (fig. 4.3) la aportul convectiv al agentului termic

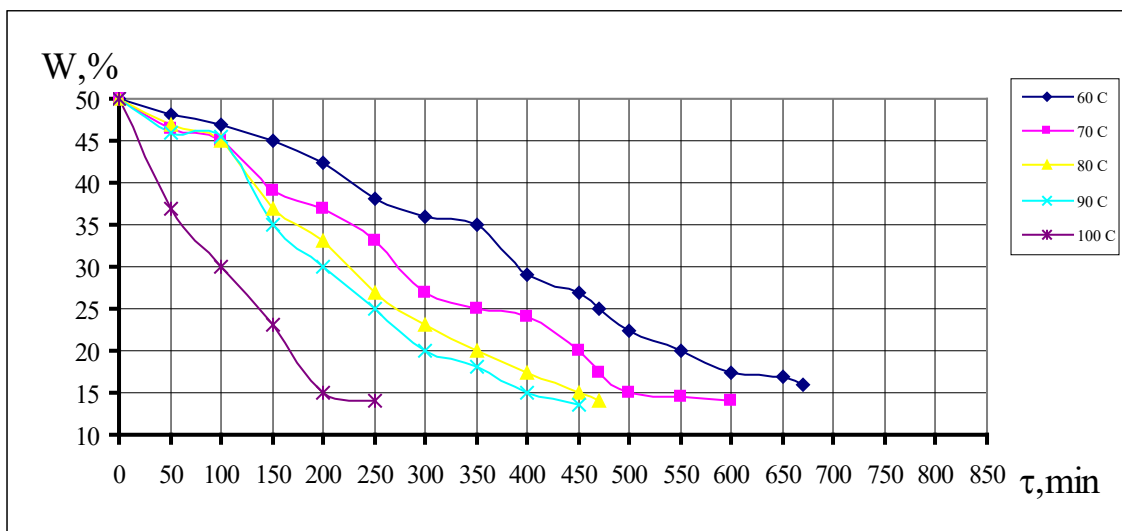


Fig. 4.1. Curbele de uscare a măceșului cu utilizarea convecției

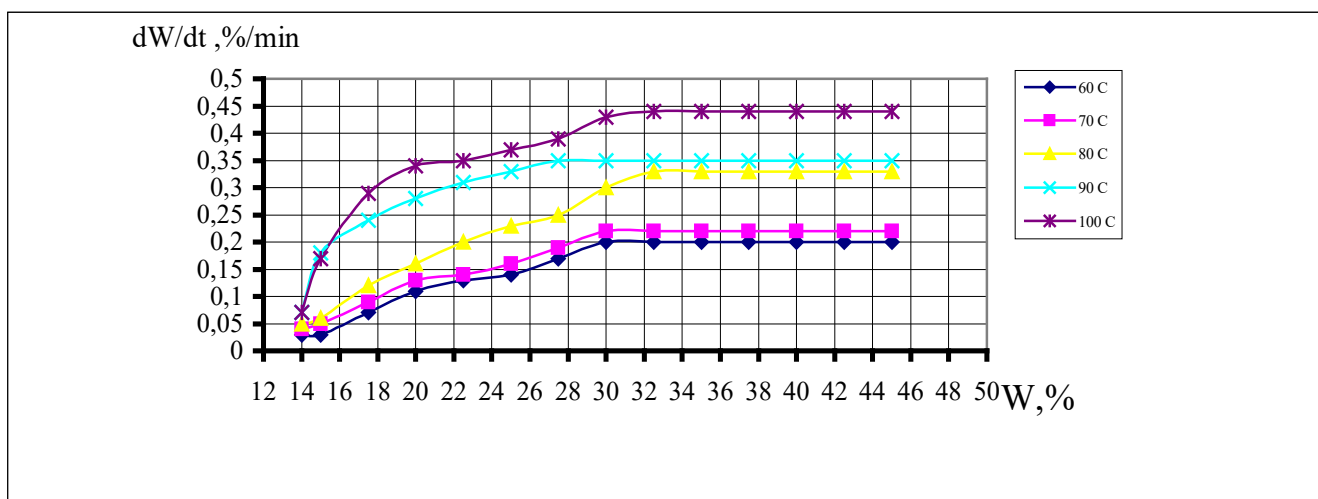


Fig. 4.2 Curbele vitezei de uscare a măceșului cu utilizarea convecției

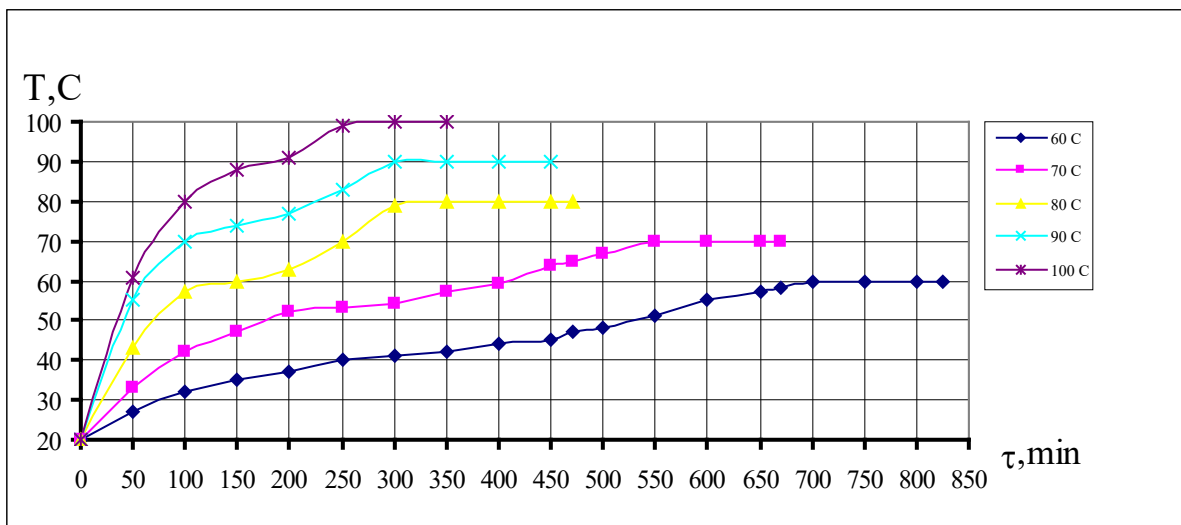


Fig. 4.3 Curbele de temperatură a măceșului cu utilizarea convecției

După cum se observă în fig. 4.1, durata procesului de uscare a măceșului (de la umiditatea inițială de 50 % până la cea finală de 14%) se reduce odată cu mărirea temperaturii agentului termic (60°C); durata procesului de uscare a constituit 820min, iar la temperaturile de 70, 80, 90 și 100°C respectiv 675, 468, 450 și 351 min.

Caracterul curbelor de uscare ne demonstrează, că pentru procesul de uscare a măceșului, precum și pentru celelalte materiale sunt caracteristice trei intervale de uscare: intervalul de majorare, intervalul fără schimbări și intervalul de micșorare a vitezei de uscare.

În conformitate cu teoria lui Lîcov, pentru sistemele eterogene compuse, cum este și produsul nostru, acest interval constă din două sectoare, adică, apare încă un punct critic pe sectorul de micșorare a vitezei.

Analiza curbelor ne demonstrează, că pentru produsul nostru, este caracteristică apariția unui asemenea punct.

Dar valorile umidității măceșului, la care se referă punctul de trecere, în general, nu crește liniar. Așadar, la temperatura măceșului de 60°C acest punct corespunde umidității de 21 %, la 70°C – 19%, iar la 100°C – 23%. În opinia noastră, aceasta se explică prin aceea, că pentru sistemele eterogene compuse, cum este măceșul, schimbarea câmpurilor de umiditate în procesul de uscare în mare măsură depinde de modificările biochimice interioare din măceș, și mai puțin de temperatură.

Apariția celui de-al II-lea punct critic, este legată, probabil, de aceea că în perioadă inițială zona de evaporare se adâncește în coajă, și apoi în semințe. După proprietățile termofizice și structural-mecanice ele sunt diverse, ceea ce determină apariția acestui punct.



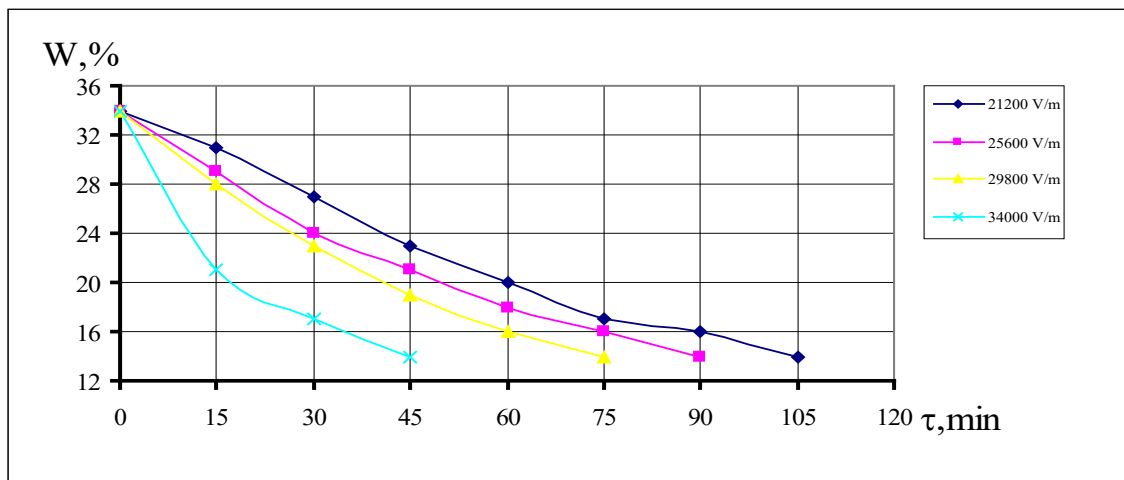
Valoarea maximală a vitezei de uscare, după cum se vede din grafice, se mărește odată cu mărirea temperaturii agentului de uscare, (fig. 4.2). Așadar, la temperatura de 60°C ea este de 0,2%/min, iar la temperatura de 70, 80, 90 și 100°C respectiv 0,22; 0,33; 0,35 și 0,44% / min.

După cum se observă, viteza de evacuare a umidității pentru  $t = 60^\circ\text{C}$  și  $t = 100^\circ\text{C}$  se mărește de 2 ori.

Pe curbele de temperatură (fig. 4.3) se observă, că la etapa inițială temperatura suprafeței materialului se mărește, atinge rapid temperatura termometrului umed, și pe parcursul primului interval de uscare poate fi divizat în trei perioade [22]: prima corespunde încălzirii materialului, a doua – evaporării intensive a umidității de pe suprafața fructului, și a treia – supraîncălzirii agentului de uscare.

## 4.2. Uscarea combinată a măceșului prin convecție și în câmp electromagnetic de frecvență înaltă

Rezultatele cineticii de uscare în condițiile convecției și convecției cu curenții



de frecvență înaltă sunt prezentate în fig. 4.4 – 4.18.

Fig. 4.4. Curbele de uscare a măceșului prin convecție +UHF, la temperatura agentului de uscare  $T = 60^\circ\text{C}$

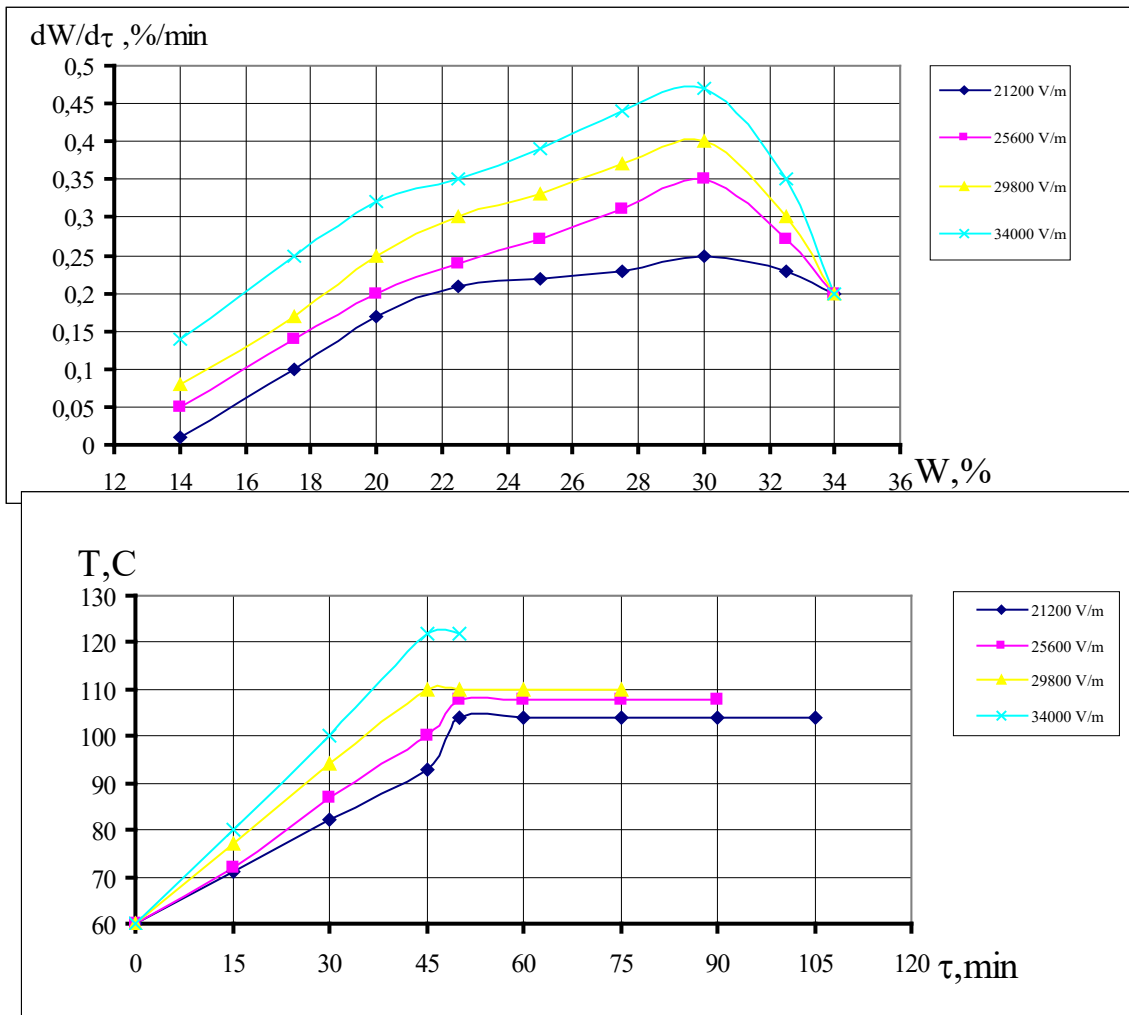


Fig. 4.5. Curbele vitezei de uscare a măceșului prin convenție + UHF, la temperatura agentului termic  $T = 60^\circ\text{C}$

