

MIRCEA BERNIC

**CONTRIBUȚII ÎN STUDIUL CINETICII
PROCESULUI DE USCARE
A ARDEIULUI IUTE**

2005

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

CZU 664.8.047:635.649

B49

În monografie este prezentată informația referitoare la studiul teoretic și practic al utilizării câmpurilor electromagnetice în calitate de sursă eficientă de energie în procesul de deshidratare a legumelor, în special al ardeiului iute. 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: N. Țislinscaia, doctor în tehnică, conferențiar universitar.

Este recomandată pentru publicație de către Senatul Universității Tehnice a Moldovei, proces verbal nr. 3 din 25.10.2005

Descrierea CIP a Camerei Naționale a Cărții

Bernic Mircea

Contribuții în studiul procesului de uscare a ardeiului iute / Mircea Bernic. – Ch. : UTM, 2005 – 159 p.

Bibliogr. P. 144-159 (160 tit.)

ISBN 9975-9853-1-9

200 ex.

664.8.047:635.649

ISBN 9975-9853-1-9

© M.BERNIC.

CUPRINS

	INTRODUCERE	5
1.	TEHNICA ȘI TEHNOLOGIA MODERNĂ DE USCARE A ARDEIULUI IUTE	9
1.1.	Principiile fundamentale actuale ale teoriei de transfer de căldură și masă în procesul de uscare.	9
1.2.	Tehnica și tehnologia modernă de uscare a ardeiului iute.	15
1.2.1.	Ardeiul iute ca obiect de cercetare în domeniul uscării.	15
1.2.2.	Tehnici și tehnologii de uscare a ardeiului iute.	21
1.3.	Direcțiile principale de perfecționare a tehnicii și tehnologiei procesului de uscare a ardeiului iute.	26
2.	STUDIUL PARAMETRILOR ELECTROFIZICI AI ARDEIULUI IUTE.	32
2.1.	Metodica de măsurare a parametrilor electrofizici ai ardeiului iute.	32
2.2.	Influenta frecvenței câmpului electromagnetic asupra parametrilor electrofizici a ardeiului iute.	39
2.3.	Influenta umidității ardeiului iute asupra parametrilor electrofizici.	46
2.4.	Influenta temperaturii ardeiului iute asupra parametrilor electrofizici	54

3.	STUDIUL CINETICII PROCESULUI DE USCARE AL ARDEIULUI IUTE.	62
3.1.	Descrierea instalației experimentale	62
3.1.1.	Pregătirea ardeiului iute pentru experiențe și metodica îndeplinirii experiențelor	71
3.2.	Uscarea prin convecție a ardeiului iute	74
3.3.	Uscarea combinată a ardeiului iute – prin convecție și cu curenți de frecvență înaltă	79
3.4.	Compararea metodelor de uscarea a ardeiului iute.	91
3.5.	Influența diferitor procedee de uscarea la calitatea ardeiului iute.	94
3.5.1.	Dependenta matematică a indicilor calitativi în funcție de temperatură agentului termic și intensitatea câmpului electromagnetic.	102
4.	DESCRIEREA MATEMATICĂ A METODEI DE USCARE A ARDEIULUI IUTE PRIN CONVECȚIE ȘI ÎN CÂMP U.H.F.	106
4.1.	Descrierea modelului matematic al procedeului de uscarea a ardeiului iute	106
4.2.	Verificarea modelului matematic coincidenței rezultatelor experimentale	130
5.	REALIZAREA TEHNICĂ A PROCESULUI DE USCARE A ARDEIULUI IUTE CU UTILIZAREA UHF	135
5.1.	Construcția instalației de uscarea propuse.	135
5.2.	Principiul de funcționare a instalației de uscarea propuse.	141
	CONCLUZII	142
	BIBLIOGRAFIE	145

INTRODUCERE

Dezvoltarea stabilă a industriei Republicii Moldova în mare măsură este determinată de nivelul de dezvoltare a sectorului agroindustrial.

Luând în considerație perioada sezonieră, eficiența funcționării sectorului agroindustrial depinde de durata accesibilă de prelucrare a materiei prime și a semifabricatelor. Una din posibilitățile de mărire a duratei accesibile de prelucrare și de păstrare a produselor agroalimentare este uscarea lor.

Actualmente, interes deosebit prezintă problemele utilizării produselor de destinație dublă: atât alimentară, cât și medico-biologică cum este și ardeiul iute. În multe cazuri prelucrarea tehnologică a acestor produse de asemenea necesită și uscarea lor. De aceea, pentru astfel de produse, este necesară o așa tratare termică, în urma căreia va fi posibilă nu numai obținerea scopurilor tehnologice necesare, dar și a unor efecte utile, capabile să influențeze pozitiv corpul uman.

Ca parte componentă a multor procese tehnologice, procesul de uscare, la rândul său, înaintează un șir de probleme, printre care pot fi numite următoarele:

1. Păstrarea și îmbunătățirea indicilor calitativi ai produsului;
2. Păstrarea componentelor nutritive a produsului;
3. Obținerea producerii pure din punct de vedere ecologic;
4. Crearea metodelor pure de prelucrare a produsului.

Soluționarea acestor probleme și a celor legate de realizarea și intensificarea procesului de uscare poate fi posibilă luând în considerare următoarele:

1. Studiarea și aprofundarea ideilor privind esența fizică a transferului de căldură și de masă în diferite procese de uscare;
2. Studiarea în continuare a indicilor calității materialului ca obiect al procesului de uscare;
3. Aplicarea celor mai moderne metode fizice și chimice de cercetare, fundamentarea mecanismelor de transfer a umidității în interiorul materialului în procesul de uscare;
4. Crearea metodei de uscare argumentată din punct de vedere științific și economic;
5. Asigurarea concordanței regimului optim din punct de vedere al tipului și construcției aparatului de uscare cu cerințele tehnologice de producere și calitatea produsului final.

În majoritatea cazurilor intensificarea procesului de uscare este determinată de viteza de migrație a umidității din straturile centrale spre cele exterioare. Acest proces este determinat de structura materialului, formele de legătură a umidității cu materialul, etc.

De aceea, pentru elaborarea procedeeleor noi de uscare s-a recurs la studiul proceselor de intensificare a deplasării umidității în interiorul materialului. Ca metode pot servi folosirea câmpurilor electromagnetice în procesul de uscare.

Actualmente au fost efectuate multe cercetări și s-a acumulat material experimental în domeniul folosirii metodelor electrofizice ca surse de energie cum sunt bunăoară razele infraroșii, conductibilitatea electrică, câmpul electromagnetic de înaltă frecvență (UHF), microundele (SHF), energia lămpilor cu descărcare în gaze etc.

La dezvoltarea și fundamentarea științifică a acestor metode au contribuit școlile conduse de A. V. Lâkov, A. V. Netușil, I. A. Rogov, G. A. Maximov, P. A. Lebedev, precum și cercetările efectuate de R. P. Jmakin, A. T. Ptuşkin, V. T. Musteață și a. Rezultatele acestor cercetări au dovedit că, în particular, pentru ardei, la care se cere și o prelucrare sterilă ca produs medico-biologic, încălzirea prin curenți de înaltă frecvență la uscare este una din metodele cele mai progresiste.

Acest procedeu de încălzire a produselor are următoarele avantaje:

1. O viteză înaltă de deshidratare datorită coincidenței sensului gradientului de temperatură și a celui de umiditate care înlesnește migrația umidității din interiorul produsului la suprafață. Însă la uscarea prin convecție acești gradienti acționează în contracurent.
2. Încălzire uniformă a materialului pe întregul volum ce duce la intensificarea procesului de uscare.
3. Inerție redusă a instalațiilor ce folosesc ca sursă curenți de frecvență înaltă.
4. Posibilitatea de a obține produse ecologice pure datorită efectului de sterilizare.
5. Îmbunătățirea considerabilă a condițiilor igienico-sanitare în procesul de producere.
6. Temperaturi ridicate în produs ce se ating fără preîncălzire prealabilă.

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

7. Selectivitatea parametrilor curenților de înaltă frecvență are o acțiune specifică asupra produselor, cu doze de intensitate și durate de aplicare dorite.
8. Includerea simplă a tratamentului cu curenți de înaltă frecvență într-un lanț tehnologic datorită faptului că acest tratament este de scurtă durată și ușor dirijabil.

1. TEHNICA ȘI TEHNOLOGIA MODERNĂ DE USCARE A ARDEIULUI IUTE

1.1. Principiile fundamentale actuale ale teoriei de transfer de căldură și masă în procesul de uscare.

La baza teoriei procesului de uscare a materialelor se află legitățile transferului de căldură și de masă care sunt însoțite de transformări de fază în condiții de interacțiune a materialului cu gaze calde, ca agenți de uscare, cu suprafețe fierbinți și influențate de câmpuri exterioare, ca de exemplu electromagnetice și de altă natură.

Pe parcursul uscării materialelor au loc fenomene complexe de transfer de căldură și de masă atât în straturile interne ale materialului, cât și în cele din mediul care îl scaldă.

Actuala teorie a transferului de căldură și de masă în materialele umede într-o mare măsură utilizează metodele termodinamicii proceselor ireversibile, care a fost creată pe baza lucrărilor fizicienilor irlandezi și belgieni (L. Onzager, De Groot ș.a.). În continuare și-a găsit o amplă răspândire și o dezvoltare de mai departe în statele CSI.

Bazându-se pe termodinamica proceselor ireversibile academicianul A. V. Lâkov [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 de masă intern folosită la uscarea materialelor umede sub următoarea formă:

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

în care a_m este difuzia masică, în m^2/s ;

δ - coeficientul gradientului de temperatură, în K^{-1}

$\Delta U, \Delta t$ - gradientele umidității, în kgm^{-1} și respectiv a temperaturii, în Km^{-1} ;

ρ - densitatea materialului complet uscat, în kg/m^3 .

Din (1.1) observăm, 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 agent termic gazos.

Cercetările savanților A. V. Netușil, A. V. Ptușkin, P. D. Lebedev, I. A. Rogov, N. P. Jmakin, G. A. Maximov, N. L. Peranov, V. T. Musteața ș.a., în lucrările sale au arătat, că utilizarea energiei câmpurilor electromagnetice, cum ar fi energia câmpurilor de frecvență înaltă (UHF) la încălzirea materialelor umede oferă o pondere importantă gradientul presiunii interne din capilarele produsului.

Conform cercetărilor G. A. Maximov [86] și N. P. Jmakin [50], o evaporare intensă a umidității din produs poate fi provocată de un aport de căldură cu viteze înalte, cum este încălzirea materialelor umede în câmp UHF. În acest caz evaporarea are loc în tot volumul corpului, însă, după cum consideră autorii [50, 9, 50, 86, 123] ea se desfășoară într-un mod mai pronunțat în centrul materialului decât la suprafață, cauza fiind temperatura sporită în straturile interioare ale materialului. Ca rezultat al acestui fenomen, apare gradientul presiunii totale interne, care după părerea lui G. A. Maximov [86], este forța motrice de bază a procesului de transfer al vaporilor în interiorul corpului, care poate fi exprimată prin următoarea expresie:

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

Conform propunerii A. V. Lâkov, transferul de umiditate n câmp electromagnetic alternativ este cauzat de acțiunea difuziei electrice ($a_m^e \rho \tilde{E}$). Astfel, pentru cazul general, legea transferului intern de masă referitor la uscarea materialelor umede se va scrie [79]:

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

Expresia (1.3) a fost verificată în mod experimental la uscarea silicagelului [96]. Rezultatele obținute confirmă identitatea expresiei.

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 gradient pozitiv la uscarea materialelor umede prin convecție, conducție și prin radiație, este gradientul umidității. La încălzirea intensivă a materialelor umede sub acțiunea câmpului electromagnetic de frecvență înaltă gradientii ΔU , Δt și ΔP favorizează transferul umidității în straturile superficiale, distingându-se prin aceasta de alte metode de încălzire.

Conform [79] deplasarea atât a fluxului de căldură cât și a fluxului de masă sunt cauzate de unele și aceleași forțe motrice. Transferul de masă este determinat în principal de capacitățile mecanice și structurale ale materialului, de parametri fizici, de formele de legătură dintre umiditate și scheletul corpului, cât și de condițiile de corelație a materialului cu mediul ambiant. În materialele umede transferul de umiditate, cum se consideră în [82], se poate manifesta sub formă de lichid sau de vapori.

De menționat, că absorbția și deplasarea umidității în materiale în mare măsură depinde de prezența capilarelor de

diferite forme și dimensiuni. Astfel, cum indică Iu. L. Kavkazov în lucrarea sa [57], în cazul sorbției umidității din atmosferă la presiune normală se completează cu umiditate numai microcapilarele de rază $r < 10^{-4}$ mm, cele de rază $r > 10^{-4}$ mm umplându-se doar la contactarea nemijlocită a mediului dispers cu lichidul și pot elimina complect umiditatea în atmosfera saturată cu vapori de apă [146].

La apariția gradientului de temperatură în corpurile umede se observă o circulație a lichidului în același sens ca și fluxul de căldură [158]. O pondere considerabilă în domeniul cercetării mecanismului transferului pelicular al lichidului în sistemele capilare au contribuit savanții V. V. Direaghin, N. V. Ciuraev. S. V. Neprin s.a. [39, 111]. Conform afirmațiilor Dlui B. V. Direaghin, potențialul transferului pelicular reprezintă gradientul presiunii de împănare. În procesul de uscare eliminarea umidității din materiale este influențată în mod deosebit de circulația aerului umed în macropori, apărând concomitent cu gradientul de temperatură. În acest caz are loc separarea termică și prin difuzie a vaporilor de apă ($\mu = 18$ kg/kmol gazul ușor și $\mu = 29$ 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. Lâkov [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 prin convecție a căldurii antrenate de fluxul vaporilor și a lichidului din material. Ansamblul ecuațiilor diferențiale care descriu procesele elementare menționate sunt:

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

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

în care c este capacitatea specifică de căldură a materialului, în $J/(kg\cdot K)$;

r - căldura latentă de vaporizare, în J/kg ;

ε - criteriul transformării de fază.

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

$$c\rho \frac{dt}{d\tau} = -\text{div}j_q + \varepsilon r \rho \frac{dU}{d\tau} + P_V \quad (1.6)$$

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

în care P_V este puterea sursei de căldură a câmpului electromagnetic de înaltă frecvență raportată la volumul materialului supus uscării, în W/m^3 .

P_V se determină prin relația [28, 113]:

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

Coeficienții transferului de căldură și de masă indicați în (1.6) și (1.7) sunt variabili, depinzând de factori atât interni, cât și externi ai sistemului. Grație simplificării, aceste ecuații sunt deduse admițând coeficienții transferului constanți. Pentru

fiecare material sau grup de materiale ei se determină experimental. Determinărilor acestor coeficienți sunt dedicate lucrările cercetătorilor L. M. Nikitin, M. F. Kazanskii, V. P. Dușenco, V. P. Juravleva, G. A. Maximov [49, 51, 58, 86, 114] etc.

Sistemul ecuațiilor diferențiale (1.6) și (1.7) nu conține termenul prezentat din expresia (1.2). Acest termen poate fi luat într-o oarecare măsură în considerație 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 necesită 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 a schimbului de masă și de căldură.

1.2. Tehnica și tehnologia modernă de uscare a ardeiului iute.

1.2.1. Ardeiul iute ca obiect de cercetare în domeniul uscării.

Ardeiul face parte din familia Solanaceelor ca și roșiile, dar din alt gen botanic (*Capsicum*) [152].

Pentru utilizarea lui în sens biologic există un șir de specii de ardei. Printre ele se întâlnesc anuale și vivace, erbacee și arborescente, sălbatice și de cultură etc.

Biologii - sistematici împart diversitatea de ardei în șase diviziuni: *Capsicum annum* L., *Capsicum frutescens* L., *Capsicum pendulum* Willd., *Capsicum pubescens* Ruis., *Capsicum beccatum* L. și *Capsicum drinense* Jaeg.

Evaluarea indicilor calitativi ai speciilor de ardei se efectuează prin diferite metode. Cea frecvent utilizată este metoda organoleptică (gustul, forma, culoarea, etc.).

După calitățile gustative sunt cunoscute specii de ardei gras, semidulce și iute. Ca formă, ardeiul poate fi foarte variat, uneori chiar bizar, dar în majoritatea cazurilor se întâlnește în formă de trunchi de piramidă, piramidă, sferă etc. În dependență de gradul de coacere și specie se întâlnește ardei roșu închis, roșu, roșu - portocaliu, galben și verde brun [33].

Unii autori afirmă [69] că la ardeiul iute varietatea de culori este mai mare ca la ce dulce și spectrul lor se află mai aproape de regiunea undelor lungi.

Conform datelor [10, 25, 133] fructul ardeiului constă din membrană (pericarp), placentă și semințe.

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

Membrana reprezintă o peliculă și pulpa de 1-8 mm grosime care protejează semințele și întreține condițiile de barocameră necesare pentru vitalitatea acestora. Semințele ardeiului sunt plate, uneori încovoiate, de un galben pal. Masa unei mii de semințe cântărește în dependență de specie 3-9 grame.

Raportul diferitelor părți ale fructului nu este constant. La ardeiul gras masa pericarpului în comparație cu a fructului întreg constituie 62 - 89%, a placentei 5 - 9% și a semințelor 9 - 33%. Pulpa din ardeiul iute reprezintă 74 - 98% din masa totală [133].

Ca obiect tehnologic, ardeiul se utilizează mai frecvent în scopuri tehnologice și în alimentație. În funcție de necesitate și valoare, poate fi folosit atât fructul întreg, cât și componentele sale aparte.

Ardeiul gras este folosit în stare crudă în salate, în bucătăria casnică pentru prepararea diferitor feluri de bucate și mai frecvent în industria de conservare pentru producerea conservelor din legume, cum sunt lecio, ardei umplut, diferite sosuri, marinade, etc. Din fructele biologic maturizate se pregătesc sucuri de ardei, paste de ardei, praf de ardei care conține o mare cantitate de vitamina C.

Pentru ardeiul gras este caracteristic pericarpul moale, fragil și gustos cu un conținut redus de zahăr.

Fructul ardeiului semidulce se marinează și se murează separat sau se folosește ca ingredient la muratul castraveților și a roșiilor.

Ardeiul iute mărunțit se folosește ca mirodenie pentru conserve și murături, iar ardeiul iute întreg sau măcinat (paprica) - ca ingredient pentru bucate. Pe lângă aceasta, cu

succes se folosește și în industria lichiorurilor și a votkăi ca unul din componentele de bază picante și astringente.

În ultimul timp extractul ardeiului iute este folosit și în agricultură la lucrările de selecție și genetică. Sa stabilit că ardeiul este un insecticid contactual pentru afide patogene și omizi [69].

Pentru ardeiul iute este caracteristic pericarpul subțire și dens cu o umiditate redusă și un conținut considerabil de polizaharide. Aceasta înlesnește intensificarea procesului de uscare și creează condiții favorabile pentru măcinarea ardeiului.

Cerințele caracteristice speciilor ardeiului gras sunt recolta, dimensiunile, forma și culoarea fructului, grosimea pericarpului, conținutul vitaminei C și a carotinoizilor, calitățile gustative și aromatice.

Pentru speciile ardeiului iute rămân de valoare aceeași indici plus gustul picant stabilit prin conținutul de capsaicină.

În [2] este menționat, că avantajul tuturor speciilor de ardei - marfă este culoarea lui. Cu cât culoarea este mai aprinsă, cu atât specia dată este mai valoroasă.

Coloranții de bază sunt carotinoizii. În funcție de specie și de condițiile de creștere conținutul de caroten variază în limitele de 0,20-4,8 mg la 100 g masă crudă pentru fructele verzi și 0,5-14,7 mg la 100 g pentru cele coapte.

Valoarea unei sau altei specii este determinată de varietatea sortimentului de produse pregătite din el. Care este destul de variat.

Pe lângă domeniile de utilizare menționate, ardeiul iute servește drept materie primă pentru preparate medicinale.

Direcția medicală ardeiul iute a căpătat-o datorită calității lui de "iuțeală". Anume această calitate a atras atenția farmacologilor și medicilor.

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

Avantajele medicamentoase ale ardeiului sunt explicate prin conținutul mare a diferitelor vitamine. De aceea este justificată confirmarea că ardeiul este un produs polivitaminic. După cantitatea de acid ascorbic ardeiul întrece toate culturile fructifere și legumicole, excepție face coacăza neagră și măceșul.

În dependență de specie, condițiile de creștere și gradul de coacere, conform [25] în ardei se poate conține până la 100-300 mg de vitamina C (la 100 g masă crudă), iar la unele soiuri 400 mg și peste. Pe lângă vitamina C, ardeiul este foarte bogat în substanțe P-active (70-380 mg), conține o cantitate mare de caroten (0,5-16,0 mg), vitamine din grupa B (tiamină 0,02-0.09 mg, riboflavină 0,02-0,1 mg), acid folic (1,3-2,9 mg la 100 g masă uscată), acid nicotinic (6-10 mg la 100 g masă uscată).

Ce privește substanțele uscate, acestea se conțin până la 6 %, constituind în cea mai mare parte glucidele: zahăr - 28-52 %, amidon - 1,78-9,34 %, celuloza brută - 9,68-24,0 %, himiceluloza - 0,85-3,14 %, substanțe de originea pectinei - 4,0-13,0 %. Substanțe azotice (mai cu seamă proteina) alcătuiesc 11,2-37,5 %. Cenușa constituie 1,03-11,82 % din substanțele uscate și peste 50 % reprezintă sărurile de potasiu. Pe lângă aceste părți constituente pot fi numite sărurile de sodiu, calciu, magneziu, fier, aluminiu precum și compușii fosforului, sulfului, clorului, siliciului și altor elemente. Zahărul din ardei este reprezentat prin glucoză și fructoză.

Fructul ardeiului are o cantitate neînsemnată de grăsime (0,09-3,9 % la S.U.), acumulată cu preponderență în semințe (19,0-20,0 %).

Partea componentă principală a bazei picante la ardei o constituie alcaloidul capsaicină (*Capsicum*). El reprezintă 3 - metoxi - 4 hidroxibenzilamidă - 8 metilnon - transenic [37,

116]. Anume prezența capsaicinei în fruct a determinat folosirea masivă a acestuia în medicină.

Studiului acțiunii farmacologice a capsaicinei sunt consacrate un șir de lucrări științifice [21, 69, 90], direcția fundamentală de studiu a capsaicinei [69] fiind axată în întrebuintarea ei în domeniile: cardiovascular, respiratoric, sensoric, de termoreglare etc.