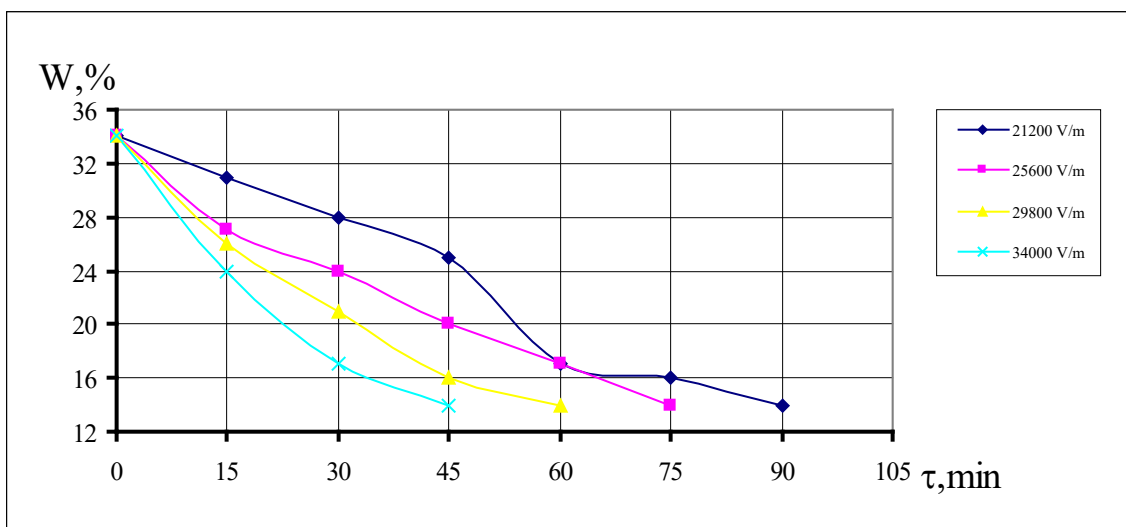


Fig. 4.6. Curbele temperaturii de uscare a măceșului prin convenție + UHF, la temperatura agentului termic  $T = 60^\circ\text{C}$

Fig. 4.7. Curbele de uscare a măceșului prin „convecție + UHF”, la temperatura agentului termic  $T = 70^{\circ}\text{C}$

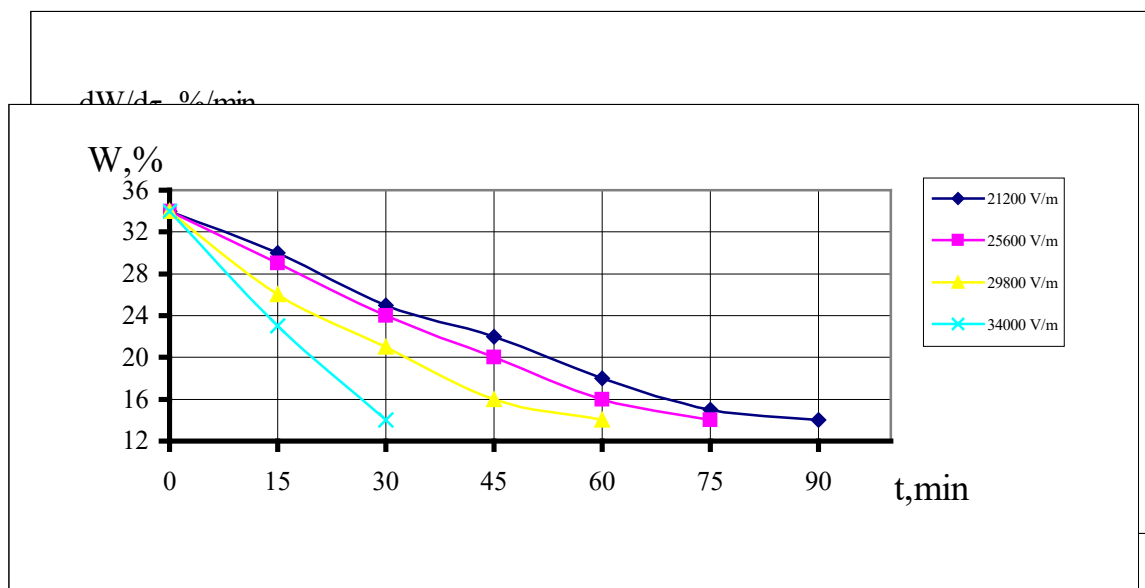
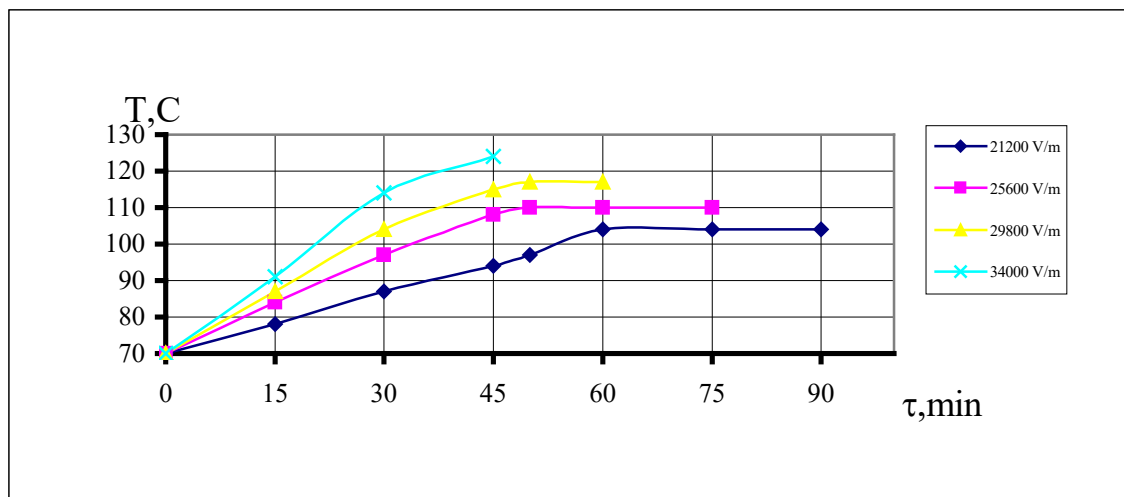


Fig. 4.8. Curbele vitezei de uscare a măceșului prin „convecția + UHF”, la temperatura agentului termic  $T = 70^{\circ}\text{C}$

Fig. 4.9. Curbele temperaturii de uscare a măceșului prin „convecție + UHF”, la temperatura agentului termic  $T = 70^{\circ}\text{C}$

Fig. 4.10. Curbele de uscare a măceșului prin „convecție + UHF”, la temperatura agentului termic  $T = 80^{\circ}\text{C}$

Fig. 4.11. Curbele vitezei de uscare a măceșului prin „convecție + UHF”, la temperatura agentului termic  $T = 80^{\circ}\text{C}$

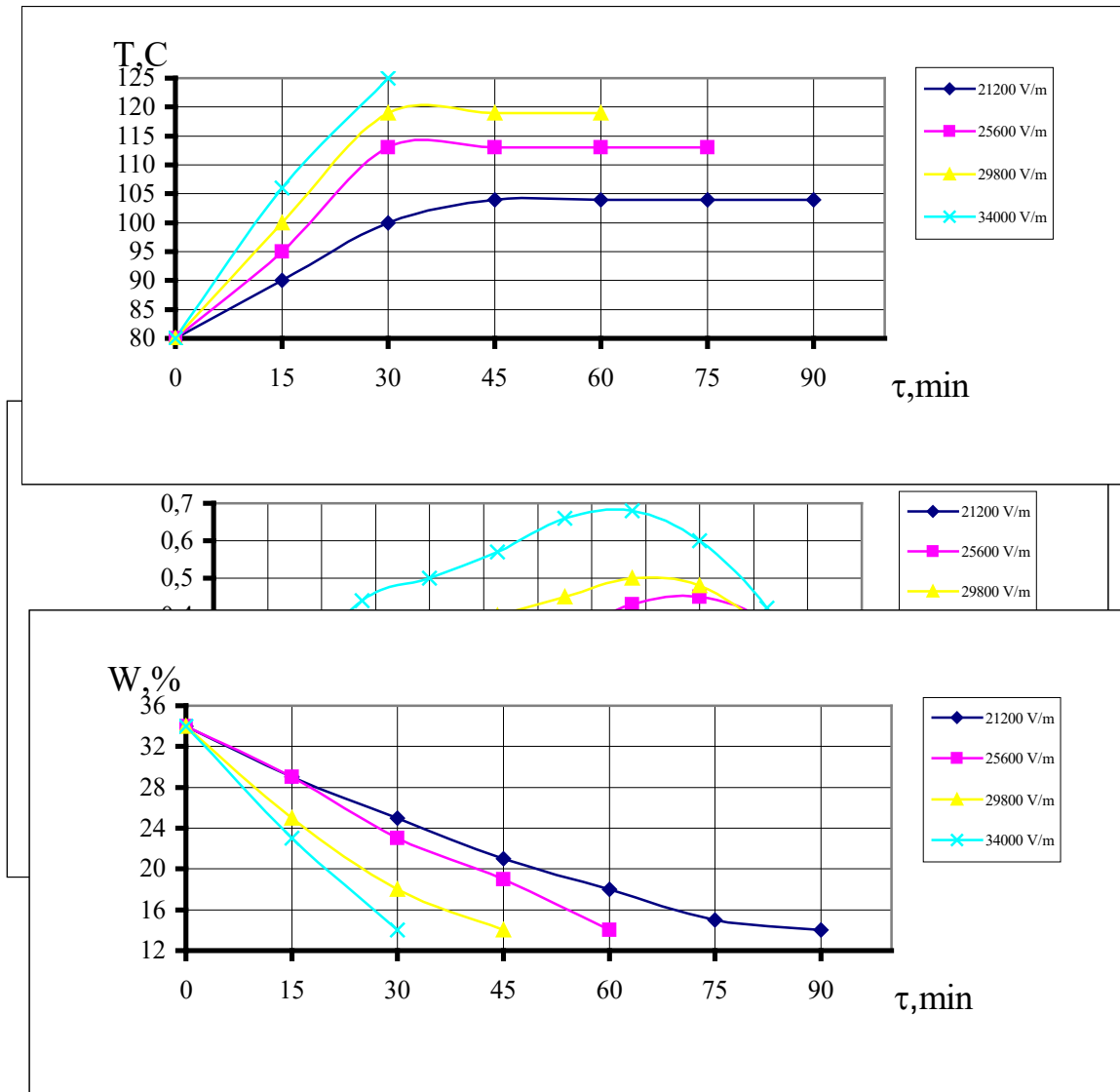


Fig. 4.12. Curbele temperaturii de uscare a măceșului prin „convecție + UHF”, la temperatura agentului termic  $T = 80^{\circ}\text{C}$

Fig. 4.13. Curbele de uscare a măceșului prin „convecție + UHF”, la temperatura agentului termic  $T = 90^{\circ}\text{C}$

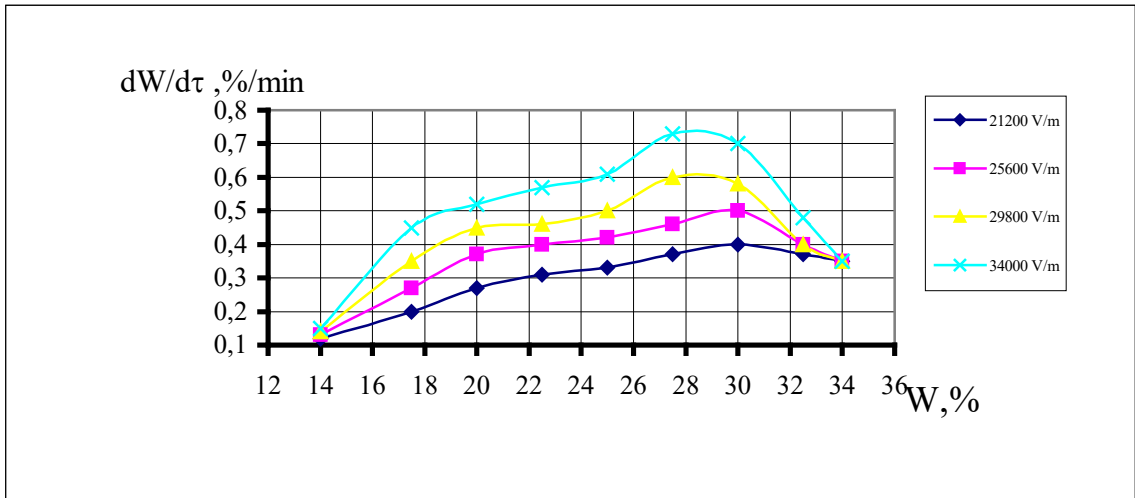


Fig. 4.14. Curbele vitezei de uscare a măceșului prin „convecție + UHF”, la temperatura agentului termic  $T = 90^{\circ}\text{C}$

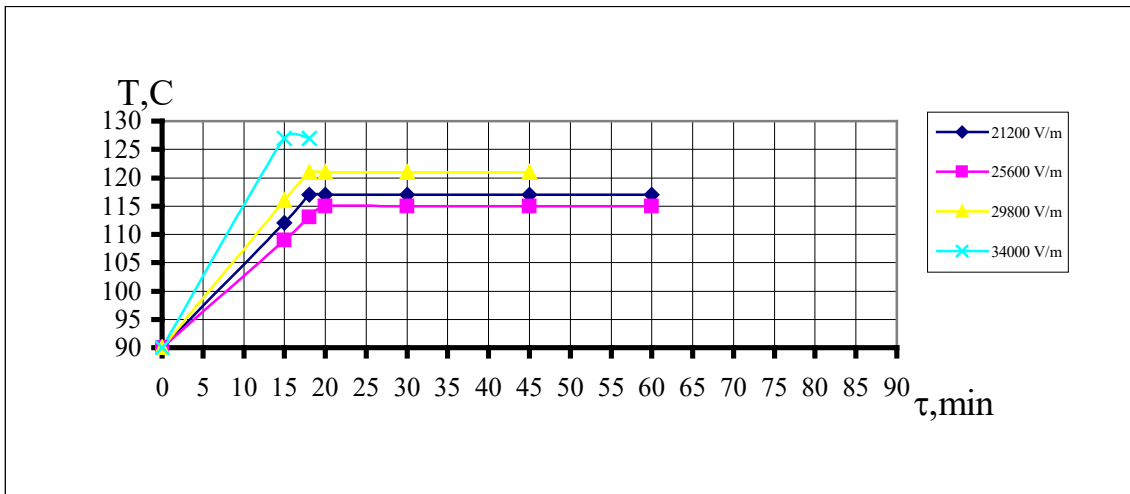


Fig. 4.15. Curbele de temperatura de uscare a măceșului prin „convecție + UHF”, la temperatura agentului termic  $T = 90^{\circ}\text{C}$