O vastă sinteză a totalurilor studiului farmacologic în domeniul utilizării capsacinoidelor pe parcursul a mai multor ani a fost publicată în SUA în 1976 [21]. În această lucrare este descrisă în mod detaliat acțiunea diverselor preparate confecționate din componentele ardeiului asupra unor organe, în special a animalelor supuse experimentării. S-a evidențiat un efect hilobenziv pronunțat al capsaicinei, mai ales capacitatea lui de a incita activitatea respiratorie.

Capsaicină este ei un stimulator activ al funcției gastro-intestinale, folosindu-se cu succes la tratamentul radiculitei, miozitei, lumbago, cât și la profilaxia degerăturilor și a afecțiunilor artrozelor.

Diferite remedii alcătuite pe baza extractelor din ardei au o largă răspândire pe piața mondială a medicamentelor, și sunt expuse ca regulă în formă de alifii, tincturi etc. De exemplu în unele state CSI se produc așa preparate ca "CAPSITRIN", plastură de ardei și linimentul complex de ardei [90]. Marea Britani produce alifia pentru necesități externe "CAPSOLIN", iar în Ungaria, prin intermediul firmei "RENAL" se fabrică preparatul pur "CAPSAICIN" [69].

Îmbunătățirea calității acestor preparate poate fi efectuată prin sporirea, în primul rând, a indicilor tehnologici ai ardeiului iute. Aceasta se poate obține prin uscarea care creează condiții favorabile pentru mărirea duratei de păstrare a ardeiului. În

mare măsură aceste momente pozitive se datorează reducerii posibilităților de decurgere a proceselor de fermentare în ardei. Apariția proceselor de fermentare este determinată de prezența umidității. Într-o mare măsură aceste procese sunt afectate de temperatura mediului ambiant. După cum se remarcă în [157], temperatura favorabilă fermentării este de circa 30 °C.

În scopul stopării proceselor de fermentare preparatele medicale, cum menționează A. V. Ștaniko [157], se recomandă a fi uscate la temperatura de 40-50 °C.

Cercetările efectuate de B. G. Efron [159] au demonstrat că plantele ce conțin alcaloizi, din care face parte și ardeiul iute, trebuiesc uscate la o temperatură nu mai mare de 60 °C, atingerea temperaturilor mai înalte cum este arătat în [21, 157, 159] se soldează cu descompunerea sporită a alcaloizilor.

Ardeiul iute ca obiect expus uscării, reprezintă un sistem omogeno-eterogen destul de complex, în care coexistă concomitent fazele solidă, lichidă și gazoasă.

Din punctul de vedere al uscării indicele de bază al produsului este umiditatea, valoarea inițială a căreia referitor la produsele biologice în mare măsură depinde de condițiile de creștere ale acestora. Umiditatea ardeiului în această privință poate depăși 80%.

Ardeiul poate fi uscat numai până la o anumită umiditate finală, limită impusă de tehnologiile respective.

În scopurile păstrării îndelungate cu utilizarea ulterioară, ardeiul este uscat până la umiditatea de echilibru, adică 14 % conform STAS 14960-89 [33], temperatura mediului ambiant și umiditatea relativă fiind respectiv 18 - 20 °C și 63 %. Obținerea ardeiului măcinat sub formă de praf necesită o uscare până la umiditatea finală de 6%.

În cazul uscării ardeiului iute, umiditatea din straturile interioare ale pericarpului, placentă și din semințe se deplasează prin micro- și macrocapilarele membranei spre suprafața ei exterioară. Această membrană posedă o structură mult mai complexă și, de aceea, are un efect negativ, de frânare a deplasării umidității spre suprafața produsului. Din această cauză durata procesului de uscare este destul de îndelungată, iar reducerea duratei de uscare a ardeiului poate fi realizată numai cu mărunțirea prealabilă a fructului.

1.2.2. Tehnici și tehnologii de uscare a ardeiului iute.

1.2.2.1. Uscarea naturală.

Uscarea naturală, uscarea în aer liber la soare și uscarea heleo a ardeiului este cea mai răspândită. Această metodă de uscare se aplică de regulă în gospodăriile individuale și de cooperare situate în regiunile cu climă caldă. Ca Ucraina, Moldova, republicile din Asia Mijlocie și Caucaz.

Uscarea la aer liber la soare

Uscarea la aer liber la soare a ardeiului constă în deshidratarea produsului și îndepărtarea umidității în mediul ambiant prin intermediul interacțiunii produsului cu fluxurile de aer cald. Astfel de uscare se desfășoară pe grătare din metal sau suporturi din lemn (loznițe) în încăperi sau la aer liber, uneori pe terenuri deschise, care corespund normelor sanitare. De obicei terenurile deschise sunt betonate sau asfaltate [59]. Durata de uscare conform datelor [133] poate fi până la 7 zile.

Pentru a reduce la minimum durata de transportare a materiei prime, uscătoria de obicei se amenajează în apropierea câmpului de recoltare și totodată departe de arterele de

circulație protejând prin aceasta produsul de prăfuire și izolarea lui de acțiunea gazelor carburante. Păstrarea, sortarea și pregătirea ardeiului pentru uscare se face în imediata vecinătate cu terenul destinat uscării într-un loc cu acoperiș.

Ardeiul se sortează pe mese de sortare sau pe transportoare cu bandă. Pentru asigurarea condițiilor normale de lucru, viteza benzii transportorului nu trebuie să depășească 0,12 m/s [159], asigurând astfel repartizarea ardeiului pe bandă într-un singur strat.

Schimbul de căldură la uscare în aer liber la soare se realizează prin convecție naturală sau forțată. Condițiile apariției convecției forțate depind de forma și dimensiunile încăperii de uscare, favorizând formarea curenților de aer.

Uscătoarea heleo

Utilizarea energiei radiantei solare este una din metodele de uscare de perspectivă în condițiile gospodăriilor individuale și a fermierilor. Uscarea fructelor și legumelor în uscătoarele de tip heleo are ca avantaj principal folosirea energiei solare ieftine [19, 138].

Pentru uscarea ardeiului, după părerea noastră, prezintă un interes deosebit instalația cu cameră [144], care conține heleoîncălzitoare de aer (cazane) așezate în două rânduri paralele. Între rânduri este instalată conducta centrală de aer, la care se racordează fiecare cazan aparte, iar capătul opus al conductei de aer este racordat la camera de uscare.

Aerul încălzit în heleoîncălzitoare este refulat de un ventilator prin conducta de aer spre camera de uscare. Suprafața totală de recepție a cazanelor constituie 120 m² [144].

În scopul reducerii cheltuielilor legate de folosirea parțială a surselor artificiale de energie, ca în cazul [144], se utilizează

uscătorii cu tiraj natural a aerului cald. În acest caz heleoîncălzitoarele de aer constructiv reprezintă o cutie căptușită din partea superioară dintr-un material transparent pentru energia radiantă iar partea inferioară dintr-un material ce absoarbe energia radiantă.

Uscătoriile de acest tip sunt exploatate în perioada caldă a anului și în calitate de material transparent pentru încălzitoarele staționare poate fi folosită sticla în monostrat sau pelicula transparentă de polimer. Drept cameră de uscare pot fi utilizate toate instalațiile de uscare care nu sunt prevăzute cu agent de încălzire cu carburanți.

Pentru utilizarea mai efektivă a energiei solare în heleouscătorii se recomandă aranjarea suporturilor cu produs paralel cu suprafața de recepție a razelor.

În scopul reducerii pierderilor din cauza apariției macro-și microflorei, ardeiul periodic se aținează (pe suporturi) sau se întoarce (pe teren), ce se răsfrânge esențial asupra calității produsului, iar volumul de muncă a procesului de uscare se mărește.

Acțiunea fermenților are loc atât la uscarea în aer liber la soare, cât și în procesul uscării heleo. Uscarea ardeiului conform [90] este mai efektivă în aer liber la soare, necătând la aceea că aici are loc o reducere neînsemnată a capsacinoidelor, comparativ cu uscarea heleo, vitamina C se păstrează mai bine. Cantitatea de substanțe uscate în uscătoriile heleo, în finele uscării se reduce, iar o cantitate considerabilă de glucide compuse se hidrolizează, ce sporește cantitativ participarea zahărului în ardei.

1.2.2.2. Uscarea artificială.

Uscarea artificială a fructelor și legumelor reprezintă o metodă de uscare cu un utilaj suplimentar în care ne permite să obținem unele avantaje comparative cu uscarea naturală.

În acest caz durata de uscare se reduce esențial, se înlătură neajunsurile caracteristice uscării naturale și se păstrează mult mai bine substanțele utile din produs.

De menținut faptul că problemei uscării artificiale a ardeiului iute i se acordă o mare atenție în Ungaria, care este un furnizor esențial de paprică în Europa, iar ca uscătorie preferențială este aleasă cea de tip cameră "SHILDE" [15].

Ea reprezintă o cameră verticală și divizată în două zone. Zona superioară servește pentru uscarea preventivă a ardeiului, iar cea inferioară - pentru uscarea finală. Alimentarea camerei cu ardei pe suporturi are loc în camera superioară. Uscarea ardeiului se efectuează pe măsura deplasării suporturilor din zona superioară în cea inferioară. Fiecare zonă este înzestrată cu surse individuale de căldură. În zona uscării preventive ardeiul se menține la temperatura de 78 - 80 °C, în cea finală - 65 - 68 °C. La încărcarea suporturilor cu masa de ardei până la 70 kg durata de uscare constituie 3,5 - 4 ore. În această instalație operațiile tehnologice intermediare se efectuează manual. Uscătorul este ca atare masivă, procesul de exploatare și deservire necesită un volum mare de muncă și un generator de abur.

În afară de uscătorul menționat mai sus, în Ungaria se exploatează cu succes instalația tip tunel "CER" produsă în Iugoslavia.

Uscătorul acesta reprezintă un tunel cu pereți confecționați din cărămidă, iar tavanul și podeaua - din beton. O sală din beton desparte tunelul în două galerii: galeria superioară și galeria inferioară. În galeria superioară sunt montate camera de

ardere, un ventilator și sistemul de distribuire a aerului fierbinte. Prin galeria inferioară se deplasează vagonetul cu casete. Tunelul are până la douăsprezece vagoane puse în funcțiune periodic cu ajutorul unui sistem de tracțiune manuală.

Uscătorul prevede diferite moduri de uscare: echicurent sau contracurent. În cazul deshidratării ardeiului se folosește uscarea în contracurent. Temperatura agentului termic în tunel se menține în domeniul 64 - 70 °C, durata de uscare fiind de 8 - 9 ore, iar productivitatea procesului raportată la produsul final - 25 - 29 kg/h.

În unele state CSI, și în particular în Ucraina (fabricile de conserve din Beregov și din Borjov), deshidratarea ardeiului se efectuează cu uscătoarele conveyer tip END - 45 [150, 151]. Această uscătorie reprezintă o cameră închisă cu panouri și uși confecționate din metal, înăuntrul camerei sunt instalate cinci transportoare cu bandă dispuse unul deasupra altuia. Mecanismul de acționare are două stații care asigură viteza necesară mișcării produsului. Deasupra benzilor 1,2 și 3 sunt instalate răvășitoare cu acționare separată. Curățirea rețelelor de produs se efectuează sub primele două benzi ce conțin perii speciale. Aerul umed se elimină din camera de lucru cu ajutorul instalației de tiraj forțat creat de două ventilatoare.

Pentru menținerea regimului termic din camera de uscare uscătorul este înzestrat cu un sistem de reglare automată a temperaturii.

Procesul de uscare a ardeiului iute în această uscătorie are loc la temperatura agentului termic de 60 °C. Durata de uscare la umiditatea finală de 6 % constituie 5,25 ore.