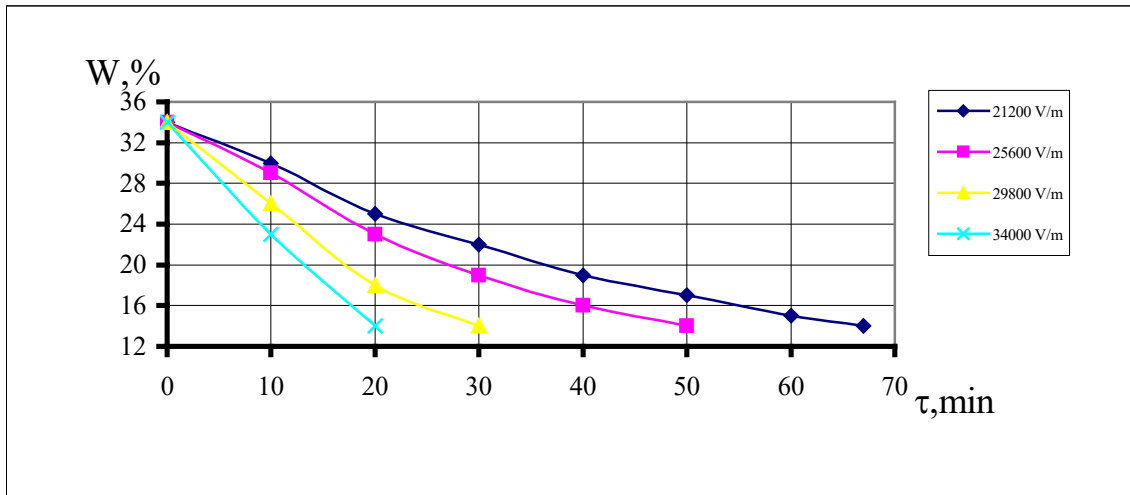


Fig. 4.16. Curbele de uscare a măceșului prin „convecție + UHF”, la temperatura agentului termic  $T = 100^{\circ}\text{C}$

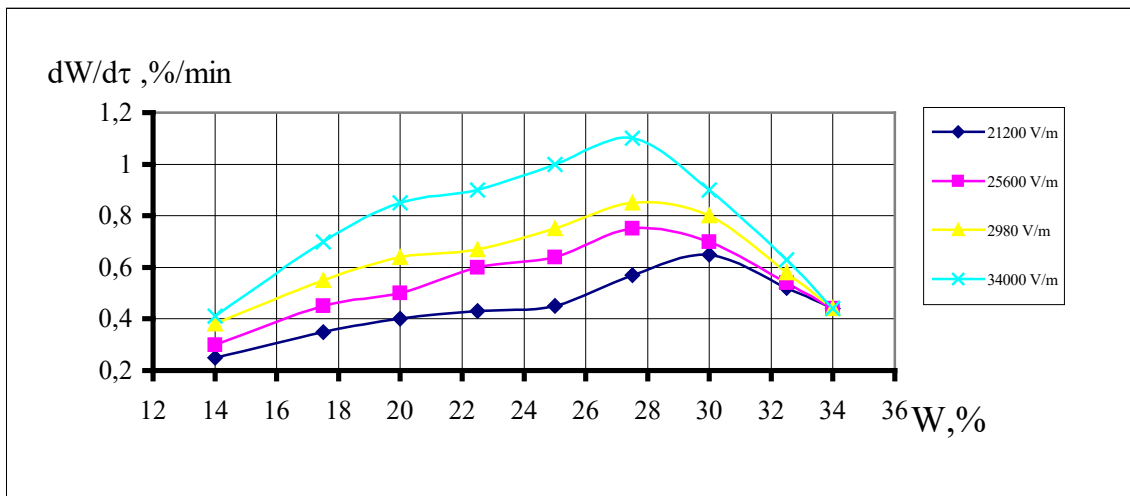


Fig. 4.17. Curbele vitezei de uscare a măceșului prin „convecție + UHF”, la temperatura agentului termic  $T = 100^{\circ}\text{C}$

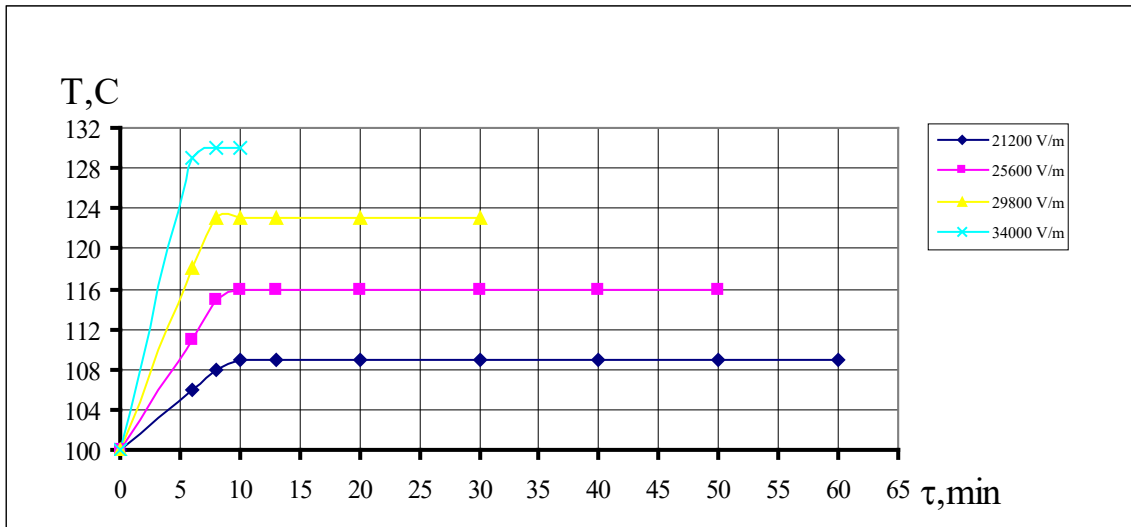


Fig. 4.18. Curbele temperaturii de uscare a măceșului prin „convecție + UHF”, la temperatura agentului termic  $T = 100^{\circ}\text{C}$

Cercetarea caracteristicilor electrofizice au demonstrat că din punct de vedere economic, este rațional de uscat măceșul până la umiditatea de 34% prin alte procedee de uscare. În cazul nostru, noi am ales procedeul convectiv de uscare, care este mai puțin costisitor, iar pentru desfășurarea procesului de uscare s-a ales generatorul cu frecvența de 27 MHz.

În afară de aceasta, s-a demonstrat, că uscarea fructului întreg este mai rațională decât uscarea separată a pericarpului și semințelor.

De aceea, măceșul întreg a fost supus uscării la început numai prin convecție, dar la atingerea umidității de 34 % - „convecției + UHF”.

Mai jos se examinează graficele de evaporare a umidității începând de la umiditatea de 34% până la 14 %.

După cum se observă, aplicarea câmpurilor electromagnetice de frecvență înaltă în combinație cu convecția, intensifică esențial procesul de uscare.

Odată cu creșterea intensității câmpului, timpul procesului de uscare ( pentru diferite temperaturi) se reduce. Așadar, în fig. 4.4. la temperatura  $60^{\circ}\text{C}$  și intensitatea câmpului electromagnetic de  $216 \cdot 10^2 \text{ V/m}$  timpul procesului de uscare până la umiditatea de 14 % a constituit 108 min., iar la intensitatea de  $340 \cdot 10^2 \text{ V/m}$  a constituit 60 min., adică s-a micșorat aproape de 2 ori.

Intensificarea procesului de uscare a produselor din contul aplicării curenților de frecvență înaltă se confirmă de alți cercetători [44, 88, 93, 132, 134, 145].

După cum se observă din fig. 4.16. la intensitatea câmpului  $E = 216 \cdot 10^2 \text{ V/m}$  și temperatura măceșului de  $100^{\circ}\text{C}$ , timpul de creștere a vitezei a constituit 12 min și de descreștere— 48 min., iar la  $E = 340 \cdot 10^2 \text{ V/m}$  respectiv 3 și 18 min.

După cum se observă după caracterul uscării combinate a măceșului, curba vitezei de uscare și perioada de descriere, inițial, se atrage către axa ordonatelor, iar apoi trecând punctul 2 critic către axa absciselor.

Caracterul de desfășurare a curbelor din fig. (5.6; 5.9; 5.12; 5.15 și 5.18) demonstrează că temperatura materialului crește continuu. În acest caz, se mărește curbura de ridicare a curbei de temperatură. Practic, nu se observă sectorul cu temperatura constantă. Valoarea maximală a intensității câmpului în cercetările noastre au fost  $E = 340 \cdot 10^2$  V/m. La majorarea acestei valori E, procesul devenea instabil, deoarece avea loc arderea produsului.

### **4.3. Compararea metodelor de uscare a măceșului după rezultatele cercetărilor**

Rezultatele obținute din cercetările procesului de uscare a măceșului prin metoda convectivă (fig. 4.1. – 4.3.) și la combinarea lui cu câmpul electric de frecvență înaltă (fig. 4.4. – 4.18.) confirmă că măceșul este un produs organic complex. În procesul de prelucrare termică în produse are loc nu numai scăderea masei din contul evaporării umidității, dar și scăderea de masă datorită modificărilor biochimice care au loc la temperaturi înalte.

Cercetările au demonstrat că durata cea mai îndelungată o are procesul de uscare convectiv. Așadar, (fig. 4.1.) durata deshidratării la temperatura de 60°C a constituit 829 min., iar la 100°C – 351 min. În cazul precedent de uscare combinată, pentru aceleași temperaturi și intensități a câmpului ( $340 \cdot 10^2$  V/m), timpul de uscare este respectiv 400 min. și 156 min. (fig. 4.4., 4.16), adică s-a micșorat mai bine de 2 ori. Dacă de comparat timpul de uscare la temperatura minimală a procedeului convectiv cu valorile maxime (100°C,  $E = 340 \cdot 10^2$  V/m) ale procedeului combinat de deshidratarea a măceșului, atunci procesul de uscare se intensifică mai bine de 5 ori.

După cum se observă din fig. 4.2., la aportul convectiv a căldurii, odată cu creșterea temperaturii agentului, crește și viteza de uscare de la 0,2 %/min până la 0,44 %/min.

Utilizarea aportului de energie combinat conduce la intensificarea deshidratării, creșterea proporțională a temperaturii aerului cald și intensității câmpului electromagnetic. Așa, de pildă, la temperatura  $t = 60^\circ\text{C}$  și  $E = 212 \cdot 10^2$  V/m - a constituit – 0,25 %/min (fig. 4.2), iar la  $t = 100^\circ\text{C}$  și  $E = 340 \cdot 10^2$  V/m (fig. 5.17.) ea a crescut până la 1,2 %/min, adică s-a mărit de 4,5 ori.

Viteza minimală a uscării (0,2 %/min) s-a mărit aproximativ de 6 ori.

Așadar, cel mai optim proces de uscare este procesul de uscare combinată la temperatura agentului de uscare de 100°C și intensitatea câmpului electromagnetic de  $340 \cdot 10^2$  V/m. După cum au demonstrat cercetările, procesul de uscare are loc în 2 etape. La I etapă, până la atingerea umidității măceșului de 34 %, trebuie de realizat procedeul convectiv ( $t = 100^\circ\text{C}$ ), la etapa a II pentru obținerea umidității de 14 % se cere utilizarea metodei combinate – „convecția + UH”,  $E = 340 \cdot 10^2$  V/m.



Pentru acest regim timpul procesului de uscare a constituit 147 min la viteza maximală de uscare -1,12 %/min.

#### **4.4. Influența parametrilor procesului de uscare a măceșului asupra calității produsului finit**

În aprecierea unui procedeu de prelucrare termică o importanță deosebită o au indicii calitativi ai produsului finit. Raționale pot fi considerate regimurile, care pe lângă un efect economic bun, asigură de asemenea și o calitate înaltă a produsului inițial.

La prelucrarea termică a măceșului, împreună cu înlăturarea umidității, au loc și modificări biochimice. Anume ele determină indicatorii calitativi ai produsului uscat finit.

După cum s-a constatat mai sus, elementele de bază care determină indicatorii calitativi sunt vitamina C,  $\beta$  - carotină și uleiul măceșului.

Din acest motiv au fost determinate schimbările acestor indici în dependență de sarcinile termice și caracteristicile de timp a procesului de uscare.

##### **4.4.1. Metodica de determinare a vitaminei C în măceș**

Fructul măceșului este bogat în vitamina C, de aceea o importanță deosebită o are păstrarea maximală a ei.

Cantitatea vitaminei C în măceș a fost determinată după metoda Murri [2]:

$$X_{1,2} = \frac{100 * 2T * 100I_2}{10 * V * I_1},$$

unde: V – volumul extrasului, utilizat pentru analiză, ml;

$I_1$  – densitatea optică a soluției de control;

$I_2$  – densitatea optică a soluției de lucru;

T – titrul soluției sării de natriu 2,6.

##### *4.4.1.1. Metoda de determinare a $\beta$ - carotenei în măceș*

Determinarea  $\beta$ - carotenei s-a efectuat după formula [2]:

$$X = \frac{a * V * 100}{M},$$

unde: a – conținutul carotenei  $\beta$ , determinată de curba combinată, mg;

V – volumul amestecului extras, 50 ml;

M – greutatea masei crude, g.

#### 4.4.1.2. Metoda extractivă de apreciere cantitativă a uleiului în măceș

Semințele măceșului, după cum s-a demonstrat și în [35], conțin până la 40 % ulei. Conținutul de ulei în măceș s-a determinat după metoda lui Râșkovski [2]:

$$X = \frac{B * 100}{A},$$

unde: A – greutatea produsului crud, g;

B – masa grăsimilor, g.

#### 4.4.2. Analiza indicilor calitativi ai măceșului în procesul de uscare a lui

Influența diferitor parametri de uscare asupra conținutului vitaminei C în măceș este reprezentată în tab. 4.1. și 4.2.

S-a constatat că la aportul convectiv de energie odată cu creșterea temperaturii agentului de uscare conținutul vitaminei C se reducea de la 1600 mg până la 1200 mg .

La uscarea prin metoda combinată tabloul se schimbă. Intensitatea câmpului electromagnetic practic nu influențează conținutul vitaminei C.

Conform GOST-lui – 1994, în măceșul uscat trebuie să se conțină nu mai puțin de 1100 mg % de vitamina C,

Din tabel se observă, că conținutul vitaminei C la uscarea combinată variază în limitele 1600mg % ... 1200 mg %, ceea ce corespunde GOST-lui 1994.

Rezultatele cercetărilor au demonstrat că la uscarea convectivă conținutul  $\beta$ -carotenei scade odată cu creșterea temperaturii.

Utilizarea aportului de energie combinat – „convecția + UHF”, la diferite intensități și temperaturi ale agentului termic (60, 70, 80, 90 și 100°C) conținutul  $\beta$ - carotenei a constituit în medie – 15; 14,5; 14,0; 13,5 și 13 mg %, ceea ce corespunde GOST (13 mg %).

#### 4.4.3. Corelația matematică a indicilor calitativi, de temperatură și intensitate

Asupra calității măceșului uscat influențează doi factori: temperatura agentului de uscare și intensitatea câmpului electric E.

De aceea, modelul matematic va fi reprezentat în formă de polinom liniar:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 \quad (4.5)$$

în care  $y$  caracterizează indicii calitativi ai măceșului, respectiv, conținutul vitaminei C,  $\beta$ - carotenei și uleiului.

Pentru construirea modelului se utilizează metodele analizei corelative și regresive.