Conform datelor din [151] perioada de încălzire a ardeiului este determinată de 0,25 h, perioada vitezei stabile de uscare - 1,75 h, perioada vitezei de uscare până la starea de echilibru - 3,25 h.

1.3. Direcțiile principale de perfecționare a tehnicii și tehnologiei procesului de uscare a ardeiului iute.

Analiza literaturii referitoare la tema de studiu ne arată că până în prezent problemei uscării ardeiului iute nu i s-a acordat o atenție cuvenită. Instalațiile recente și elaborările existente nu exclud complet neajunsurile metodelor tradiționale de uscare. Puțin este studiată și influența diferitor metode de uscare a ardeiului asupra calității produsului finit. Sunt insuficiente și relațiile analitice obținute în ce privește transferul de masă și de căldură. Toate acestea demonstrează că cercetările efectuate anterior nu sunt măsuri suficiente pentru alegerea metodei cuvenite de uscare.

Din analiza susmenționată a tehnicii și tehnologiei de uscare a ardeiului iute pot fi evidențiate următoarele neajunsuri esențiale ale procedeelelor de uscare actuale:

1. Încălzirea neuniformă a stratului de material, deci o parte a ardeiului se usucă parțial, iar cealaltă se usucă excesiv;
2. Durata îndelungată a procesului de uscare, fapt care reduce esențial calitatea produsului finit;
3. Apariția macro- și microflorei;
4. Cheltuieli enorme de volum de muncă;
5. Mecanizarea și automatizarea imperfectă a procesului de uscare.

Studiul minuțios a metodelor de reducere considerabilă ale acestor neajunsuri a determinat necesitatea modernizării tehnicii și tehnologiei actuale de uscare a ardeiului iute. El are următoarele direcții:

1. Modernizarea tehnologiilor și utilajului existent;

2. Elaborarea liniilor mecanizate de producere în lux a ardeiului iute;
3. Elaborarea tehnologiei și utilajului avansat pentru uscarea ardeiului iute.

Modernizarea tehnicii și tehnologiei avansate are ca scop trecerea de la uscătoriile tip cameră cu acțiune periodică depășită moral și fizic la uscătoriile tip conveier cu acțiune continuă, cu un nivel înalt de automatizare, inclusiv și a operațiilor auxiliare de încărcare și descărcare.

Cu elaborarea noilor uscătorii ca unități de producție o atenție deosebită se acordă și liniilor tehnologice mecanizate destinate producerii papricii și prevăzute cu echipamente de parcurgere a tuturor operațiilor de bază și auxiliare în circuit închis.

Un proiect de astfel de linie este propus de Iu. Frid [150].

Această linie prevede următoarele operații și utilaj necesar pentru realizarea lor: inspectarea, înlăturarea cuiburilor semicerc, separarea semințelor, deodorarea, tăierea, mărunțirea, măcinarea, preambalarea și inspectarea.

Elaborarea tehnologiilor și utilajului nou pentru uscarea ardeiului iute în majoritatea cazurilor se bazează pe metode progresiste de uscare, dintre care pot fi menționate procedeele de uscare prin fluidizare, azeotropie, sublimare etc. [4, 7, 47, 72 152, 154].

Instalația centrifugă de fluidizare a fost propusă de savanții englezi Hanni. P. F., Farkes. D. E. și Braun. G. E. [152]. Ea utilizează viteze relativ mici de circulație a aerului și cu debite mari a lui să asigure și să mențină produsul mărunțit într-o stare de fluidizare permanentă. Această stare de suspensie este condiția necesară și suficientă pentru uscarea produselor, fiecare particulă fiind astfel spălată de fluxul agentului termic,

cea ce permite o deshidratarea uniformă și rapidă. Viteza aerului în asemenea uscătorii trebuie să fie superioară vitezei transportoarelor pneumatice.

Curentul de aer cu viteza sporită transmite particulelor suspendate cantități mari de energie chiar și la temperaturi relativ joase. Aceasta dă posibilitatea ca o mare parte din căldura totală să fie utilizată la evaporarea liberă a umidității din particulele suspendate în aer și restul la încălzirea prin difuzie. Uscarea fluidizată poate fi folosită ca etapă prealabilă la uscarea rapidă în uscătoriiile cu bandă, una din celelalte etape a procesului de uscare fiind destinate deshidratării prin difuzie.

Pentru obținerea produsului de calitate înaltă la starea finală unii autori propun ca uscarea să se efectueze la temperaturi scăzute, ca de exemplu uscarea aerotropă descrisă în [47].

Uscarea aerotropă reprezintă deshidratarea produsului prin distilarea amestecului aerotrop pregătit preventiv. Metoda aceasta se bazează pe capacitatea apei de a crea cu diferiți dizolvanți organici izotopi în procesul străbaterii produselor alimentare de curent într-un rezervor umplut cu eter acetic. Amestecul aerotrop se evaporează sub vid cu presiunea de 100 mm Hg la temperatura de 24 °C, ori la presiunea de 2 mm Hg la temperatura de 19 °C. Amestecul rămas în produs se elimină la o temperatura de 38 °C până la normele admise de instanțele sanitare. Această metodă perfectă la temperaturile indicate nu permite migrarea spontană a umidității sau distrugerea structurii celulelor. Produsul obținut în așa mod are aceeași calitate ca și la uscarea prin sublimare, de multe ori chiar și depășindu-le. Parametrul termodinamic de bază al amestecului aerotrop este căldura latentă de vaporizare a eterului acetic, valoarea căruia constituie 60 kJ/kg, adică de cinci ori mai mică decât a apei. În

schimb la uscarea aerotropă a produselor alimentare solventul transportă cu sine aroma și coloranții, restabilirea cărora trebuie efectuată artificial.

Procedeele menționate pot fi aplicate la uscarea diferitor produse atât în stare proaspătă cât și congelate inclusiv și a fructelor întregi.

Spre deosebire de celelalte procedee de uscare termică, uscarea prin sublimare se realizează la temperaturi joase și în vid înaintat. În acest procedeu cea mai mare parte a umidității (75 - 85 %) este evaporată din produsul congelat evitând topirea cristalelor de gheață, fapt favorabil care duce la păstrarea structurii moleculare a materialului și a produsului uscat, dispersitatea și porozitatea foarte înaltă, atunci când la uscarea prin convecție are loc tasarea esențială a materialului. Porozitatea materialului asigură o restabilire rapidă a calităților sale inițiale la umezire.

Materialele uscate prin sublimare își păstrează într-o măsură mai mare volumul, culoarea, aroma și valoarea biologică decât la aplicarea altor procedee de uscare.

În Marea Britani se efectuează ample cercetări în domeniul perfecționării procesului de sublimare. Această modernizare are loc în următoarele direcții:

- intensificarea procesului de dirijare a umidității în produsele congelate efectuând substituirea congelării rapide a produselor unei mai lente, procesul de evaporare petrecându-se de trei ori mai intens;
- obținerea unor presiuni reminiscente (0,7 - 1,0) mm Hg coeficientul transferului de căldură de la substanțele poroase fiind maximal;
- exploatarea procedeelor avansate de aplicare a energiei la sublimare (alimentarea prin radiație etc.);

- utilizarea uscătorilor cu plăci cu acțiune continuă.

De o importanță mare trebuie considerate și problemele optimizării și modernizării procedeelor de uscare.

În această ordine de idei cercetătorii Kiranondis C. T., Maroulis Z. B. și Merinos-Kauris D. [60] au efectuat calcule matematice completând sistemul mixt de programare neliniară la proiectarea proceselor de deshidratare privitor la produsele vegetale utilizând uscătorii cu bandă. În calcule s-a ținut cont de sortimentul materiei prime (cartoful, morcovul, ceapa, ardeiul), sezonalitatea livrării, necesitatea de păstrare, variația în cursul anului a prețurilor materiei prime și produsului finit. Datorită unei ample analize a rezultatelor experimentale și a numeroaselor serii de benzi de perforare au fost propuse recomandări pentru programarea producerii a mai multor tipuri de materie primă folosind cele mai optimale scheme.

În ultimul timp o acțiune specială i se acordă procedeelor electrofizice de evaluare a energiei termice. Se are în vedere utilizarea diferitor câmpuri electromagnetice din spectrul vizibil (radiații infraroșii, tuburi cu descărcare în gaz) și invizibil (contact electric, curenți de frecvență înaltă (UHF) și supraînaltă (SHF)) [91, 92, 95, 119, 126, 135, 143].

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 gradientelor de temperatură și de umiditate în același sens, ce provoacă intensificarea procesului de câteva ori. Pe lângă aceasta, utilizarea spectrului vizibil permite crearea la suprafața produsului a unui strat dur, ce mărește durata de păstrare și de livrare. Aplicarea acestui procedeu favorizează reglarea temperaturii în procesul de uscare, cu o precizie destul

de înaltă, ce duce la o economie considerabilă a resurselor energetice.

S. G. Ilianov și V. V. Crasniacov menționează [55] că încălzirea rapidă în volum datorită radiațiilor infraroșii sporește adsorbția umidității, intensificând procesul de uscare și stopând inactivitatea fermenților.

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

O problemă serioasă reprezintă alegerea 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 sensul acesta au fost efectuate multe cercetări care aveau ca scop precizarea frecvenței admisibile în procedeu menționat. Astfel cercetările electrochimice cu electroliți [115] au demonstrat că frecvența admisibilă uscării prin contact electric oscilează în limitele de 8 - 10 kHz.

Dintre perspectivele intensificării procesului de uscare a ardeiului iute, după părerea noastră, reprezintă interes procedeele de uscare ce utilizează energia câmpurilor electromagnetice puternice, în particularitate cu curenți de frecvență înaltă (UHF).

2. STUDIUL PARAMETRILOR ELECTROFIZICI AI ARDEIULUI IUTE.

Rezultatele obținute în urma cercetărilor proprietăților electrofizice - tangentei unghiului pierderilor dielectrice $\text{tg}\delta$, permitivității dielectrice relative ϵ' și a factorului de pierderi k au fost prelucrate folosind metoda grafo-analitică. În aceste scopuri au fost utilizate programele tip SUPERCALC - 5, MACHCAD 5.0 și COREL CHART 5.0.

În cercetările experimentale au fost parcurse următoarele intervale de probe: umiditatea 0, 6.0, 16.0, 26.0 și 36.0 %; temperaturile produsului 20.0, 40.0, 60.0, 80.0 și 100.0 °C și frecvențele câmpului electromagnetic 15 ... 45 MHz [87, 97, 101].

Influența particularităților electrofizice ale ardeiului iute și a componentelor lui în funcție de frecvența câmpului electromagnetic, umiditate și temperatura produsului este prezentată în fig.2.1-2.9.

2.1. Metodica de măsurare a parametrilor electrofizici ai ardeiului iute.

Actualmente măsurarea proprietăților electrofizice ale produselor poate fi efectuată prin mai multe metode. Parametrii de bază expuși măsurării sunt tangenta unghiului de pierderi $\text{tg}\delta$ și permitivitatea dielectrică relativă ϵ' , iar cele mai răspândite metode de măsurare a particularităților electrofizice ale dielectricilor plasați în câmpuri electrice slabe de curenți cu înaltă frecvență pot fi numite metoda punților [84], metoda de rezonanță [112] și metoda aplicării liniilor de măsurare (de ghidare ale undelor) [112].

Folosirea uneia din metodele menționate depinde în mare măsură de frecvența câmpului electric în care este plasat dielectricul studiat și în care vor fi efectuate măsurările parametrilor electrofizici. După cum s-a stabilit în [16, 35], metodele punților se aplică în diapazonul frecvențelor de $10^2 \dots 10^7$ Hz, metodele rezonanțelor - $10^5 \dots 10^{10}$ Hz și metodele undelor - $10^9 \dots 10^{11}$ Hz.

Pentru măsurarea particularităților electrofizice în diapazonul frecvențelor câmpului până la 10^{10} Hz din procedeele enumerate mai des este folosită metoda rezonanțelor. Metodele rezonanțelor (prin circuit și autogenerator) sunt bazate pe transformarea parametrilor condensatorului celulei măsurătoare (inclusă în circuitul conturului LC) în valoare ce i se revine factorului calitativ și frecvenței de rezonanță a circuitului. Aceste metode dau o precizie satisfăcătoare la determinarea tangentei unghiului de pierderi $\text{tg}\delta$ și permitivității dielectrice relative ϵ' .

Însă, metodele de circuit și de rezonanță, după cum s-a menționat în [84], din punct de vedere metrologic sunt cele mai simple. Ele se aplică la aparatele Q - metre. Există diverse procedee de măsurare a proprietăților electrofizice 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 a două și trei măsurări, metodica cărora este descrisă în [22, 93, 120]. Procedeele a două măsurări este mai simplă și se folosește în schemele de măsură în care lipsesc linii lungi de conectare, În caz contrar se folosește metoda a trei măsurări, excluzând din calcule capacitățile electrice a acestor linii.

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

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

Reieșind din cele menționate, studierea parametrilor electrofizici ai ardeiului iute a fost efectuată aplicând metoda rezonanței cu concursul a trei măsurări.

După cum se știe, principiul de bază a metodei de rezonanță se bazează pe aceea, că la variația parametrilor circuitului oscilant la care este conectat condensatorul de măsurat umplut cu materialul supus cercetărilor, se poate de determinat parametrii condensatorului măsurător. Aplicând schema paralelă echivalentă considerăm că condensatorul de măsurat este înlocuit cu două condensatoare conectate în paralel. Unul din ei este condensatorul de măsurat lipsit de product, altul convențional, reprezintă materialul ce trebuie studiat. În acest caz este necesar de examinat trei circuite oscilante (fig.2.1 și 2.2).

Determinarea parametrilor condensatorului măsurător cu variația frecvențelor s-a efectuat în trei etape. Prima etapă constă în conectarea bobinei de inducție la Q-metru și prin schimbarea capacității 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, se conectează în contur condensatorul măsurător fără de product și se determină folosind

aceiași metodă Q_2 și C_2 . A treia etapă se reduce la conectarea condensatorului de măsurat umplut cu produsul studiat și repetând aceleași operații precedente se determină Q_3 și C_3 .

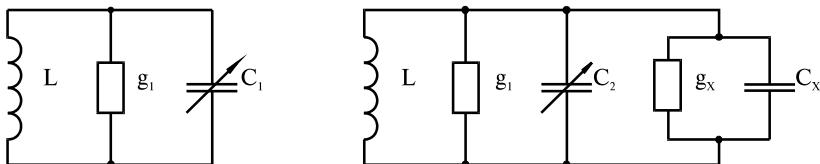


Fig. 2.1. Schema circuitului oscilant pentru măsurarea parametrilor bobinei și condensatorului de măsurat fără product.

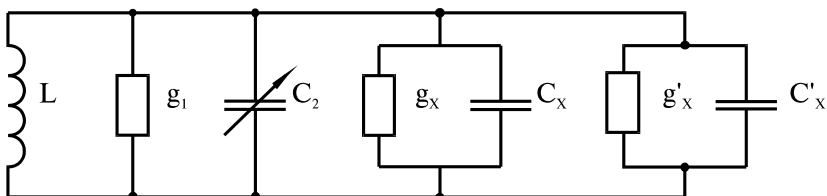


Fig. 2.2. Schema circuitului oscilant pentru măsurarea parametrilor produsului.

Calculul tangentei unghiului de pierderi dielectrice $tg\delta$ și a permitivității dielectrice relative ε' a ardeiului iute se efectuează cu relațiile [120, 113]:

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

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

în care Q_1, C_1 este factorul calitativ și respectiv capacitatea circuitului în rezonanță fără condensatorul măsurător;

Q_2, C_2 - factorul calitativ și respectiv capacitatea circuitului în rezonanță cu condensatorul măsurător fără product;

Q_3, C_3 - factorul calitativ și respectiv capacitatea circuitului în rezonanță cu condensatorul măsurător umplut cu product;

C_0 - capacitatea condensatorului măsurător în stare de vid. În cazul măsurării C se utilizează formula [84]:

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

în care D este diametrul plăcii condensatorului, în m;

d - distanța dintre plăcile condensatorului, în m.

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

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

Instalația conține Q-metrul E4-5A 1 la care se conectează condensatorul măsurător 2 umplut cu product și bobina de inducție 3. Parametrii electrofizici ai ardeiului iute au fost determinați la diferite temperaturi. Încălzirea productului din condensator sa petrecut cu elemente electrice de încălzire 4. Temperatura ardeiului iute s-a măsurat cu termocuplul cupru și constantaniu 5 conectat la puntea de măsurare P-4833 6 sudura rece fiind lăsată în termostatul cu gheață 7.

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

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

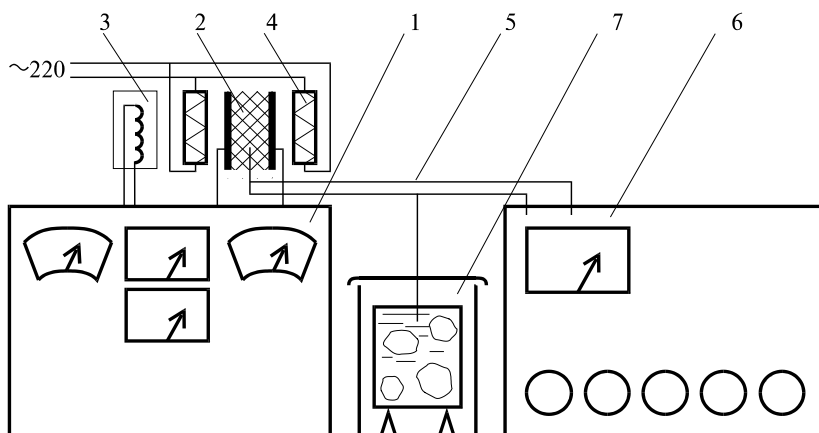


Fig.2.3. Schema instalației pentru determinarea parametrilor electrofizici ai ardeiului iute. 1 - Q-metru E4-5A; 2 - condensator măsurător umplut cu produs; 3 - bobină de inducție; 4 - element electric de încălzire; 5 - termocuplu Cupru și Constantaniu; 6 - punte măsurătoare P-4833; 7 - termostat cu gheață.

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

Temperatura ardeiului iute încălzit a fost măsurată cu termocuplul Cupru și Constantan conectat la potențiometrul P-4833. Sudura rece a termocuplului se introduce în vasul Dewar cu amestec de gheață și apă. Potențiometrul fixa tensiunea termo-electromotoare (t.f.e.m.) de la capetele termocuplului. Diferența t.f.e.m. a fost convertită în °C cu ajutorul diagramei, construită în prealabil, termometrul de laborator fiind termometru etalon cu eroarea nu mai mare de ± 0.1 °C.

În experiențele destinate studierii parametrilor electrofizici ai ardeiului iute s-a folosit ardei recoltat în asociația intercolhoznică "Patria"(Ungheni) de soiul "*C. Annuuum Ę-33/5*". Printr-o analiză organoleptică a fost selectat ardeiul copt neafectat structural.

În lotul de ardei iute selectat s-a determinat umiditatea inițială medie.

Determinarea ei s-a efectuat prin metoda uscării până la o masă constantă.

Astfel, s-a stabilit umiditatea inițială a ardeiului iute de 78%, valoare obținută în rezultatul medierii ponderate.

Ardeiul a fost curățat, iar pericarpul a fost despărțit de semințe. Pe lângă aceasta au fost pregătite probe de pericarp cu semințe împreună îi aparte pericarp îi semințe.

Pentru obținerea probelor de diversă umiditate, ele au fost supuse unui procedeu special de uscare. Determinarea umidității finale a probelor în prealabil se calcula conform relației [28]:

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

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

M_2 - masa finală a probei, în kg;

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

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

W_2 - umiditatea finală a probei, în %;

Probele de ardei iute, uscate până la umiditatea finală bine determinată, au fost introduse în vase aparte și închise ermetic. În scopul egalării umidității în întregul volum durata de menținere a acestor vase a fost stabilită de șapte zile.

Astfel au fost obținute probe de ardei iute cu umiditatea 0, 6, 16, 26 și 36%.

2.2 Influenta frecvenței câmpului electromagnetic asupra parametrilor electrofizici a ardeiului iute.

Cercetările au determinat, ca influența parametrilor electrofizici a ardeiului iute și a componentei lui în condiții normale în funcție de frecvența câmpului electromagnetic poartă un caracter destul de complex [88, 89, 97]. Mai mult ca atât, la aceleași condiții aparatul înregistrează parametrii respectivi ai ardeiului iute numai până la umiditatea de 36%.

La umiditatea ardeiului ce depășește 36% instantaneu se mărește valoarea componentei active a curentului I_a , care la încălzirea dielectricului joacă un rol mai mic decât curenții de polarizare. De aceea, un interes deosebit prezintă determinarea influenței parametrilor electrofizici ca funcție de factorii sus arătați în diapazonul de umiditate de la 0% până la 36%.

În figura 2.4 (a,b,c) este reprezentată variația tangentei unghiului de pierderi dielectrice $\text{tg}\delta$ a ardeiului iute și părțile sale componente în funcție de frecvența câmpului electromagnetic.

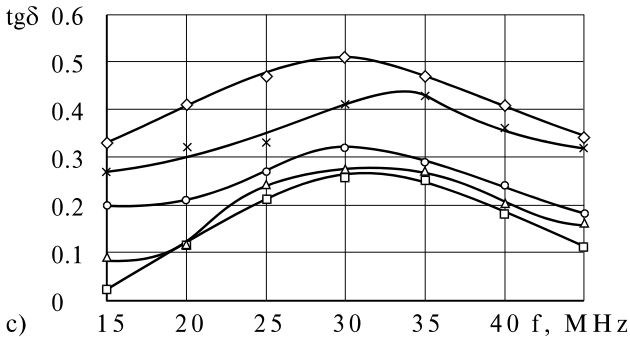
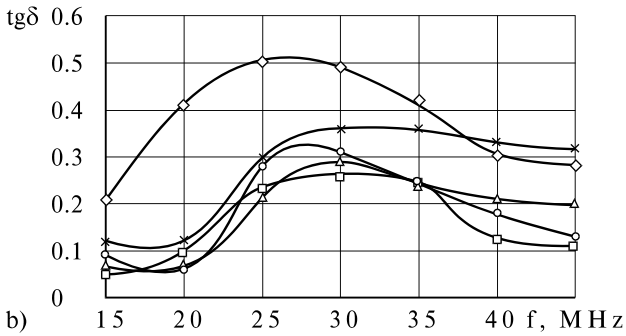
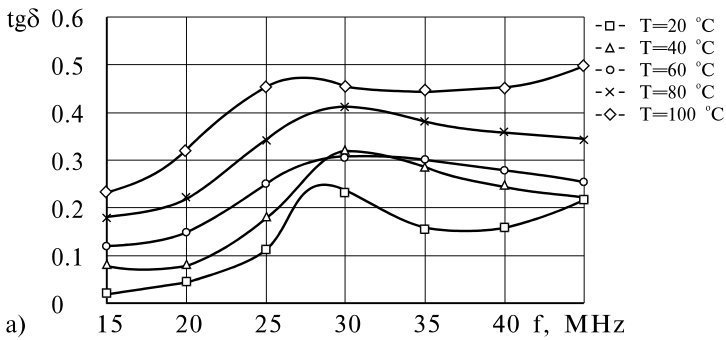


Fig.2.4 Influența frecvenței câmpului electromagnetic f asupra $\text{tg}\delta$ a ardeiului iute cu $W=6\%$: a) amestec de pericarp și semințe; b) pericarp; c) semințe.