În rezultatul prelucrării matematice, pentru vitamina C a fost obținută următoarea ecuație de regresie:

$$C = 1841,58 - 8,685T + 0,897 \cdot 10^{-2}E \quad (4.6.)$$

## 5. DESCRIEREA MATEMATICĂ A METODEI DE USCARE A MĂCEȘULUI CU UTILIZAREA ÎNCĂLZIRII CONVECTIVE ȘI UHF

O mare importanță o are teoria transferului de căldură și masă pentru materia primă utilizată în medicină. Din această categorie face parte și măceșul, care conține o cantitate mare de ulei, acid ascorbic,  $\beta$ -caroten și alte substanțe de valoare.

Structura complexă a măceșului și forma geometrică nestandard fac dificilă descrierea matematică a procedurii combinat pentru astfel de obiect. În lucrare, cu unele admiteri, s-a încercat să elaborăm un model matematic a procesului de uscare pentru sistemele eterogene complexe, cum este măceșul.

### 5.1 Descrierea modelului matematic al procesului de uscare

Dacă ne imaginăm măceșul ca o figură geometrică în formă de sferă, reieșind din datele bibliografice se observă că transferul de masă și căldură pentru procesul de uscare combinată pentru fructe de așa formă geometrică nu este studiat îndeajuns.

Reieșind din forma celulei de lucru care se aseamănă cu doi cilindri coaxiali între pereții căruia se află cățina albă supusă uscării și în urma analizei bibliografice s-a constatat, că transferul de căldură și masă pentru procesul de uscare combinat (convecția și UHF) a produselor alimentare în celule cu astfel de formă geometrică este studiat insuficient. S-au efectuat cercetări aparte, corespunzător, pentru procedeul convectiv [77, 78] și pentru transferul de căldură și de masă la sursa de căldură internă [80].

Noi am încercat să creăm un model matematic anume pentru aplicarea combinată a energiei la uscarea cătinii albe între pereții cilindrilor coaxiali.

Transferul de căldură în produsul dintre pereții cilindrilor 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 cilindrii coaxiali nemărginiți vor avea următoarele ecuații:

$$\frac{\partial(rt(r, \tau))}{\partial \tau} = a_q \frac{\partial^2(rt(r, \tau))}{\partial r^2} + \frac{\varepsilon' c'_T}{c_q} \cdot \frac{\partial[r\theta(r, \tau)]}{\partial \tau} + \frac{Qr}{c_q \rho} \quad (6.1)$$

$$\frac{\partial r(\theta(r, \tau))}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2(r\theta(r, \tau))}{\partial r^2} + a_m \delta \cdot \frac{\partial^2[r t(r, \tau)]}{\partial r^2} \quad (6.2)$$

unde:

$a_q, a_m$  –sunt, respectiv, coeficienții de difuzitate 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, în  $kg/(K \cdot M)$  și termică specifică, în  $kJ/(kg \cdot K)$ ;

$Q$  - 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  $1/grad$ ;

$\theta$  - potențialul transferului de umiditate, în  $^{\circ}M$ .

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:

$$-\lambda \frac{\partial t(R, \tau)}{\partial r} + \alpha [t_c - t(R, \tau)] - (1 - \varepsilon) r' \beta (\theta_2(R, \tau) - \theta_p) = 0 \quad (6.3)$$

$$\lambda_m \left[ \frac{\partial \theta(R, \tau)}{\partial r} + \delta \frac{\partial t(R, \tau)}{\partial r} \right] + \beta (\theta(R, \tau) - \theta_p) = 0 \quad (6.4)$$

unde:

$\lambda_q, \lambda_m$  - sunt respectiv conductivitatea termică, în  $W/(m \cdot K)$  și conductivitatea masică, în  $kg/(m \cdot M)$ ;

$\alpha, \beta$  – corespunzător, coeficienții transferului de căldură,  $W/(m^2 \cdot K)$  și de masă,  $kg/(m^2 \cdot s \cdot M)$ .

Ele reprezintă ecuațiile bilanțului termic și a bilanțului masic aplicat suprafețelor corpului.

Condițiile inițiale sunt determinate folosind legea distribuirii temperaturii și potențialului transferului de masă în momentul inițial.

$$\begin{aligned} T(r,0) &= t_0 \\ \frac{\partial t(0,\tau)}{\partial r} &= \frac{\partial \theta(0,\tau)}{\partial r} = 0 \end{aligned} \quad (6.5)$$

$$(r,0) = \Theta$$

Ultima condiție este condiția simetriei.

Pentru rezolvarea acestei probleme folosim transerul lui Laplace. Pentru aceasta introducem următoarele notații distinctive:

$$L[rt(r,\tau)] = \int_0^{\infty} rt(r,\tau)e^{-st} d\tau = \mathcal{G}_L(r,s) = r t_L(r,s) \quad (6.6)$$

$$L[r\theta(r,\tau)] = \int_0^{\infty} r\theta(r,\tau)e^{-st} d\tau = u_L(r,s) = r\theta(r,s) \quad (6.7)$$

Ecuatia (6.1) și (6.2) cu condiția că (6.6) și (6.7) se scriu în felul următor:

$$\mathcal{G}_L''(r,s) - \frac{s}{a_q} \mathcal{G}_L(r,s) + \frac{\varepsilon r'c'}{c_q a_q} s U_L(r,s) + \frac{Q}{c_q \rho a_q} + \frac{rt_0}{a_q} - \frac{\varepsilon r'c'_T}{c_q a_q} r\theta = 0 \quad (6.8)$$

$$U_L''(r,s) - \frac{s}{a_m} U_L(r,s) + \delta \mathcal{G}_L''(r,s) + \frac{r\theta_0}{a_m} = 0 \quad (6.9)$$

Din ecuația (6.8) determinăm  $U_L(r,s)$  și derivata a doua  $U_L''(r,s)$ :

$$U_L(r,s) = \left( -\mathcal{G}_L''(r,s) + \frac{s}{a_q} \mathcal{G}_L(r,s) - \frac{Q}{s c_q \rho a_q} - \frac{rt_0}{a_q} + \frac{\varepsilon r c'_T}{c_q a_q} r\theta \right) \frac{c_q a_q}{\varepsilon r'c'_T s} \quad (6.10)$$

$$U_L''(r,s) = \left( -\mathcal{G}_L^{IV}(r,s) + \frac{s}{a_q} \mathcal{G}_L''(r,s) \right) \frac{c_q a_q}{\varepsilon r'c'_T s} \quad (6.11)$$

Înlocuim (6.10) și (6.11) în (6.9).

$$\mathcal{G}_L^{IV}(r,s) - \mathcal{G}_L^I(r,s) \left( \frac{s}{a_q} + \frac{s}{a_m} + \frac{\delta \varepsilon r' s c'_T}{c_q a_q} \right) + \frac{s^2}{a_q a_m} \mathcal{G}_L(r,s) - \frac{rt_0 s}{a_m a_q} - \frac{Qr}{\rho s a_m a_q c_q} = 0$$

(6.12)

Integrala comună a ecuației (6.12) se va scrie în felul următor [83]:

$$\mathcal{G}_L(r,s) = \frac{rt_0}{s} + \frac{Qr}{sc_q \rho} + C_1 e^{\nu_1 r \sqrt{\frac{a}{a_q}}} + C_2 e^{\nu_2 r \sqrt{\frac{a}{a_q}}} + C_3 e^{-\nu_1 r \sqrt{\frac{a}{a_q}}} + C_4 e^{-\nu_2 r \sqrt{\frac{a}{a_q}}}$$

(6.13)

unde:  $C_1, C_2, C_3, C_4$ -constante arbitrare

$\nu_j$ -se descrie cu ajutorul ecuației [83]:

$$\nu_j = \frac{1}{2} \left[ \left( 1 + Fe + \frac{1}{Lu} \right) + (-1)^j \sqrt{\left( 1 + Fe + \frac{1}{Lu} \right)^2 - \frac{4}{Lu}} \right]$$

(6.14)

$j=1,2$ , Fe, Lu –respectiv criteriul lui Fedorov și criteriul de inerție.

Soluția pentru  $U_L(r,s)$  o găsim prin înlocuirea  $v''_L(r,s)$  și  $v'_L(r,s)$  în ecuația (6.8).

Ecuația pentru  $U_L(r,s)$  va avea forma:

$$U_L(r,s) = C_1 \frac{c_q}{\varepsilon r' c_T} (1 - \nu_1^2) e^{\sqrt{\frac{s}{a_q}} \nu_1 r} + C_2 \frac{c_q}{\varepsilon r' c_T} (1 - \nu_2^2) e^{\sqrt{\frac{s}{a_q}} \nu_2 r} + C_3 \frac{c_q}{\varepsilon r' c_T} (1 - \nu_1^2) e^{\sqrt{\frac{a}{a_q}} \nu_1 r} +$$

$$+ C_4 \frac{c_q}{\varepsilon r' c_T} (1 - \nu_2^2) e^{\sqrt{\frac{a}{a_q}} \nu_2 r} - \frac{Qr}{\varepsilon r' c_T s^3} + \frac{r\theta_0}{s}$$

(6.15)

Constantele  $C_K$  se determină de condițiile de frontieră și condițiile de simetrie.

Folosind transferurile lui Laplace:

$$t'_L(0,s) \text{ și } \Theta'_L(0,s)=0$$

Condițiile simetriei pentru temperatura modificată pot fi scrise sub forma:

$$v_L(0,s)=0 \quad (6.16)$$

Analogic, se scriu condițiile pentru potențialul modificat de substanță:

$$U_L(0,s)=0 \quad (6.17)$$

Din (6.16), (6.17) reese că  $C_3=-C_1$ ,  $C_4=-C_2$ . Aceasta înseamnă că ecuația (6.14) și (6.15) pot fi simplificate:

$$t_L(r,s) - \frac{t_0}{S} - \frac{Q}{S^3 C_q \rho} = B_1 \frac{\sqrt{\frac{S}{a_q}} \cdot v_1 r}{r} + B_2 \frac{\sqrt{\frac{S}{a_q}} \cdot v_2 r}{r} \quad (6.18)$$

$$\theta_L(r,s) - \frac{\theta_0}{s} + \frac{Q}{s^3 c_T \varepsilon'} = B_1 \frac{c_q}{\varepsilon' c_T} (1-v_1^2) \frac{\sqrt{\frac{S}{a_q}} v_1 r}{r} + B_2 \frac{c_q}{\varepsilon' c_T} (1-v_2^2) \frac{\sqrt{\frac{S}{a_q}} v_2 r}{r} \quad (6.19)$$

Aici  $B_1 = 2C_1$  și  $B_2 = 2C_2$  – constante noi referitor față de coordonate.  $B_1$  și  $B_2$  le determinăm din condițiile de frontieră (6.3) și (6.4) care după transferurile lui Laplace se scriu în felul următor:

$$\lambda_q t'_L(R,s) + \alpha \left[ \frac{t_c}{s} - t_L(R,s) \right] - (1-\varepsilon) r' \beta \left( \theta_L(R,s) - \frac{\theta_p}{s} \right) = 0 \quad (6.20)$$

$$\lambda_m \theta'_L(R,s) + \lambda_m \delta t'_L(R,s) + \beta \left( \theta_L(R,s) - \frac{Q_p}{s} \right) = 0$$

$$(6.21)$$

Din ecuațiile (6.18) și (6.19) găsim  $t_L(R,s)$ ,  $t'_L(R,s)$ ,  $\Theta(R,s)$  și  $\Theta'_L(R,s)$ , pe care le înlocuim respectiv în ecuațiile (6.20) și (6.21). După simplificarea sistemului ecuațiile primesc forma:



$$B_1 \tilde{Q}_1 + B_2 \tilde{Q}_2 \frac{t_c - t_0}{s} + (1 - \varepsilon) \frac{r' \beta}{\alpha} \cdot \frac{(\theta_0 - \theta_p) r}{s} + \left( \frac{\lambda_q Q}{2s^3 c_q \gamma R^2} + \frac{Q}{s^3 c_q \gamma R} + \frac{(1 - \varepsilon) r' \beta Q}{\alpha \varepsilon r' c_T s^3 R} \right) = 0 \quad (6.22)$$

$$\tilde{Q}_j = \frac{1}{Bi_q} \sqrt{\frac{s}{a_q} v_j ch \sqrt{\frac{s}{a_q} v_j R}} + \frac{1}{Bi_q} \cdot \frac{\sqrt[sh]{\frac{s}{a_q} v_j R}}{R} - (1 + (1 - v_j^2) K_1) \frac{\sqrt[sh]{\frac{s}{a_q} v_j R}}{R} \quad (6.23)$$

unde :

$$Bi_q\text{-criteriul Bio de transfer de căldură, } Bi_q = \frac{\alpha}{\lambda_q} R$$

$$K_1\text{-criteriul complex, } K_1 = \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \cdot \frac{c_q}{c_T} \cdot \frac{\beta}{\alpha}$$

$$B_1 \tilde{P}_1 + B_2 \tilde{P}_2 + \frac{Fe}{r'} \cdot \frac{\theta_0 - \theta_p}{s} + \left( \frac{\lambda_m Q}{s^3 c_q \beta R^2} - \frac{\lambda_m Q \varepsilon r' c_T'}{s^3 c_q^2 \rho \beta R^2} - \frac{Q}{c_q s^3 R} \right) = 0 \quad (6.24)$$

$$\tilde{P}_j = \left( -\frac{1}{Bi_m} \sqrt{\frac{s}{a_q}} (1 - v_j^2) - \frac{Fe}{Bi_m} \sqrt{\frac{s}{a_q} v_j} \right) \frac{\sqrt[sh]{\frac{s}{a_q} v_j R}}{R} + \left( \frac{1}{Bi_m} \cdot \frac{1 - v_j^2}{R} + \frac{Fe}{Bi_m R} - (1 - v_j^2) \right) \frac{\sqrt[sh]{\frac{s}{a_q} v_j \lambda R}}{R} \quad (6.25)$$

unde:

$$Fe\text{-criteriul Fedorov, } Fe = \frac{\varepsilon r' \beta c_T'}{c_q}$$

$$Bi_m\text{- criteriul Bio de transfer de masă, } Bi_m = \frac{\beta}{\lambda_m} R$$

Din ecuațiile (6.22) și (6.24) găsim  $B_1$  și  $B_2$ , efectuăm modificarea  $C = \frac{c_q}{c_T}$

În așa mod, soluțiile pentru imaginile modificate de transfer de potențial vor fi următoarele:

$$\begin{aligned}
v_L(R, s) - \frac{rt_0}{s} &= (t_c - t_0) \left( \frac{\tilde{P}_1 + \varepsilon K_0 (\tilde{Q}_1 - K_1 \tilde{P}_1)}{s(\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - \tilde{Q}_1 \tilde{P}_2)} \sqrt[sh]{\frac{s}{a_q}} v_2 r + \frac{T_2}{t_c - t_0} \frac{s(\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - \tilde{Q}_1 \tilde{P}_2)}{s(\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - \tilde{Q}_1 \tilde{P}_2)} \sqrt[sh]{\frac{s}{a_q}} v_2 r - \right. \\
&\quad \left. - \frac{\tilde{P}_2 + \varepsilon K_0 (\tilde{Q}_2 - K_1 \tilde{P}_2)}{s(\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - \tilde{Q}_1 \tilde{P}_2)} \sqrt[sh]{\frac{s}{a_q}} v_1 r + \frac{T_1}{t_c - t_0} \frac{s(\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - \tilde{Q}_1 \tilde{P}_2)}{s(\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - \tilde{Q}_1 \tilde{P}_2)} \sqrt[sh]{\frac{s}{a_q}} v_1 r + \frac{Q}{s^3 c_q \rho (t_c - t_0)} \frac{s(\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - \tilde{Q}_1 \tilde{P}_2)}{s(\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - \tilde{Q}_1 \tilde{P}_2)} \right) \\
&= (t_c - t_0) \frac{\Phi_1(s)}{\Psi_1(s)}
\end{aligned}$$