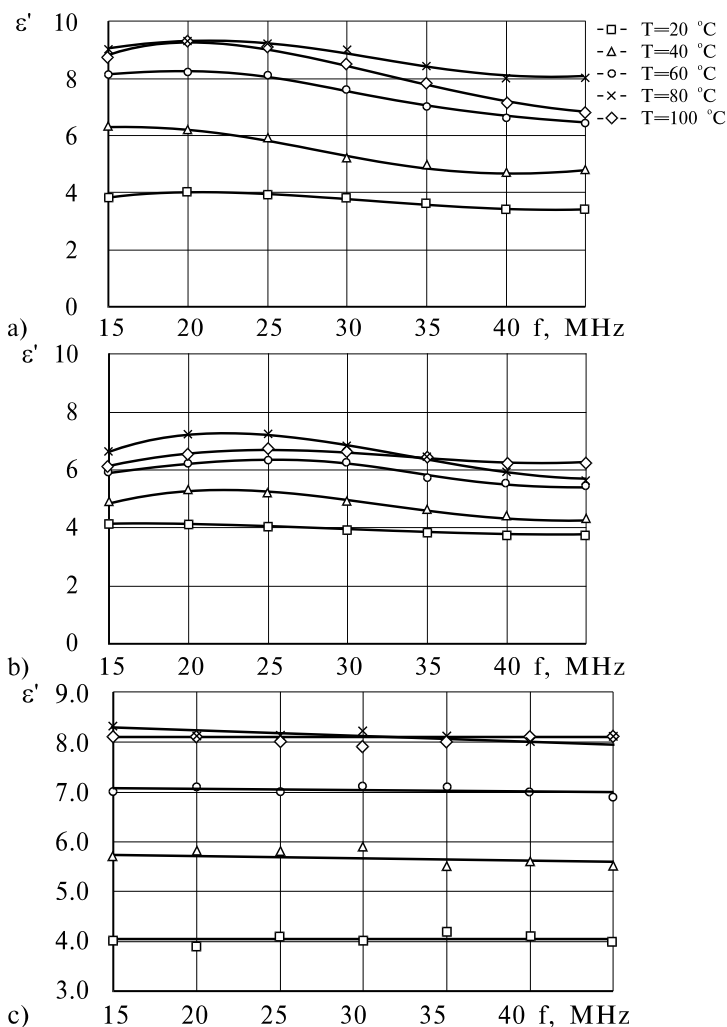


Fig.2.5 Influența frecvenței câmpului electromagnetic f asupra ϵ' a ardeiului iute cu W#6 %: a) amestec de pericarp și semințe; b) pericarp; c) semințe.

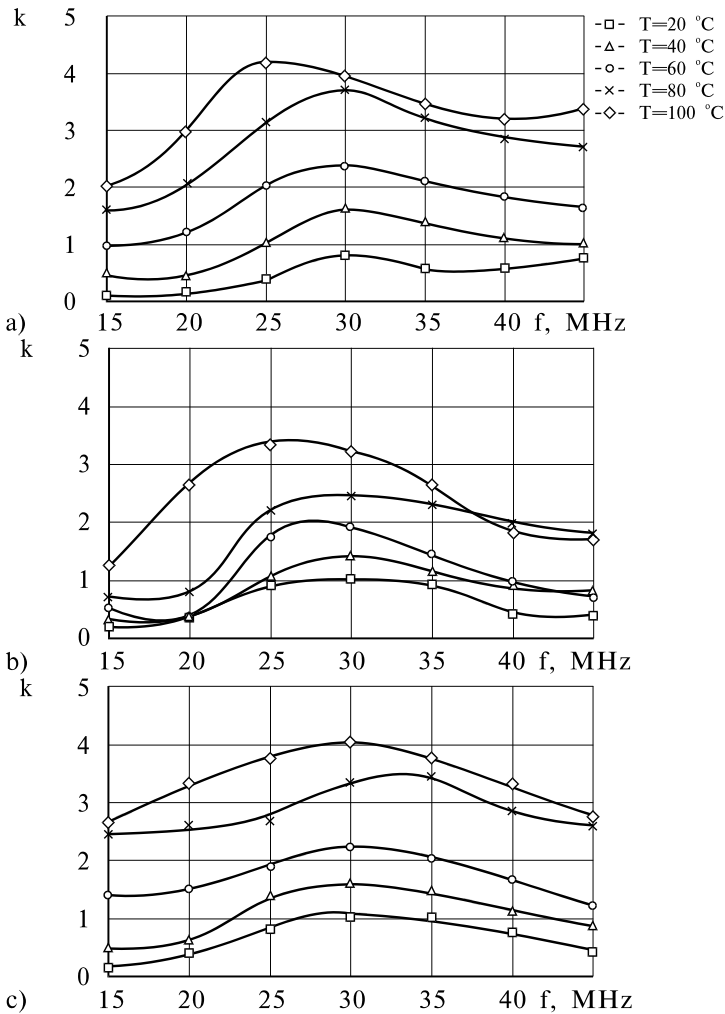


Fig.2.6 Influența frecvenței câmpului electromagnetic f asupra k a ardeului iute cu $W=6\%$: a) amestec de pericarp și semințe; b) pericarp; c) semințe.

În cazul amestecului de pericarp și semințe (fig.2.4 a), de umiditatea 6 % și temperatura produsului 20 °C tangența unghiului de pierderi dielectrice $\text{tg}\delta$, variază de la 0.02 până la 0.23, această variație deplasându-se în diapazonul de la 0.23 până la 0.49 la aceeași umiditate, iar temperatura produsului fiind de 100 °C. Un caracter similar la aceeași umiditate și pentru aceleași temperaturi s-a evidențiat și în cazul pericarpului și a semințelor, variația tangentei unghiului de pierderi dielectrice devenind corespunzător: de la 0.05 până la 0.26 și de la 0.21 până la 0.49 pentru pericarp (fig.2.4.b); de la 0.04 până la 0.29 și de la 0.06 până la 0.51 - pentru semințe (fig.2.4.c).

Din cele expuse anterior, reiese, ca variația $\text{tg}\delta$ pentru amestec, pericarp și semințe este neînsemnată.

Graficele fig.2.4.a,b,c, indică ca $\text{tg}\delta$ atinge valori maxime în intervalul de frecvențe a câmpului electromagnetic de la 25 și până la 30 MHz. Astfel, în proba amestecului cu umiditatea 6% și temperaturile de 20.0, 40.0, 60.0, 80.0 și 100.0 °C valorile maxime ale $\text{tg}\delta$ în acest interval de frecvențe a câmpului electromagnetic sunt: 0.23, 0.32, 0.31, 0.41, și 0.46. Pentru pericarp la aceleași temperaturi și interval de frecvențe maximumul $\text{tg}\delta$ constituie: 0.26, 0.27, 0.32, 0.43 și 0.51.

Apariția valorilor maxime pe grafice poate fi explicată prin faptul, ca anume la aceste frecvențe ale câmpului electromagnetic relația dintre perioada tensiunii aplicate și durata de relaxare corespunde consumului maxim de energie la depășirea de către dipoli a rezistenței mediului.

Caracterul variației permitivității dielectrice relative (ϵ') a amestecului, pericarpului și semințelor în funcție de frecvența câmpului electromagnetic se deosebește radical de variația $\text{tg}\delta$ (fig.2.5 a, b, c).

Permitivitatea dielectrică relativă pentru amestecul de pericarp și semințe în intervalul câmpului electromagnetic de 15...45 MHz, a temperaturii produsului 20...100 °C și a umidității 0...36 % variază între 3.4 și 9.3 (fig.2.5 a). Variația ε' a pericarpului în aceleași intervale a frecvenței câmpului electromagnetic, temperaturii și umidității produsului are loc în limitele 3.7...7.2 (fig.2.5 b), iar a semințelor în intervalul 3.9...8.3 (fig. 2.5 c).

Permitivitatea dielectrică relativă ε' a semințelor de ardei iute la variația frecvenței în intervalul de 15-45 MHz și a temperaturii și umidității produsului la variațiile menționate mai sus practic rămâne neschimbată.

Dependența evidențiată ne demonstrează, ca durata de instalare a polarizării electronice și ionice comparativ cu cea de aplicare a tensiunii curentului electric este mica, de aceea semințele se polarizează într-o perioadă mult mai redusă decât semiperioada tensiunii aplicate.

Cum este menționat [132, 140] astfel de influențe a frecvenței câmpului electromagnetic asupra permitivității dielectrice relative ε' , sunt caracteristice pentru dielectricii nepolari duri. Ardeiul iute este un produs organic complex, și prezența moleculelor complexe este normală, cu grupe polare și nepolare.

Pentru toate grupurile nepolare din dielectric, polarizarea dominantă reprezintă deplasarea electronica. Referitor la amestec, relația dintre polarizabilitatea și permitivitatea dielectrică relativă este exprimată prin ecuația de stare Clauzius - Mossotti [116].

$$\sum_{i=1}^m f_i p_i = \frac{\varepsilon' - 1}{\varepsilon' - 2} \cdot \frac{1}{\rho} \sum_{i=1}^m \mu_i f_i \quad (2.5)$$

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

f_i - concentrația moleculară a componentei i ;

ε' - permitivitatea dielectrică relativă a amestecului;

ρ - densitatea amestecului, în kg/m^3 ;

μ_i - masa molară a componentei i , în kg .

Permitivitatea dielectrică relativă se poate exprima cu relația [132]:

$$\varepsilon' = \varepsilon'_\infty + \frac{4\pi\theta g}{1 + f^2\theta^2} \quad (2.6)$$

în care ε'_∞ este permitivitatea dielectrică relativă determinată numai de polarizarea instalată rapid;

ε' - permitivitatea dielectrică relativă totală;

θ - constanta timpului;

g - conductibilitatea inițială a curentului de absorbție;

f - frecvența câmpului electromagnetic, în MHz;

Conform expresiei (2.6), odată cu creșterea frecvenței câmpului electromagnetic, permitivitatea dielectrică relativă ε' scade. Însa, în intervale mici ale frecvenței sunt posibile sectoare, în care permitivitatea dielectrică relativă nu depinde de frecvență, iar în unele cazuri chiar și crește [134]. Aceasta se observă în graficele (fig.2.5 a,b) pentru amestec și pericarp. Aici predomină două sectoare, primul sector fiind în intervalul de frecvențe 15-27 MHz, în care cu creșterea frecvenței se observă o mărire neînsemnată a lui ε' .

Fenomenul dat se explică, după părerea noastră, datorită structurii complexe a produsului, din care cauză, apare o oarecare "viscozitate electrică", ce la rândul său, mărește capacitatea produsului. Dar mărirea capacității sporește și ε' .

La creșterea ulterioară a frecvenței, sau la trecerea în sectorul al doilea (27-45 MHz), electronii capătă cantitatea de energie necesară pentru stoparea acestui fenomen, ceea ce reduce ε' .