(6.26)

$$\begin{aligned}
\frac{r\theta_0}{s} - U_L(r, s) &= (\theta_0 - \theta_p) \left( \frac{\tilde{Q}_2 + \frac{\tilde{P}_2}{\varepsilon K_0} - K_1 \tilde{P}_2}{s(\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - \tilde{Q}_1 \tilde{P}_2)} (1 - v_j^2) \sqrt[sh]{\frac{s}{a_q}} v_1 r - \frac{T_2}{\theta_0 - \theta_p} \frac{s(\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - \tilde{Q}_1 \tilde{P}_2)}{s(\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - \tilde{Q}_1 \tilde{P}_2)} (1 - v_j^2) \cdot \right. \\
&\quad \cdot \frac{c_q}{\varepsilon' c_T} \sqrt[sh]{\frac{s}{a_q}} v_1 r - \frac{\tilde{Q}_1 + \frac{\tilde{P}_1}{\varepsilon K_0} - K_1 \tilde{P}_1}{s(\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - \tilde{Q}_1 \tilde{P}_2)} (1 - v_j^2) \sqrt[sh]{\frac{s}{a_q}} v_2 r - \frac{T_2}{\theta_0 - \theta_p} \frac{s(\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - \tilde{Q}_1 \tilde{P}_2)}{s(\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - \tilde{Q}_1 \tilde{P}_2)} \times (1 - v_j^2) \frac{c_q}{\varepsilon' c_T} \sqrt[sh]{\frac{s}{a_q}} v_2 r + \\
&\quad \left. \frac{Q}{s^3 r' c_T (\theta_0 - \theta_p)} \frac{s(\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - \tilde{Q}_1 \tilde{P}_2)}{s(\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - \tilde{Q}_1 \tilde{P}_2)} \right) = (\theta_0 - \theta_p) \frac{\Phi_2(s)}{\Psi_1(s)}
\end{aligned}$$

(6.27)

unde:

$$\text{Ko} - \text{criteriul Kosovici, } Ko = \frac{r(\theta_0 - \theta_p)}{c_q(t_c - t_0)}$$

$$T_1 = \left( \frac{\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - 1}{\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - \tilde{Q}_1 \tilde{P}_2} \right) \left( \frac{\lambda_q Q}{\tilde{Q}_1 \alpha s^3 c_q \rho R^2} + \frac{Q}{\tilde{Q}_1 \alpha s^3 c_q \rho R^2} + \frac{K_1 Q}{\tilde{Q}_1 \alpha s^3 c_q \rho R^2} \right) +$$

$$+ \frac{\tilde{Q}_2}{\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - \tilde{Q}_1 \tilde{P}_2} \left( \frac{\lambda_m Q}{\beta s^3 c_q R^2} + \frac{\lambda_m Q \varepsilon' c_T'}{s^3 c_q \rho R^2 \beta} + \frac{Q}{s^3 c_q R^2} \right)$$

(6.28)

$$T_2 = \frac{Q}{\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - \tilde{Q}_1 \tilde{P}_2} \left( -\frac{\lambda_q Q \tilde{P}_1}{\tilde{Q}_1 \alpha s^3 c_q \rho R^2} - \frac{Q \tilde{P}_1}{\tilde{Q}_1 s^3 c_q \rho R} - \frac{K_1 Q \tilde{P}_1}{\tilde{Q}_1 s^3 c_q R} - \frac{\lambda_m Q \varepsilon' c_T'}{s^3 c_q^2 \rho R^2 \beta} - \frac{Q}{s^3 c_q R} \right)$$

(6.29)

Folosim transformările inverse ale lui Laplace pentru a primi imaginea originală:

$$L^{-1} \left[ \frac{\Phi_1(s)}{\Psi_1(s)} \right] = \frac{\Phi_{01}(0)}{\Psi_0'(0)} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Phi_1(s_n)}{\Psi_1'(s_n)} \exp(s_n \tau)$$

(6.30)

$$L^{-1} \left[ \frac{\Phi_2(s)}{\Psi_1(s)} \right] = \frac{\Phi_{02}(0)}{\Psi_0'(0)} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Phi_2(s_n)}{\Psi_1'(s_n)} \exp(s_n \tau)$$

(6.31)

Soluția sistemului (6.30) și (6.31) conform metodei expuse în bibliografie [83,84], ne dă soluția definitivă a rezolvării noastre.

În așa mod, rezolvarea ecuațiilor diferențiale transferului intern de masă și căldură are forma:

$$T = \frac{t(r, \tau) - t_0}{t_c - t_0} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \left( C_{n1} \frac{\sin \nu_2 \mu_n \frac{R}{r}}{\frac{r}{R}} - C_{n2} \frac{\sin \nu_1 \mu_n \frac{R}{r}}{\frac{r}{R}} - \frac{C_{n3}}{r} \right) \exp(-\mu_n^2 Fo)$$

(6.32)

Trecem de la potențialul transfer de umiditate la conținutul de umiditate

$$U = \frac{U_0 - U(r, \tau)}{U_0 - U_p} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \left( C_{n2}^* (1 - v_1^2) \frac{\sin v_1 \mu_n \frac{r}{R}}{\frac{r}{R}} - C_{n1}^* (1 - v_2^2) \frac{\sin v_2 \mu_n \frac{r}{R}}{\frac{r}{R}} - \frac{C_{n3}^*}{r} \right) \exp(-\mu_n^2 Fo)$$

(6.33)

unde:

Fo – criteriul Furie,  $Fo = \frac{a_q \tau}{R^2}$

$$C_{n1} = \frac{2}{\mu_n \psi_n} - \tilde{P}_1 - \varepsilon Ko (\tilde{Q}_1 - K_1 \tilde{P}_1) - \frac{Po \tilde{P}_1 R^4}{Bi_q^2 \alpha a_q \mu_n^6 c_q \rho} - \frac{Po \tilde{P}_1 R^4}{Bi_q^2 a_q \mu_n^6 c_q \rho} + \frac{Po K_1 R^4}{Bi_q a^2 \mu_n^6 c_q} +$$

$$+ \frac{\lambda_m Po Fe \tilde{Q}_1 R^3}{Bi_q a^2 \mu_n^6 c_q \delta \rho} - \frac{Po \tilde{Q}_1 R^2}{Bi_q a_q \mu_n^4 c_q}$$

(6.34)

$$C_{n2} = \frac{2}{\mu_n \psi_n} - \tilde{P}_2 - \varepsilon Ko (\tilde{Q}_2 - K_1 \tilde{P}_1) - \frac{\tilde{Q}_2 Po \tilde{P}_1 R^4}{Bi_q^2 \tilde{Q}_1 \alpha a_q \mu_n^6 c_q \rho} - \frac{Po \tilde{P}_2 R^4}{Bi_q^2 a_q \mu_n^6 c_q \rho} - \frac{Po \tilde{P}_1 R^4}{Bi_q a^2 \mu_n^6 c_q \rho} -$$

$$- \frac{Po K_1 \tilde{P}_2 R^4}{a^2 \mu_n^6 c_q} - \frac{\lambda_m Po \tilde{Q}_2 R^3}{Bi_q a_q \mu_n^6 c_q \beta} - \frac{\lambda_m Po Fe \tilde{Q}_2 R^3}{Bi_q a_q \mu_n^6 c_q \rho} + \frac{Po \tilde{Q}_2 R^2}{Bi_q a_q \mu_n^4 c_q}$$

(6.35)

$$C_{n3} = \frac{Po R^5 (\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - \tilde{Q}_1 \tilde{P}_2)}{Bi_q a_q^2 \rho c_q \mu_n^6}$$

(6.36)

unde:

Po - criteriul Pomeranțev,  $Po = \frac{QR^2}{\lambda_q (t_c - t_0)}$

$$C^*_{n1} = \frac{2}{\mu_n \psi_n} - \tilde{Q}_1 - \frac{\tilde{P}_1}{\varepsilon Ko} + K_1 \tilde{P}_1 - \frac{KoPo\tilde{P}_1 R^4}{Bi^2_q \alpha \alpha_q \mu_n^6 c'_{\tau r'}} - \frac{KoPo\tilde{P}_1 R^4}{Bi_q a^2_q \mu_n^6 c'_{\tau \rho r'}} - \frac{KoPo\tilde{P}_1 R^4}{Bi_q a^2_q \mu_n^6 c'_{\tau r'}} - \frac{\lambda_m KoPoFe\tilde{Q}_1 R^3}{Bi_q a^2_q \mu_n^6 r' c'_{\tau} \delta \beta \rho} + \frac{KoPo\tilde{Q}_1 R^2}{Bi_q a_q \mu_n^4 r' c'_{\tau}}$$

(6.37)

$$C^*_{n2} = \frac{2}{\mu_n \psi_n} - \tilde{Q}_2 - \frac{\tilde{P}_2}{\varepsilon Ko} + K_1 \tilde{P}_2 - \frac{KoPo\tilde{P}_2 R^4}{Bi^2_q a_q \mu_n^6 c'_{\tau r'} \rho} - \frac{KoPo\tilde{P}_2 R^4}{Bi^2_q a_q \mu_n^6 c'_{\tau \rho r'}} - \frac{KoK_1 Po\tilde{P}_2 R^2}{Bi_q a^2_q \mu_n^6 c'_{\tau r'}} - \frac{KoPo\tilde{Q}_1 R^3}{Bi_q a^2_q \mu_n^6 r' c'_{\tau} \beta} - \frac{\lambda_m KoPoFe\tilde{Q}_2 R^3}{Bi_q a^2_q \mu_n^6 r' c'_{\tau} \delta \beta \rho} + \frac{KoPo\tilde{Q}_2 R^2}{Bi_q a_q \mu_n^4 r' c'_{\tau}}$$

(6.38)

$$C^*_{n3} = \frac{KoPoR^3 \delta (\tilde{Q}_2 \tilde{P}_1 - \tilde{Q}_1 \tilde{P}_2)}{FeBi_q a^2_q r' c'_{\tau} \mu_n^4}$$

(6.39)

unde:

$$Ko - \text{criteriul Kosovici, } Ko = \frac{r'(\theta_0 - \theta_p)}{c_q(t_c - t_0)}$$

$$\psi_n = v_1 P_{n2} A_{n1} + v_2 Q_{n2} B_{n1} - v_2 P_{n1} A_{n2} - v_1 Q_{n2} B_{n1}$$

(6.40)

$$Q_{nj} = \frac{v_j \mu_n}{Bi_q} \cos v_j \mu_n + \left( 1 + \frac{1}{Bi_q} + (1 - v^2_j) K_1 \right) \sin v_j \mu_n$$

(6.41)

$$A_{nj} = -\frac{v_j \mu_n}{Bi_q} \sin v_j \mu_n + \left( 1 + \frac{1}{Bi_q} + (1 - v^2_j) K_1 \right) \cos v_j \mu_n$$

(6.42)

$$P_{nj} = \left( \mu_n (1 - \nu_1^2) - Fe \nu_j \mu_n \right) \frac{\cos \nu_j \mu_n}{Bi_m R^2} - \frac{\left( (1 - \nu_1^2) + Fe + Bi_m R (1 - \nu_1^2) \right)}{Bi_m R} \sin \nu_j \mu_n$$

(6.43)

$$B_{nj} = \frac{\left( 1 - \nu_j^2 \right) \left( -\frac{1}{\nu_j} - 1 + Bi_m R \right) - 2Fe}{Bi_m R} \cos \nu_j \mu_m + \frac{\mu_n (1 - \nu_j^2) + Fe \nu_j \mu_m}{Bi_m R} \sin \nu_j \mu_m$$

(6.44)

$$\tilde{Q}_j = \frac{1}{Bi_q} \nu_j \mu_m \cos \nu_j \mu_m + \frac{1}{Bi_q} \sin \nu_j \mu_m + \left( 1 + (1 - \nu_j^2) K_1 \right) \sin \nu_j \mu_m$$

(6.45)

$$\tilde{P}_j = \left( -\frac{1}{Bi_m} \mu_n (1 - \nu_j^2) - \frac{Fe}{Bi_m} \nu_j \mu_n \right) \frac{\cos \nu_j \mu_n}{R} - \left( \frac{1}{Bi_m} (1 - \nu_j^2) - \frac{Fe}{Bi_m} - (1 - \nu_j^2) \right) \frac{\sin \nu_j \mu_n}{R}$$

(6.46)

unde:

$\mu_n$  – rădăcina ecuației caracteristice care se poate determina după tabel din sursele bibliografice [83,84,85].

## 5.2 Controlul modelului matematic la compatibilitate

Ecuțiile pentru temperatură (6.32) și umiditate (6.33), deduse de noi pentru măceș, sunt necesare de a fi controlate la compatibilitatea curbelor de temperatură și a curbelor de uscare.

Controlul la compatibilitate a modelului s-a petrecut cu ajutorul criteriului lui Fișer. Înainte de a începe cecetarea ecuațiilor noastre, vom găsi temperatura și umiditatea medie a sferei (fructului de maceș) pe tot volumul, care se determină după formula:

$$\bar{T}(\tau) = \frac{3}{R^3} \int_0^R r T(r, \tau) dr$$

(6.47)

$$\bar{U}(\tau) = \frac{3}{R^3} \int_0^R r U(r, \tau) dr$$

(6.48)

Folosindu-ne de expresia (6.47) și (6.48) formulele (6.32) și (6.33) vor fi scrise în felul următor:

$$\bar{T}(\tau) = \frac{3}{R^3} \int_0^R t_c dr - \frac{3}{R^3} \int_0^R \left[ (t_c - t_0) \sum_{n=1}^{\infty} \left( C_{n1} \frac{\sin v_2 \mu_n \frac{r}{R}}{\frac{r}{R}} - C_{n2} \frac{\sin v_1 \mu_n \frac{r}{R}}{\frac{r}{R}} - \frac{C_{n3}}{R} \right) \exp(-\mu_n^2 Fo) \right] dr$$

(6.49)

$$\bar{U}(\tau) = \frac{3}{R^3} \int_0^R U_p dr + \frac{3}{R^3} \int_0^R \left[ (U_0 - U_p) \sum_{n=1}^{\infty} \left( C_{n2}^* (1 - v_1^2) \frac{\sin v_2 \mu_n \frac{r}{R}}{\frac{r}{R}} - C_{n1}^* (1 - v_2^2) \frac{\sin v_1 \mu_n \frac{r}{R}}{\frac{r}{R}} - \frac{C_{n3}}{R} \right) \exp(-\mu_n^2 Fo) \right] dr$$

(6.50)

Din ecuațiile (6.49) și (6.50) se observă că primul component al expresiei din partea dreaptă va fi egal cu constanta, al doilea poate fi prezentat ca constanta arbitrară.

În așa mod, ecuațiile (6.49) și (6.50) se pot prezenta în forma generală:

$$T = C_1 + A_1 e^{B_1 \tau}$$

(6.51)

$$U = C_2 + A_2 e^{B_2 \tau}$$

(6.52)

Pentru determinarea constantelor ce fac parte din expresia (6.51) și (6.52) le aducem la forma liniară pe calea logaritării:

$$\ln(T - C_1) = \ln A_1 + B_1 \tau$$

(6.53)

$$\ln(U - C_2) = \ln A_2 + B_2 \tau$$

(6.54)

Cercetăm expresia (6.53)

O mică problemă prezintă coeficientul  $C_1$  pentru găsirea coeficienților ce fac parte din ecuație. Valoarea lui se va găsi după metoda expusă în [141].

$$C_1 = \frac{T_1 T_2 - T_3^2}{T_1 + T_2 - 2T_3} \quad (6.55)$$

Valorile experimentale a temperaturilor  $T_1, T_2, T_3$  ce fac parte din ecuația (6.55) luate într-un anumit moment de timp  $\tau_1, \tau_2$  și  $\tau_3$ , unde:

$$\tau_3 = \frac{1}{2}(\tau_1 + \tau_2)$$

Deci, pentru valorile temperaturii  $T_1=100^\circ\text{C}$ ,  $T_2=130^\circ\text{C}$  și  $T_3=110^\circ\text{C}$ , valoarea  $C_1=90$ .

Luînd în considerație liniaritatea ecuației (6.53) valoarea  $\ln A_1$  și  $B_1$ , au fost găsite după metoda patratelor mici [9,30,153].

Înlocuindu-le în ecuația (6.53) vom primi valorile coeficienților; transformîndu-i puțin, primim ecuația pentru temperatură în felul următor:

$$\hat{T}(\tau) = 90 + 20e^{0,0425\tau} \quad (6.56)$$

Tabelul 6.1

N	1	2	3	4	5	6	7	8
$\tau$ , min	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
$T^\circ\text{C}$	100	103	105	107	110	113	115	118
$\hat{T}, ^\circ\text{C}$	110	110,4	110,8	111,3	111,7	112,2	112,7	113,2

Pentru a controla ecuația căpătată a datelor experimentale la compatibilitate, în tabelul 6.1 sunt prezentate valorile experimentale ale temperaturilor, care corespund unui anumit moment de timp al procesului și valorii temperaturii, pentru aceleași momente de timp, căpătate în urma calculării după modelul propus.



Reieșind din datele tabelului 6.1 s-a calculat criteriul lui Fisher, valoarea căruia este 2,49; după valoarea tabelară pentru cazul dat reeșind din [9] pe lângă alegerea nivelului valorii  $q=5\%$  este egal cu  $F_T=2,3$ .

După cum se observă, reieșind din valoarea criteriului lui Fisher ecuația căpătată este adecvată punctelor experimentale.

Analogic au fost calculați și coeficienții din ecuația (6.54).

Pentru calcularea constantei  $C_2$ , am luat umeditatea  $U_1=34\%$ ,  $U_2=15\%$ ,  $U_3=23\%$ .

Coeficienții primiți permit să scriem ecuația pentru umiditate în felul următor:

$$\hat{U} = -6 + 39,6e^{-0,036\tau} \quad (6.57)$$

Ca și în cazurile precedente, pentru controlul compatibilității valorilor experimentale schimbarea umidității în timp și valoarea umidității, sunt calculate după modelul matematic, prezentat în tabelul 6.2.

Tabelul 6.2

N	1	2	3	4	5	6	7	8
$\tau$ , min	0	3	6	9	12	15	18	21
U%	34	30	27	23	20	17	15	14
$\hat{U}$ , %	30,9	27,12	23,7	20,6	17,9	15,5	13,3	11,3

Controlul la compatibilitate a arătat că ecuația dată este compatibilă cu datele inițiale,  $F=6,1$ ;  $F_T=4,25$ .

$$F > F_T$$

În așa mod, se poate constata că modelul matematic primit pentru temperatură (6.32) și umiditate (6.33) va descrie procesul nostru de uscare, adică după ea poate fi determinată cu exactitate temperatura și umiditatea fructelor de măceș în momentul necesar de timp.

## 6. Construcția principiului de lucru a instalației de uscare propusă

Pe baza cercetărilor efectuate, a fost propusă instalația de uscare a măceșului ce funcționează pe baza metodei convective cu aplicarea UHF, așa după cum a fost stabilit că mai rațional este să uscăm măceșul la prima etapă convectiv pînă la umiditatea de 34%, a doua etapă pînă la umiditatea finală 14% convectiv + UHF.

Instalația conține două elemente. Primul element – uscătorul cu folosirea convecției; al doilea – uscătorul de tip turn convectiv + UHF. În fig. 7.1 este redată imaginea generală a instalației.

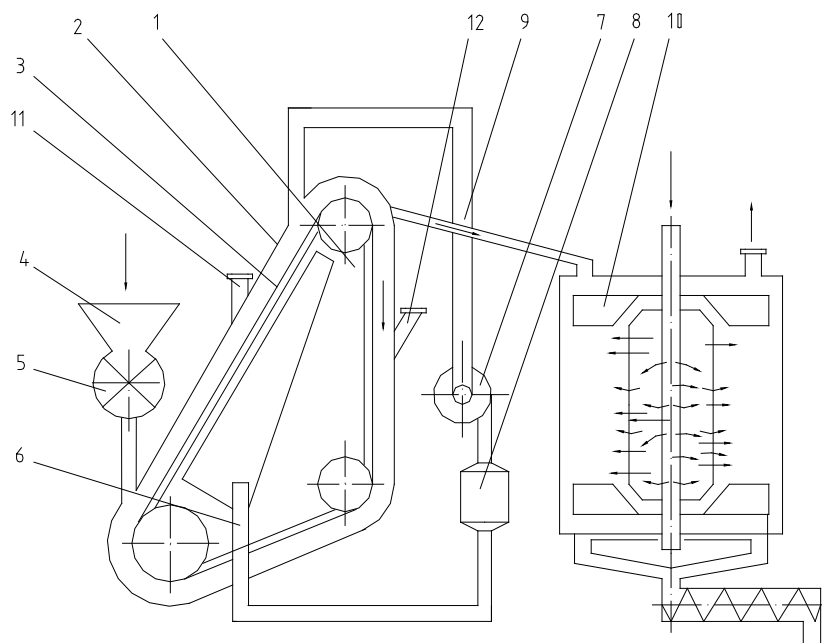


Fig. 7.1. Schema instalației de uscare a fructelor de măcieș cu folosirea convecției + UHF

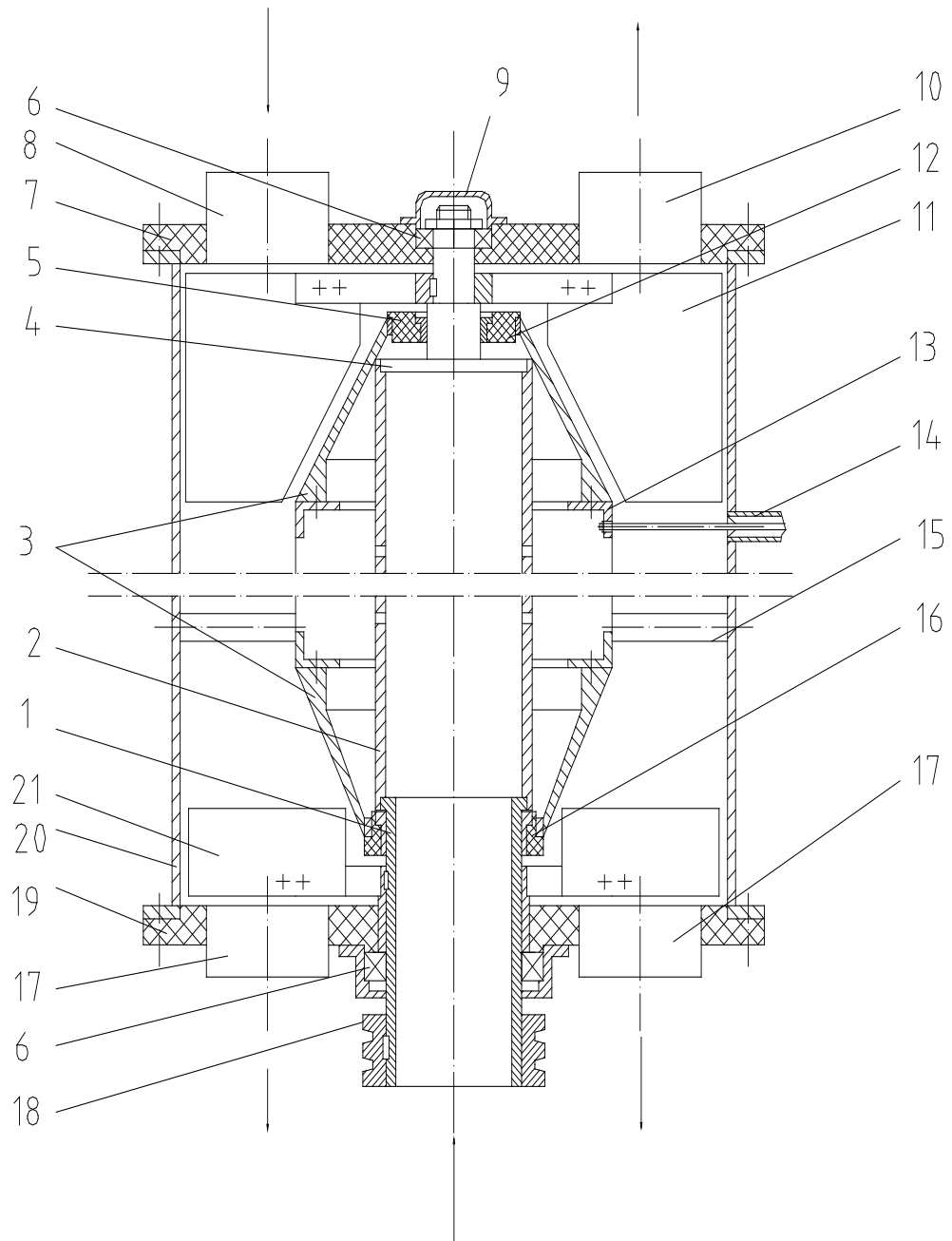


Fig. 7.2. Instalația de uscare a fructelor de măr la uscarea combinată convecției + UHF.

După cum se observă din fig. 7.1, uscătorul 1 cu folosirea convecției reprezintă un transportor cu bandă. În calitate de pânză transportatoare a transportorului se

folosește bandă din plasă perforată 2, transportatorul este instalat sub un unghi ce permite să transporte măceșul parțial uscat în zona încărcării uscătorului de tip turn. Pentru a face posibilă transportarea produsului pulverulent, de plasa transportorului la un pas strict determinat sunt instalate racletele 3. Înălțimea racletelor și lungimea ramurii de lucru a transportorului se determină pe cale experimentală. Dispozitivul de acționare se execută cu ajutorul unui motor-reductor și variator, permițându-i să schimbe viteza liniară de transportare a transportorului. În așa mod, se reglează timpul de aflare a măceșului în zona de lucru a uscătorului convectiv.

Materia primă, măceșul, se dă în buncărul 4, de unde prin intermediul dozatorului cu palete 5 nimerește pe ramura de lucru a transportorului. Sub ramura de lucru este instalată conducta de aer 6, prin intermediul căreia prin produs de la ventilatorul 7 se suflă aer fierbinte, încălzit de la caloriferle 8.

Trecând zona de lucru a transportorului, măceșul se usucă pînă la umiditatea de 34%. Pentru o folosire mai rațională a benzii uscătorului, ea este dotată cu contur recircular 9. Alimentarea cu un volum nou de aer și evacuarea celui prelucrat se efectuează prin clapetele 11 și 12.

La atingerea umidității necesare, produsul nimerește în elementul conic principal al instalației – uscătorul de tip turn convectiv + UHF. Vederea generală a instalației este prezentată în fig. 7.2.

Alimentarea instalației cu UHF se efectuează prin intermediul conductei coaxiale 14. Corpul 20 este unit la legătura cu pămîntul, iar UHF se dă la cilindrul perforat 13. Pentru a preveni fenomenul de scurtcircuit, cilindrul perforat 13 este izolat de arborele 2 prin intermediul bușelor 5 și 16, executate din fluorplast -4.

Prin intermediul instalației de alimentare 8 (fig. 7.1) produsul pulverulent nimerește în instalația de uscare 14. Arborele 13 se pune în mișcare prin intermediul transmisiei prin curele. Instalată pe arborele 4 prin intermediul unirii de tip pană, agitatorul 16 distribuie uniform produsul în vrac pe tot volumul condensatorului inelar. Produsul pulverulent pe baza forței gravitaționale se deplasează de sus în jos pe tot volumul condensatorului inelar. Deplasându-se în zona jocului inelar format de spațiul dintre corpul instalației și cilindrul perforat 17, produsul pulverulent sub acțiunea câmpului electromagnetic se încălzește intensiv. Prin arborele tubular 15 în instalație se administrează agentul de uscare (de tip gazos). Trecând prin cilindrul perforat 17, agentul de uscare nimerește în zona jocului inelar format de spațiul dintre corpul instalației și cilindrul perforat 17, de unde transportă vaporii de apă formați în urma procesului de încălzire. Agentul de uscare se evacuează din instalație prin intermediul racordului 18, instalat pe capacul superior 7. În procesul de deplasare, produsul pulverulent nimerește în zona îngustării condensatorului inelar, formată de spațiul dintre corp și trunchiul de con. În această zonă, produsul se răcește din contul încetării acțiunii câmpului electromagnetic asupra produsului. Rotindu-se, agitatorul 19 instalat pe

arborele tubular prin intermediul unirii de tip pană, transportă produsul uscat către instalația de descărcare 20. Descărcarea produsului se execută prin intermediul transportorului elicoidal.

Instalația propusă permite de a usca nu numai fructele de măceș, dar și alte produse pulverulente.

## CONCLUZII:

Cercetările, privind intensificarea procesului de uscare al produselor alimentare cu curenți de frecvență înaltă p $\varepsilon'$  rezintă atât interes practic cât și teoretic.

Au fost studiați parametrii electrofizici ai măceșului și cinetica procesului de uscare prin diferite metode: convectivă și convectivă în combinație cu curenți de frecvență înaltă. În baza cercetărilor efectuate se poate concluda:

1. Au fost obținute funcțiile experimentale ale permitivității dielectrice și tangenta unghiului de pierderi dielectrice (tg) pentru măceșul întreg și părțile lui componente în funcție de umiditate, temperatură și frecvența câmpului electromagnetic de 15–45 MHz. S-a constatat:

*1.1* Este rațional și economic utilizarea UHF de la umiditatea de 34%.

*1.2* Dependența de frecvența câmpului electromagnetic atât pentru fructele întregi cât și pentru părțile lui componente au un caracter complex. În intervalele de frecvență 26–30 MHz se înregistrează valoarea maximă a tg .