Cantitatea de căldură eliminată din produs la aplicarea curenților de frecvență înaltă se determină cu relația (1.8) [28], din care reiese că degajarea de căldură este datorată produsului dintre $\text{tg}\delta$ și ε' care poartă denumirea de factor de pierderi k .

Din figurile 2.6 a, b, c se observă, că k obține valori maxime în intervalul de frecvențe 26-28 MHz. Ca și $\text{tg}\delta$, valorile medii ale lui k în acest interval pentru amestec (fig.2.6 a), pericarp (fig.2.6 b) și semințe (fig.2.6 c) nu se deosebesc esențial.

Acest decalaj neînsemnat al valorilor lui k pentru amestec, pericarp și semințe demonstrează, ca la uscarea ardeiului iute în câmp electromagnetic de frecvență înaltă nu este obligatorie separarea preventivă a pericarpului de semințe, și astfel este posibilă uscarea lor împreună.

Mai mult ca atât, analiza datelor experimentale și a șirului parametric al generatoarelor industriale, ne permite să conchidem, ca pentru a obține o încălzire intensivă și uniformă a ardeiului se recomandă de ales pentru uscarea lui generatorul cu frecvența câmpului electromagnetic de 27 MHz.

2.3. Influența umidității ardeiului iute asupra parametrilor electrofizici.

Influența umidității dielectricilor asupra parametrilor săi electrofizici este studiată insuficient. Acestei probleme sunt dedicate lucrările [39, 48, 49, 58, 67, 111, 114, 120, 140] etc.

Ardeiul iute reprezintă un produs organic cu o structură complexă, care posedă un număr enorm de componente structurale. Pentru asemenea produse, cum se menționează în [30, 111, 137, 140], deducerea fundamentală a ecuațiilor fizice, care ar lua în considerare influența umidității produsului asupra parametrilor săi electrofizici este destul de laborioasă.

Aceasta se datorează faptului ca în ardeiul iute se întâlnesc diferite forme de legătură dintre umiditate și schelet, și de asemenea că acest produs aparține sistemelor complexe din punct de vedere a deshidratării, cum sunt de exemplu corpurile capilaro-poroase. Cele menționate și au cauzat necesitatea de a studia problema în mod experimental.

S-a menționat deja, că în aceste cazuri este rațională folosirea generatorului cu frecvența de lucru de 27 MHz. Reieșind din aceasta, un interes deosebit va reprezenta studiul influenței umidității produsului asupra parametrilor săi electrofizici anume la aplicarea acestei frecvențe a câmpului electromagnetic.

În figura 2.7 a, b, c sunt prezentate curbele influenței umidității produsului asupra tangentei unghiului de pierderi dielectrice $tg\delta$ a ardeiului iute și a componentelor sale.

Din aceste grafice rezultă, că odată cu mărirea umidității, neliniar crește și valoarea $tg\delta$. Până la umiditatea de echilibru convexitatea curbelor este îndreptată spre axa ordonatelor, iar în continuare spre axa absciselor, adică toate curbele au un punct de inflexiune. Este posibil ca creșterea $tg\delta$ poate fi explicată prin aceea, că în produsele alimentare umiditatea în sensul apei omogene nu este pură, ci din punct de vedere electrofizic - sub formă de electroliți, la care odată cu mărirea umidității se reduce concentrația electrolitului și crește componenta activă a curentului I_a . Ea la rândul său provoacă creșterea $tg\delta$. Neliniari-tatea variației $tg\delta$ în funcție de umiditate, pentru amestec, pericarp și pentru semințe este datorată complexității structurale a produsului.

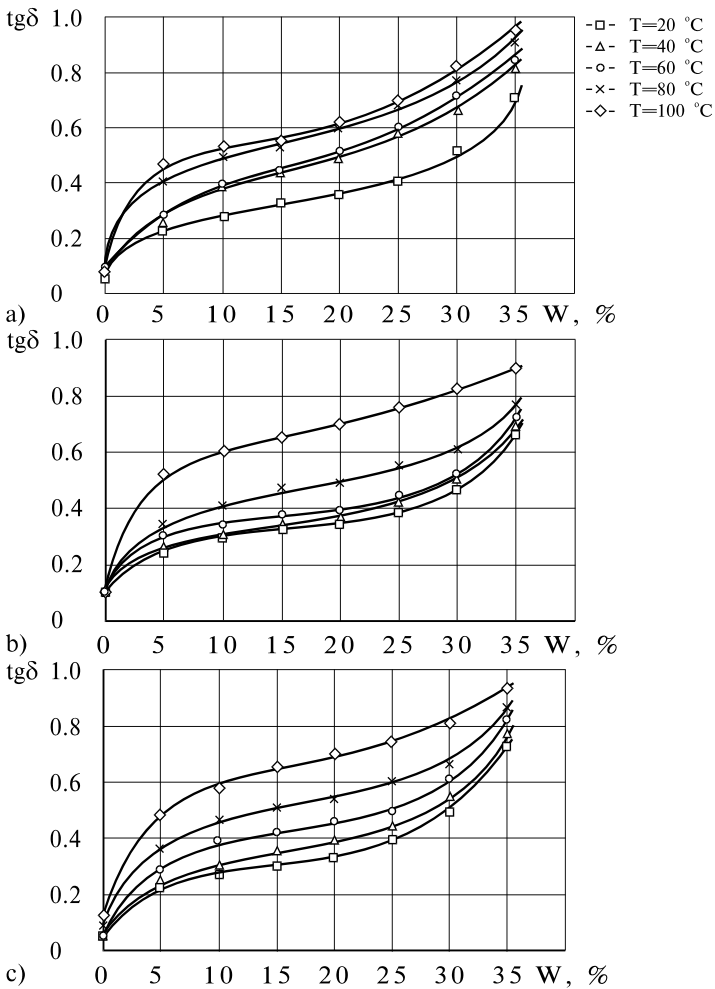


Fig.2.7 Influența umidității W asupra $tg\delta$ a ardeiului iute plasat în câmp electromagnetic cu frecvența $f=27$ MHz: a) amestec de pericarp și semințe b) pericarp; c) semințe.

În tabelul 2.1 sunt indicate ecuațiile matematice $\text{tg} \delta$ în funcție de umiditatea ardeiului iute și a componentelor lui la temperaturile produsului 20, 40, 60, 80 și 100 °C în intervalul de umidități 0-36%.

Tabelul 2.1

T, °C	Ecuțiile matematice ale lui $\text{tg} \delta$
Amestec	
20	$\text{tg} \delta = 0.06 + 0.014W + 1.7 \cdot 10^{-4}W^2$
40	$\text{tg} \delta = 0.08 + 0.022W - 2.4 \cdot 10^{-5}W^2$
60	$\text{tg} \delta = 0.09 + 0.013W + 2.3 \cdot 10^{-4}W^2$
80	$\text{tg} \delta = 0.06 + 0.033W - 2.7 \cdot 10^{-4}W^2$
100	$\text{tg} \delta = 0.07 + 0.044W - 5.45 \cdot 10^{-5}W^2$
Pericarp	
20	$\text{tg} \delta = 0.1 + 0.012W + 1.28 \cdot 10^{-5}W^2$
40	$\text{tg} \delta = 0.09 + 0.016W + 3.1 \cdot 10^{-5}W^2$
60	$\text{tg} \delta = 0.11 + 0.014W + 1.2 \cdot 10^{-4}W^2$
80	$\text{tg} \delta = 0.11 + 0.024W - 1.5 \cdot 10^{-4}W^2$
100	$\text{tg} \delta = 0.12 + 0.042W - 5.59 \cdot 10^{-4}W^2$
Semințe	
20	$\text{tg} \delta = 0.05 + 0.022W - 7.6 \cdot 10^{-5}W^2$
40	$\text{tg} \delta = 0.05 + 0.017W - 1.2 \cdot 10^{-4}W^2$
60	$\text{tg} \delta = 0.05 + 0.023W - 2.7 \cdot 10^{-5}W^2$
80	$\text{tg} \delta = 0.08 + 0.031W - 2.3 \cdot 10^{-4}W^2$
100	$\text{tg} \delta = 0.12 + 0.034W - 2.9 \cdot 10^{-4}W^2$

Variația ε' pentru amestec, pericarp și semințe în intervalul de umiditate menționat este prezentată în fig.2.8 a, b, c.

După cum se observă în grafice, această funcție posedă un caracter complex neliniar. Odată cu mărirea umidității crește și ε' pentru amestec, pericarp și pentru semințe. Este posibil că

permitivitatea dielectrică relativă crește odată cu sporirea umidității acestuia, cauza fiind mărirea numărului de molecule polare în product.

În tabelul 2.2 sunt prezentate relațiile matematice ale lui ϵ' în funcție de umiditatea ardeiului iute și componentele sale la temperaturile produsului 20, 40, 60, 80 și 100 °C în intervalul de umiditate 0-36 %.

Tabelul 2.2

T, °C	Ecuțiile matematice ale lui ϵ'
Amestec	
20	$\epsilon' = 3.4 + 0.142W + 0.003W^2$
40	$\epsilon' = 3.6 - 0.023W + 0.012W^2$
60	$\epsilon' = 8.0 + 0.003W + 0.008W^2$
80	$\epsilon' = 3.2 + 0.475W + 0.001W^2$
100	$\epsilon' = 5.5 - 0.093W + 0.015W^2$
Pericarp	
20	$\epsilon' = 2.2 + 0.227W$
40	$\epsilon' = 2.4 + 0.214W + 0.001W^2$
60	$\epsilon' = 5.9 + 0.006W + 0.005W^2$
80	$\epsilon' = 2.3 + 0.423W - 0.005W^2$
100	$\epsilon' = 6.0 + 0.127W$
Semințe	
20	$\epsilon' = 3.6 + 0.147W + 0.005W^2$
40	$\epsilon' = 3.45 + 0.07W + 0.007W^2$
60	$\epsilon' = 3.15 + 0.07W + 0.006W^2$
80	$\epsilon' = 3.65 + 0.032W$
100	$\epsilon' = 5.25 + 0.21W + 0.002W^2$

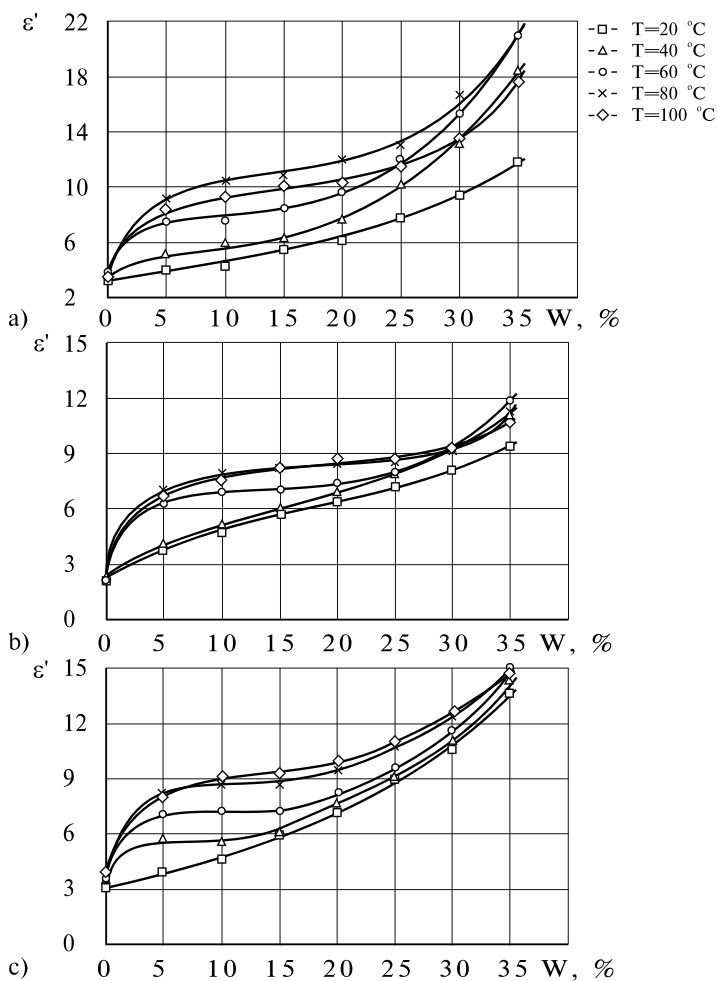


Fig.2.8 Influența umidității W asupra ϵ' a ardeiului iute plasat în câmp electromagnetic cu frecvența $f=27$ MHz: a) amestec de pericarp și seminte; b) pericarp; c) seminte.