*1.3* Permitivitatea dielectrică relativă  $\varepsilon'$  pentru măceșul întreg și coajă, crește odată cu majorarea frecvenței câmpului electromagnetic. Pentru semințe  $\varepsilon'$  practic nu depinde de  $f$ .

*1.4* Odată cu majorarea temperaturii, dependența tg pentru fructele întregi și coajă, are un caracter de creștere a curbei.

*1.5* Dependența  $\varepsilon'$  de temperatură constă din două perioade: prima perioadă se află în intervalul temperaturii de 20–60°C, a doua perioadă – 60–100°C. În prima perioadă are loc creșterea dependenței  $\varepsilon'$  , în a doua – dependența  $\varepsilon'$  scade.

*1.6* Valoarea tg la schimbarea umidității de la 0 % la 34% se majorează după legea curbilor liniare – pentru fruct și coajă, iar pentru semințe – după legea curbilor neliniare.

*1.7* Permitivitatea dielectrică  $\varepsilon'$  pentru semințe în intervalul umidității de 0%–34% obține valori constante, pentru coajă și fruct întreg ea se mărește după legea liniară.

*1.8* Reieșind din caracteristicile electrofizice obținute, observăm că este mai economic de a usca măceșul întreg, decât coaja și semințele aparte. Studiul a permis alegerea în vederea introducerii procesului de uscare al generatorului UHF cu frecvența de lucru - 27 MHz.

*1.9* S-a efectuat calculul parametrilor electrofizici pentru sistemul complex, după cum este măceșul

2. Procesul de uscare prin metoda convectivă are loc în perioada de viteză constantă și de scădere. Uscarea prin metoda combinată decurge numai în perioada de micșorare a vitezei.

3. Viteza maximă de uscare la schimbarea tensiunii  $E=212 \cdot 10^2 \text{W/m}$  și temperatura  $T=100^\circ\text{C}$  pînă la tensiunea de  $E= 340 \cdot 10^9 \text{W/m}$  și  $T= 100^\circ\text{C}$ , crește de 4,4 ori.

4. Experimental, au fost studiate regimurile de uscare a măceșului la alimentarea cu energie combinată (convecția +UHF) pentru asigurarea calității înalte a produsului, precum și micșorarea perioadei procesului: tensiunea cîmpului electromagnetic  $E= 340 \cdot 10^2 \text{W/m}$ , temperatura agentului termic de  $T=100^\circ\text{C}$ .

5. Analiza indicatorilor calitativi a demonstrat că fructele uscate de măceș corespund GOST – 1994.

6. A fost dedus modelul matematic al procesului de uscare cu alimentarea energetică combinată: „convecție UHF”. Verificarea după criteriul Fisher a demonstrat că modelul matematic descrie adecvat procesul de uscare.

7. A fost elaborată construcția mașinii de uscare a fructelor de măceș.

## Bibliografia

1. Алексеев Н.П., Прохоров В.А., Чмутои К.В. Современные электронные приборы и схемы в физико-химическом исследовании. – М.: Химия, 1971. - 496 с.
2. Алешин Л.М., Ловчей Г.Н., Лунин Н.М. Лабораторные работы по технологии производства продукции общественного питания. - М.: Экономика 1987. – 247 с.
3. Алаханошвили И.Г., Заташвилл Д.П., Тарадзе Н.Т. Некоторые вопросы сушки плодов шиповника. Материалы юбилейной сессии посвященной 25-летию основания Грузинского ПИИ пищевой промышленности Тбилиси, 20 ноября 1986 г. – Тбилиси, 19К6. - с84-99.
4. Барминер М.А. Измерение влажности – М : Энергия 1973. - 400 с.
5. Батупер Л.М. Позин М.Е. Математические модели в химической технологии – Л.; Химии. Ленинградское отделение, 1971. – 823 с.
6. Богородицкий Н.П. и др. Теории диэлектриков – М-Л.; Энергия 1965. – 344 с.
7. Богородицкий Н.П., Фридберг И.Д. Электрофизические основы высоко частотной керамикию – Л.: Госэнсргоиздат 1957. – 193 с.
8. Бондаренко П.Н. Связи изменении состоянии влаги с электрическими свойствами жидких диэлектриков. Электротехника, 1973. N1. – с. 38-40.
9. Бондарь А.Г. Математическое моделирование в химической технологии – К.: Высшая школа, 1973. – 275 с.
10. Боровский В.Р. Быкова Т.П. Кремнев О.А. Щелиманов В.А. Исследование коэффициентов потенциалов проводимости при различных видах перемещения влаги в материале в кн. Теплофизические свойства веществ. – К.: 1996. – с. 44 – 51.
11. Бородуля В.А. Высокотемпературные процессы в электрокерамическом кипящем слое. – Минск: Наука и техника, 1973. – с. 176.
12. Бородуля В.А., Буевич Ю.А. К теории электропроводности псевдоожоженного слоя. ИФЖ, 1978, 35, N6, - с. 889 – 900.
13. Браун В. Диэлектртки: Перевод с английского. – М.: Иностранная литература, 1966. – с. 126.
14. Брицин Р.Л. Нагрев в электрическом поле высокой частоты. – М-Л.: Машиностроение, 1965. – с. 152.
15. Брицин Р.Л. Нагрев в электрическом поле высокой частоты Сб. Промышленности и применеи ТВЧ. – М-Л.: ГНТИМЛ, 1952. – с. 423-440.
16. Баучидзе С.И. Нагрев и ферментация табака токами высокой частоты: Сб. Новые физические методы обработки продуктов. – М., 1976. – с. 48.
17. Вершинин Ю.Н. Герман В.Г. Пробои твердых диэлектриков при импульсном воздействии напряжения. В кн. Электрофизические проблемы применения твердых и комбинированных диэлектриков в технике высоких напряжений. Новосибирск: Наука, 1974. – с. 5-22.
18. Воробьев А.А. Изоляционные свойства, прочность и разрушение диэлектриков. - Новосибирск: Сибирское отд. АНСССР, 1960 – с. 201.
19. Воробьев Г.А. Электрические пробои и нарушение твердых диэлектриков. – М: Высшая школа. 1966.- . 224.
20. Вул Б.М. Современное состояние физики диэлектриков – Электричество. 1949. N1. – с. 3-14.
21. Гамаюнов Н.И. Новый метод комплексного использования коэффициентов тепло- и массоереноса и критерия фазового превращения Сб.: Тепло и массоперенос – Минск: АНБССР, 1962, т. I. – с. 122-125.



22. Гинсбург А.С. Сушка пищевых продуктов. – М.: Пищепромгиздат, 1960 – с. 675.
23. Гинсбург А.С. Технология сушки пищевых продуктов, - М.: Пищевая промышленность, 1976. – с. 247.
24. Гинсбург А.С. Инфакрасная техника в пищевой промышленности М.: Пищевая промышленность, 1966. – с. 408.
25. Гинсбург А.С. Дубровский И.П. Определение коэффициентов диффузии влаги в зернистых металах – ИФЖ. 1963 N6, 10 – с. 3 – 6.
26. Гинсбург А. С. Невснкин С.Л. Миличев В.А. Бельчев С.Г. Обжарка раздробленных какао бобов в щелевом аппарате – ЭИ, Кондитерская промышленность, 1976, N2. – с. 3-6.
27. Гинсбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность. 1973. – с. 528.
28. Глуханов Н.П. Федорова И.Г. Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов в машиностроении, – Л.: Машиностроение, 1972. – с. 259.
29. Горгацев И.О. и др. Методика измерений больших диэлектрических потерь. Заводская лаборатория, 1977, N6, – с. 720 – 721.
30. Грачев Ю.П. Математические методы планирования экспериментов – М.: Пищевая промышленность, 1973. – с. 200.
31. Грохольский А.Л. Измерители добротности – кумметры – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение. 1966. – с. 259.
32. Грюнер В.С. Селезнева Г.Д. Захарова И.В. Полифенальные вещества бобо какао и их изменение в процессе термической обработки: Научно – техническая конференция, Сб.: Кондитерская промышленность, М., 1972. N1 – с. 11-16.
33. Данилевич А.Ф. Качество бобов какао и жиросодержащих ядер после термической обработки в псевдооживленном слое: Хлебопекарня и кондитерская промышленность, 1966, N12. – с. 20 –23.
34. Данилевич А.Ф. Термическая обработка бобов какао в псевдооживленном слое. Хлебопекарня и кондитерская промышленность, 1966, N6 – с. 15 –18.
35. де Гроот С.Р. Мазур П. Неравновесная термодинамика. –М.: 1964, – с. 456.
36. де Гроот С.Р. Термодинамтка необратимых процессов: М.:ИЛ, 1956. – с. 280.
37. Деккер А. Физика электротехнических материалов: Перевод с англ. М-Л: Госэнергоиздат 1962. – с. 255.
38. Демидович Б.П. Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа М.: Наука. 1967 – с. 368.
39. Дерягин В.В. Нернин С.В., Чураев Н.В. Испарение поды капиллярно-пористых тел: Сб. Физика, химия, биология, минерология почв. СССР. – АН СССР Наука, 1964. – с. 394.
40. Дитяковский Я.М., Куратов П.Р., Матвеев В.П. Механизированная сушка стержней токами высокой частоты Сб. Механизация и переминая технология в литейном производстве. – Л.: 1961. – с. 118 – 132.
41. Добрынина В.И., Свешникова Е.Л. Руководство к практическим занятиями по биологической химии. - М.: Медицина, 1967. – с. 343.
42. Долгоподов П.М. Электрофизические методы в технологии строительных материалов. М.: Госстройшдаг, 1971. – с. 240.
43. Дущенко В.П. Исследование зависимости диэлектрической проницаемости увлажненного кварцевого песка от влагосодержания: Тр. КТИППА, 1957. т. 17, – с. 171 – 172.

44. Дущенко В.П., Байджанов Х.В. Определение коэффициентов диффузии влаги и термоградиентного в некоторых коллоидных капиллярно- пористых материалах. ИФЖ, 1965, N2 – с. 201 – 206.
45. Дущенко В.П., Романовский И.Л. Исследование электро-физических свойств влажных капиллярно-пористых тел в связи с различием форм связи влаги: в кп. Лыкова А.Н. Тепло и массообмен в твердых в телах, жидкостях и газах. Институт тепла и массопереноса АНБССР, – Минск; 1970. – с. 126 – 135.
46. Жигилей В.С. Основы теории планирования испытаний. – Ленинград Военно-инженерный институт имени А.Ф. Мотайского, 1978.- с. 50.
47. Жмакин Н.П. Исследование процесса нагрева влажных материалов токами высокой частоты. – Докл. АНБССР, 1960 т. IV. N1. с. 20-23.
48. Жмакин Н.П. Тепло-и массообмен при высокочастотном нагреве влажных тел: Сб. Проблемы теплообмена при литье. Минск: 1960. – с. 172-188.
49. Журавлева Е.И. Справочник кондитера. М.: Пищевая промышленность, т.1. 1966 – с. 712.
50. Журавлева П.И. и др. Технология кондитерского производства – М.: Пищевая промышленность, 1968. – с. 400.
51. Журавлева В.П. Исследование диффузии влаги в капиллярно-пористых телах. Минск. Наука и техника, 1965. – с. 60-71.
52. Иманов Л.М., Аббасов Я.М. Определение диэлектрических при помощи куметра при больших потерях. ЖФК, 1965.39 N2. – с. 3014-3049.
53. Иоссель Ю.Я., Каяанов Э.С., Струбский М.Г. Расчет электрической емкости. Л.: Энергия, 1969. – с. 240.
54. Ихве Тхэсоп Лекарственные растения: М.: Медицина, 1987 – с.350.
55. Кавказов Ю.Л. Взаимодействия кожи с влагой: М-Л. Гизлегпром. 1952. – с.320.
56. Казанский М.Ф., Луцик П.П., Слейников В.Н. Влияние влаги на не стационарный тепло- и массоперенос в капиллярно-пористых телах: Сб. Тепло- и массоперенос. – 1963.т.IV. – с. 113-119.
57. Казарновский Д.М., Тареев В.М. Испытание электроизоляционных материалов. М.: Энергия, 1969 – с. 296.
58. Койков С.Н. Физика диэлектриков: Конспект лекций: Л.: Ленинградский политехнический институт, 1974 – с. 164.
59. Красников В.В., Данилов И.А. Кинетика сушки различных материалов и метод расчета длительности сушки. – ИФЖ, 1966. т. II. N4 с. 482-486.
60. Красников В.В. Закономерности кинетики сушки влажных материалов ИФЖ, 1970, т. 19. N1. – с. 34-41.
61. Красников В.В. Кондуктивная сушка. М.: Энергий , 1973 – с. 288.
62. Красников В.В. Термодинамические характеристики массопереноса некоторых зерновых культур Изв. ВУЗов, Пищевая технология, 1964 N3. – с. 127-131.
63. Кремнев О.А., Боровский В.Р., Мустяца В.Т., Шелиманов В.А., Минаевский Л.М. Исследование переноса массы в капиллярно-пористом и капиллярно-пористо-коллоидном материалах при наложении электрических полей высокой частоты. Сб. Тепло-и массоперенос, –К., Наукова думка, 1968, TV1. ч.2. – с. 200-210.
64. Кремнев О.А. и др. Исследование влияния высокочастотных электрических полей на перенос влаги и капиллярно-пористом материале. Электронная обработка материалов. 1966. N3 (9) – с. 60-64.

65. Кремнев О.А., Боровский В.Р., Мустяца В.Т., Минаевский Л.М., Щелиманов В.А. Электронная обработка материалов. 1968. N1 (9) – с. 38-41.
66. Кузембаев К., Старчеус П.А. Электрофизические характеристики проса. Изв. ВУЗов Пищевая технология. 1977. N6 – с. 105-107.
67. Лазурьевский Г.В. Практические работы по химии природных соединений. – М.: Высшая школа, 1966 – с. 335.
68. Ланцош К. Математические методы прикладного анализа. М.: Фздатгиз, 1961. – с. 524.
69. Лебедев П.Д., Виткявичус Р. –Л. Экспериментальное исследование тепло-и массопереноса высокотемпературной сушки. Докл. НТК.МЭИ. 1969. – с. 12.
70. Лебедев П.Д. Расчет и проектирование сушильных установок. – М-Л: ГЭИ, 1963. - с. 320.
71. Лебедев П.Д. Сушка инфракрасными лучами. –М-Л; ГЭИ, 1955. с. –232.
72. Лунин О.Г. Лекарственные расееия СССР и их применение. – Медицина, 19Х7. – с. 253.
73. Лупашко А.С., Малезик И.Ф., Ганя Г.П., Котелевич Н.И. Комплексные исследование электрофизических параметров шиповника. Электронная обработка материалов. 1992. N6. с.
74. Лупашко А.С., Малезик И.Ф., Ганя Г.П., Котелевич Н.И. Исследования электрофизических параметров шиповника. Тезисы доклада третьей Всесоюзной НТК, Разработка процессов получения конбинированных продуктов питания. – М., 1988. – с. 270.
75. Лупашко А.С., Малезик И.Ф., Ганя Г.П., Котелевич Н.И. Исследование электрофизических параметров шиповника доклада. Тезисы доклада 2-й Всесоюзной НТК. Проблемы индустриализации общественного питания страны. – Харьков, 1989. с. 582-583.
76. Лупашко А.С., Малезик И.Ф., Ганя Г.П., Котелевич Н.И. Влияние внешних факторов на электрофизические параметры шиповника. Тезисы доклада 6-й Всесоюзной НТК. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов и с/х сырья. – Москва, 1989. с. 31.
77. Лупашко А.С., Малезик И.Ф., Котелевич Н.И., Грозов Э.К. Сушка шиповника конбинированных способом с применением токов высокой частоты. Качественные показатели высушенных плодов. Тезисы доклада Всесоюзной НТК. Проблемы влияния тепловой обработки на пищевую ценность. – Харьков, 1990. с. 170–171.
78. Лупашко А.С., Малезик И.Ф., Рожко В.С., Котелевич Н.И. Способ сушки шиповниа. А.С. 1748776
79. Лупашко А.С., Малезик И.Ф., Рожко В.С., Котелевич Н.И. Сушка плодов шиповника с применением токов высокой частоты. Электронная обработка материалов. 1992 N2. с. 58-61.
80. Лыков А.В., Смольский Б.М. Теории- и массопереноса – М.Н.: Госэнергиздат. 1963. с. 30-70.
81. Лыков А.В., Ауэрман Л.Я. теории сушки капиллярно-пористых коллоидных материалов пищевой промышленности. М.: Пищепромиздат, 1946. с. 9-54.
82. Лыков А.В., Журавлева В.П. Коэффициенты диффузии влаги влажных материалов и процессе сушки. Сб. Тепло и массоперенос. К.: Наукова дума, 1968. т. IV, ч.1, С. 136-146.
83. Лыков А.В., Михаилом Ю.А. Теории переноса энергии и вощества. Минск: АНБССР, 1959. С. 330.

84. Лыков А.В., Михайлом Ю.А. Теория тепло- и массопереноса. М.: ГЭИ. 1963. 353.
85. Лыков А.В., Теории теплопроводности. – М.: высшая школа, 1967.-600с.
86. Лыков А.В. Теоретические основы строительной теплофизики Минск: АНБССР, 1961.– 519с.
87. Лыков А.В. Теории сушки. –М: Энергии, 1968.-472с.
88. Лыков А.В. Теплообмен (справочник) –М: Энергии, 1978.-480с.
89. Лыков А.В. Тепло-и массообмен в процессах сушки. -М-Л: ГЭИ, 1956.-464с.
90. Лыков А.В. Теплопроводность при нестационарных процессах. - М-Л: ГЭИ, 1948.-232с.
91. Лыков А.В. Явление переноса в капиллярно-пористых телах. –М: Гостехиздат, 1954.- 296с.
92. Любутин О.С., Стецовский А.П. Измерение диэлектрических характеристик материалов с большими потерями. Измерительная техника N2. с. 46-48.
93. Максимов Г.А. Основные закономерности переноса тепла и влаги при нагреве в электрическом поле высокой частоты. Сб. Труды научн. сессии, посв. достижениям и задачам современной биофизики в СССР, 1955, с. 173-179.
94. Максимой Г.Л. Сушка влажных материалов и поле высокой частоты. Всесоюзн. научно-технич. совещание по сушке. – М: Профиздат, 1958, г, 20-33.
95. Максимов Г.А. Сушка сигарет. Табак, 1958, N1, с. 40-41.
96. Максимов Г.А. Тепло- и массообмен при нагреве влажных материалов в электрическом поле высокой частоты. Сб. Биофизика. 1956, т.1 вып. 3, с. 201-205.
97. Малезик И.Ф., Лупашко А.С., Котелевич Н.И. Исследование электрофизических параметров шиповника; Тезисы докл. Республиканской НТК. Интенсификация технологии и совершенствование оборудования перерабаеывающих отраслей АПК. - Киев, 19Х9, с. 32-33.
98. Малезик И.Ф., Лупашко А.С., Котелевич Н.И. Экспериментальная установка для измерения электрофизических параметров. Тезисы доклада НТК посвященной 25-летию образования КПИ им. С. Лазо. – Кишинев, 1989, с. 94.
99. Малезик И.Ф., Лупашко А.С., Котелевич Н.И., Рэдуцан М.Л. Влияние температуры и влажности шиповника на его электрофизические характеристики. Тезисы доклада. НТК посвященной 25-летию КПИ им. С. Лазо. – Кишинев, 1989, с. 98.
100. Малезик И.Ф., Лупашко А.С., Котелевич Н.И. Расчет электрофизических параметров для сложных много компонентных систем. Тезисы доклада. НТК – Кишинев, 1990, с. 99-100.
101. Малезик И.Ф., Лупашко А.С., Котелевич Н.И. Сушка плодов шиповника конвективно-высокочастотным способом: Тезисы докл. 2-го минского международного форума по тепло- и масообмену. – Киев, 1992 г. с. 25.
102. Малыхин Ю.И. Измерение малых диэлектрических потери куметром типа Е9-4. ТТ. Сиб. НИИ метрологии, 1971 Вып 12, с. 87-92.
103. Марх А.Т., Креевова Р.В. Химико-технический контроль консервного рпроизводства. – М.: Пищпромиздат, 1962, 435 с.
104. Майнке Х., Гундлах Ф. Радиотехнический справочник: М-Л.; Госэнергоиздат, т. 1, 1960, 416 с.
105. Минаконский М.М. Электрофизические характеристики шыжиых картопом и бумаг. Электронная обработка материалов, 1974, N2 - 62-67 с.
106. Мустяца В.Т., Бороиский В.Р., Шелиманов Н.А., Вырлан Е.В. Конвективно-высокочастотная сушка при импульсном нагреве влажных материалов. Тр. КПИ им. С. Лазо, Кишинев, 1970, вып 19, с. 21-27.

107. Мустяца В.Т., Вырлан Е.В. Исследование периодического диэлектрического нагрева влажных материалов. Электронная обработка материалов, 1975 N5 (65), с. 60-63.
108. Мустяца В.Т., Ганя Г.П., Лупашко А.С., Исследование процесса сушки какао крупки. Электронная обработка материалов, 1980, N с. 70-74.
109. Мустяца В.Т., Ганя Г.П., Лупашко А.С. Исследование электрофизических свойств какао крупки. Электронная обработка материалов, 1979 N2. с. 78-К1.
110. Мустяца В.Т., Ганя Г.П., Лупашко А.С. Частотные характеристики электрофизических свойств какао крупки. Электронная обработка материалов. 1977 N5 с. 83-85.
111. Мустяца В.Т., Ганя Г.П., Лупашко А.С., Ялковский В.С. Авторское свидетельство СССР N 684268, 26н, 3/34, 9/06, 1978.
112. Ненюков С.С., Щербаков А.П. Сравнительная оценка влияния потерь при изменениях диэлектрической проницаемости резонансными методами. Метрология. 1976, N5, с. 61-57.
113. Нерпин С.В., Чураем И.В. Кинетика испарения влаги из капиллярно-пористых тел. ИФЖ, 1965, N8, 1, с. 22-26.
114. Нетушил А.В. Высокочастотная сушка древесины. Сб Применение ТВЧ в станкостроительной промышленности. –М: ЦБТИ, 1951. – с. 200-213.
115. Нетушил А.В. и др. Высокочастотный нагрев диэлектриков и полупроводников. М-Л.: ГЭИ, 1959-480 с.
116. Нетушил А.В., Лисенком А.А. Измерение температуры диэлектриков и полупроводников в полях высокой частоты. Электричество 1953. N2 с. 42.
117. Нетушил А.В. Нагрев неоднородных диэлектриком в высокочастотном электрическом поле Сб. Промышленное применение ТИЧ, ГНТИМСЛ, М-Л.: 1954 с. 187-216.
118. Никитина Л.М. Термодинамические параметры и коэффициенты массопереноса во влажных материалах. –М: Энергия, 1968-500 с. 9.
119. Некруман С.В. Аппараты Сви в общественном питании –М: Экономика, 1973.-118с.
120. Нилов В.И., Скурихип И.М. Химия виноделия –М: Пищевая промышленность 6 1967.-442с.
121. Новиков Г.И., Фаренбурх Э.Г. Автоматизация учетно-статистических задач ЭВМ Минск-227-М.: Статистика, 1971-180с.
122. Обухов В.И. Некоторые закономерности завершающей стадии пробоя твердых диэлектриков. Изв. МВО СССР, Энергетика, 1969. т.7, с.45-50.
123. Панченко М.С., Дущенко В.П. и др. О влиянии электрического и магнитного поля на коэффициенты внутреннего массопереноса при сорбции влаги типичными капиллярно-пористыми телами в разных температурных условиях: Сб. Тепло-и массоперенос. Минск, ИТМО АН БССР 1972, т. VI, с. 118-123.
124. Пахомов П.Л., Некруман С.В., Велихов А.Н. Зависимость диэлектрических свойств пищевых продуктов от влажности. Электронная обработка материалов, 1975, I, с. 70-73.
125. Першанов К.Л. Конвективно-высокочастотная сушка древесины М: Гослесбуиздат, 1963, 82 с.
126. Петров К.П. Практикум по биохимии пищевого растительного сырья –М.: Пищевая промышленность, 1965.-330с.

127. Поненко В.П., Марченко В.И. Зависимость диэлектрической проницаемости крахмала от частоты электромагнитного поля, влажности и температуры. Изв. ВУЗ-ов, Пищевая промышленность, 1974, N36 с. 136-138.
128. Пригожий П.В. Введение в термодинамику необратимых процессов М: ИЛ, 1960.-127с.
129. Птушкин А.Т., Исследования электрических способов термообработки какао бобов: Сб. Обработка пищевых продуктов излучениями: – ГОСНИТИ, 1958, с. 10-15.
130. Птушкин А.Т. Исследование электрофизических свойств бобов какао арахиса и миндаля. Тр. МТИППА, 1957 N10, с. 65-78.
131. Птушкин А.Т. Сушка пищевых продуктов в поле токов высокой частоты. В кн.: Сушка в пищевой промышленности,-Профиздат, 1959, с. 144-163.
132. Родионова О.П. Федорова П.Г. Использование высокочастотного нагрева в процессе сушки порошковых материалов: Сб. Применение ТВЧ в электродермии –Л.: Машиностроение, 1973, с. 137-140.
133. Рогов А.И., Некрутман С.В., Лысов П.В. Техника сверхвысокочастотного нагрева пищевых продуктов. М: Легкая и пищевая промышленность, 1981,200с.
134. Рогов А.И., Горбатов А.В. Новые физические методы обработки мясопродуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1966,-302с.
135. Рогов А.И., Горбатов А.В. Физические методы обработки пищевых продуктов. – М: Пищевая промышленность, 1974.-583с.
136. Романовский С.Г., Волосян Л.Я. Массо- и теплоперенос при тепловлажностной обработке железобетона в электромагнитном поле. С.Б. Тепло- и массоперенос. К. Наукова Думка, 1968, т. VI, ч.1 с. 329-343.
137. Саяхов Ф.Л., Фикимов В.С. Обработка водонепфтанных эмульсий ВЧ и СВЧ электрическими полями. Электронная обработка материалов. 19/8, N5 с. 62-64.
138. Серебрякова М.Н. Тепловая обработка бобов какао. Хлебопекарная и кондитерская промышленность, 1938. N5, 40-42.
139. Сиротин А.М., Старчеус П.А. Диэлектрическая непроницаемость и тангенс угла потерь семян кориандра. Изв. ВУЗ-ов Пищевая технология, 1976, N2 с. 111-113.
140. Г.И. Диэлектрическая поляризация и потери в стеклах и керамических материалах с высокой диэлектрической проницаемостью. М-Л: Госэнергоиздат, 1952, 174с.
141. Сканава Г.А. Физика диэлектриком (область слабых полей ) Госьяки технико-теоритической литературы: М-Л.: 1949,-497с.
142. Сканава Г.А. Физика диэлектриком (область слабых полей ). М-Л ГИТ ТЛ, 1958,-907 с.
143. Сперанский Г.А., Шелнна Г.Л. Применение высокочастотного электронагрева для склеивания оболочковых полуформ: Сб. Промышленное применение ТВЧ, Рига, 1957 с. 338-346.
144. Справочник химика. М. т. I, 1962, 117 с.
145. Старчеус П.А., Попов В.И. Исследование возможности интенсификации процесса сушки солода конвективно-высокочастотным способом. В кн. Тезисы докладов Всесоюзной межвузовской конференции по новым физическим методам обработки пищевых продуктов. Воронеж, 1968, с. 32-33.
146. Старчеус П.А., Попов В.И. Определение форм связи влаги в солоде по методу измерения коэффициента потерь: В кн. Пивоваренная и безалкогольная промышленность: -М.: 1969, вып. 12, с. 16-19.

147. Старчеус П.А., Попов В.И. Экспериментальная лаборатория для конвективно-высокочастотной сушки: В кн. Пивоваренная и безалкогольная промышленность. М.: Пищепром, 1969, N12, с. 3-7.
148. Стецовский А.П. и др. Автоматическая установка для измерения температурных зависимости диэлектрических характеристик вещества. Измерительная техника.
149. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов: М. Энергоиздат, 1982, 328с.
150. Темкин А.Г. Расчет коэффициентов внутреннего тепло- и переноса по кривым сушки. Сб. Исследования нестационарного тепло- и массопереноса: Минск, Наука и техника, 1966 с. 190-214.
151. Уэрт И., Томсон Р. Физика твердого тела. Перевод с английского: М.: Мир, 1969, 588с.
152. Филоненко Г.К., Дебедед П.Д. Сушильные установки: М.: ГЭИ, 1952, с. 264.
153. Франц В. Пробой диэлектриков: М.: Иностранная литература, 1961, 207 с.
154. Хартман К., Лецкий Э., Шефер В. Планирование эксперимента. М.: Мир, 1977 г. – 551 с. 168.
155. Чернявский А.М., Мозяк З.Ю., Кудак Н.М. Установка для обжарки бобов какао и кипящем слое. Хлебопекарная промышленность, 1968, N3, с. 21-24.
156. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. М.: Мир, 1972, с. 224.
157. Шистер А.Б. Электрические свойства некоторых материалов в полях высокой частоты. Электричество, 1950, N5. с. 19-23.
158. Шубин Г.С. О механизме переноса вещества внутри материала и процессах конвективной сушки: труды МТИПП-М-Л.: ГЭИ, 1967 вын 8с. 124-125.
159. Baracat H.Z., Clork I.A. Analytical and experimental study of the transient laminar natural convection ( lows in partially filled liquid containers. Proc. 3 rd Intern. Heat Transfer Conf. Chicago, 1966 Vol. 2.P 152-162. )
160. Cebei T., Bradshaw P. Physical and computational aspects of convective heat transfer. N. I. ets.: Springer, 1984 .
161. Dielectric Meterials and . Applications,ed. by Hippel A. R. , New York, 1954.
162. Smyth C. P. Dielectric Behavior and Structure. New York, 1955.
163. The physical basis of electromagnetic interactions with biological Systems , Сб. статей Ричмонд, Вержиния, 1982