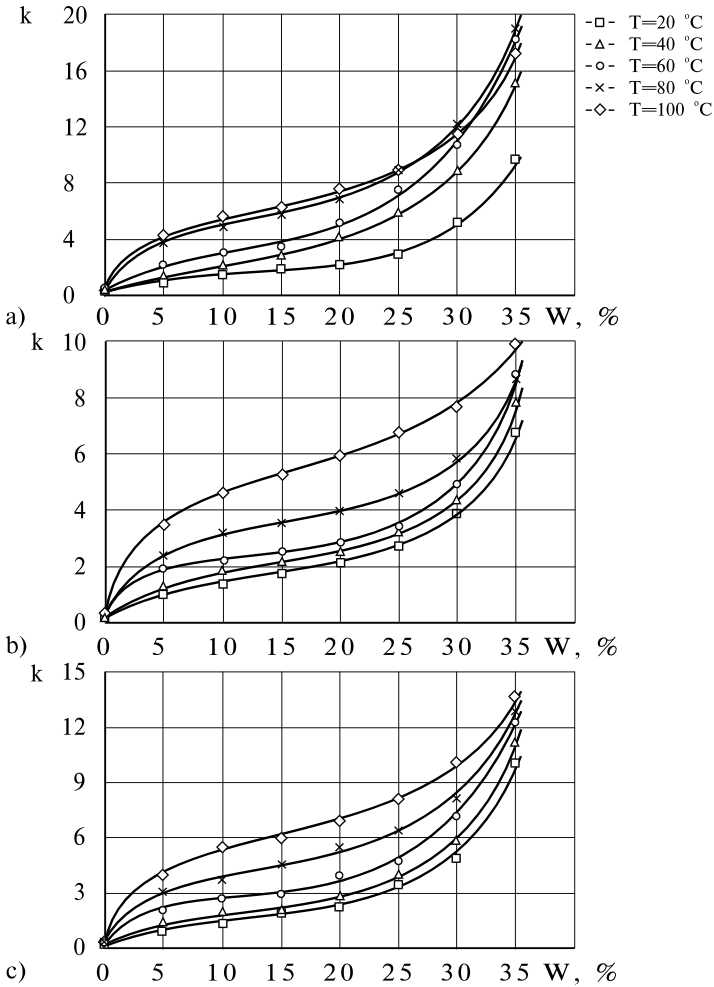


Fig.2.9 Influența umidității W asupra k a ardeiului iute plasat în câmp electromagnetic cu frecvența $f=27$ MHz: a) amestec de pericarp și semințe; b) pericarp; c) semințe.

Nu mai puțin important în studiul parametrilor electrofizici este și factorul de pierderi k . Variația k în funcție de umiditate pentru ardeiul iute și componentele lui sunt prezentate în fig.2.9 (a, b, c). Din figură se observă, că cu mărirea umidității factorul de pierderi de asemenea crește, și în funcție de umiditate în intervalul indicat poarta un caracter neliniar.

Ecuțiile matematice ale factorului de pierderi în funcție de umiditate pentru ardeiul iute și componentele sale la temperaturile produsului 20, 40, 60, 80 și 100 °C în intervalul de umidități 0-36% sunt prezentate în tabelul 2.3.

Tabelul 2.3

T, °C	Ecuțiile matematice ale lui κ'
Amestec	
20	$k=0.204+0.005W+0.007W^2$
40	$k=0.288-0.072W+0.014W^2$
60	$k=1.8-0.264W+0.021W^2$
80	$k=0.192+0.196W+0.01W^2$
100	$k=3.0+0.062W+0.01W^2$
Pericarp	
20	$k=2.4+0.171W$
40	$k=0.216+0.044W+0.005W^2$
60	$k=1.2-0.023W+0.007W^2$
80	$k=0.253+0.182W+0.002W^2$
100	$k=3.4+0.142W+0.003W^2$
Semințe	
20	$k=0.157+0.012W+0.008W^2$
40	$k=0.172-0.041W+0.01W^2$
60	$k=1.9-0.123W+0.012W^2$
80	$k=0.292+0.179W+0.005W^2$
100	$k=3.5-0.018W+0.009W^2$

2.4 Influența temperaturii ardeiului iute asupra parametrilor electrofizici

Evident, că în mare măsură parametrii electrofizici ai ardeiului iute sunt influențați și de temperatura lui.

După cum s-a menționat, se recomandă uscarea ardeiului iute în câmp electromagnetic de frecvență înaltă începând cu umiditatea de 36 %. Din aceste considerente s-au obținut funcțiile parametrilor electrofizici pentru probele cu umiditatea de la 0 până la 36% și anume 0, 6.0, 16.0, 26.0 și 36.0 %. Produsul a fost studiat la frecvența câmpului electromagnetic de 27 MHz.

În fig.2.10 (a, b, c) sunt prezentate graficele influenței temperaturii în intervalul 20-100 °C asupra $tg\delta$ pentru amestec, pericarp și semințe.

Din grafice rezultă, că la umidități diferite de 0 % $tg\delta$ a amestecului (fig.2.10 a), pericarpului (fig.2.10 b) și semințelor (fig.2.10 c) crește odată cu creșterea temperaturii.

Această alură caracteristică a curbelor se explică probabil prin aceea, că la mărirea temperaturii se petrece o vaporizare a umidității mai intensivă, care înlocuiește o parte oarecare de aer considerat dielectric bun, ceea ce sporește și componenta activă a curentului electric I_a .

Ecuția matematică a variației $tg\delta$ în funcție de temperatură pentru materialele cu conductibilitate dielectrică neînsemnată, cum este cazul ardeiului iute, este prezentată în tabelul următor [132]:

$$tg\delta = \frac{4 \cdot \pi \cdot A}{\epsilon'_{\infty} \cdot f \cdot B_1 \cdot T \cdot e^{\frac{\beta}{T}}} \quad (2.7)$$

în care A, B, sunt valori stabile;

ϵ'_{∞} , f - valori independente de temperatură.

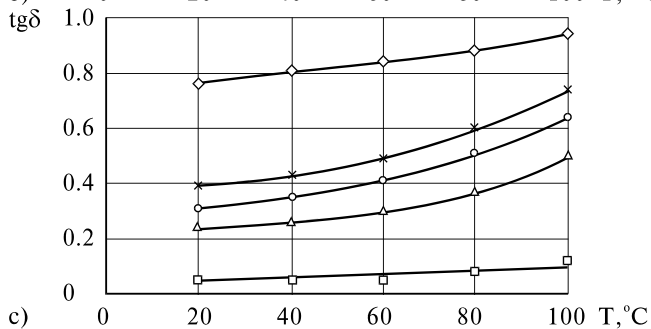
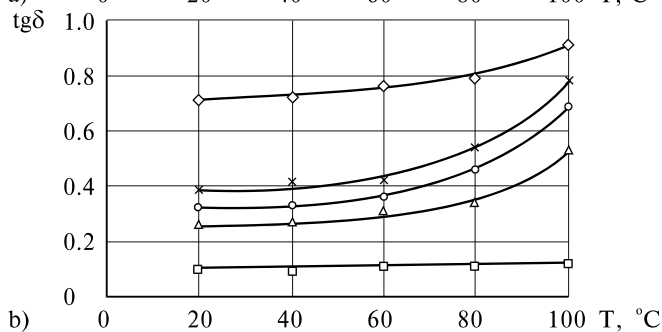
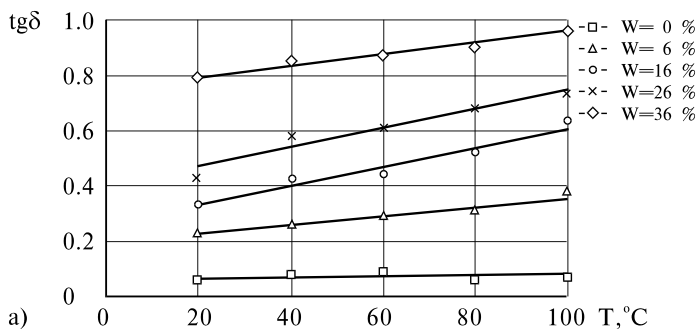


Fig.2.10 Interacțiunea dintre temperatura T și $\text{tg}\delta$ a ardeiului iute plasati în câmp electromagnetic de frecvența $f=27$ MHz: a) amestec de pericarp și semințe; b) pericarp; c) semințe.

La sporirea temperaturii, valoarea $e^{\frac{\beta}{T}}$ crește mai rapid decât T , din (2.7) este evident că cu creșterea temperaturii se mărește și $\text{tg}\delta$.

În același timp, cu mărirea temperaturii $\text{tg}\delta$ practic rămâne constantă pentru amestec și pericarpul de 0 % umiditate, iar pentru semințe crește ușor. Probabil, aceasta dependență justifică faptul că în produsul uscat se reduce considerabil numărul de molecule polarizate.

Ecuțiile matematice $\text{tg}\delta$ sunt prezentate în tabelul 2.4.

Tabelul 2.4

T, °C	Ecuțiile matematice ale lui $\text{tg}\delta$
Amestec	
0,0	$\text{tg}\delta = 0.76 + 2.0 \cdot 10^{-3}T$
6,0	$\text{tg}\delta = 0.19 + 2.9 \cdot 10^{-3}T$
16,0	$\text{tg}\delta = 0.31 + 5 \cdot 10^{-4}T$
26,0	$\text{tg}\delta = 0.28 + 0.007T$
36,0	$\text{tg}\delta = 0.06 + 10^{-4}T$
Pericarp	
0,0	$\text{tg}\delta = 0.09 + 3.0 \cdot 10^{-4}T$
6,0	$\text{tg}\delta = 0.17 + 3.0 \cdot 10^{-3}T$
16,0	$\text{tg}\delta = 0.41 - 0.006T$
26,0	$\text{tg}\delta = 0.48 - 0.007T$
36,0	$\text{tg}\delta = 0.64 + 3.1 \cdot 10^{-3}T$
Semințe	
0,0	$\text{tg}\delta = 0.016 + 8.33 \cdot 10^{-4}T$
6,0	$\text{tg}\delta = 0.15 + 3.1 \cdot 10^{-3}T$
16,0	$\text{tg}\delta = 0.31 - 7.50 \cdot 10^{-4}T$
26,0	$\text{tg}\delta = 0.40 - 0.001T$
36,0	$\text{tg}\delta = 0.74 + 1.7 \cdot 10^{-3}T$

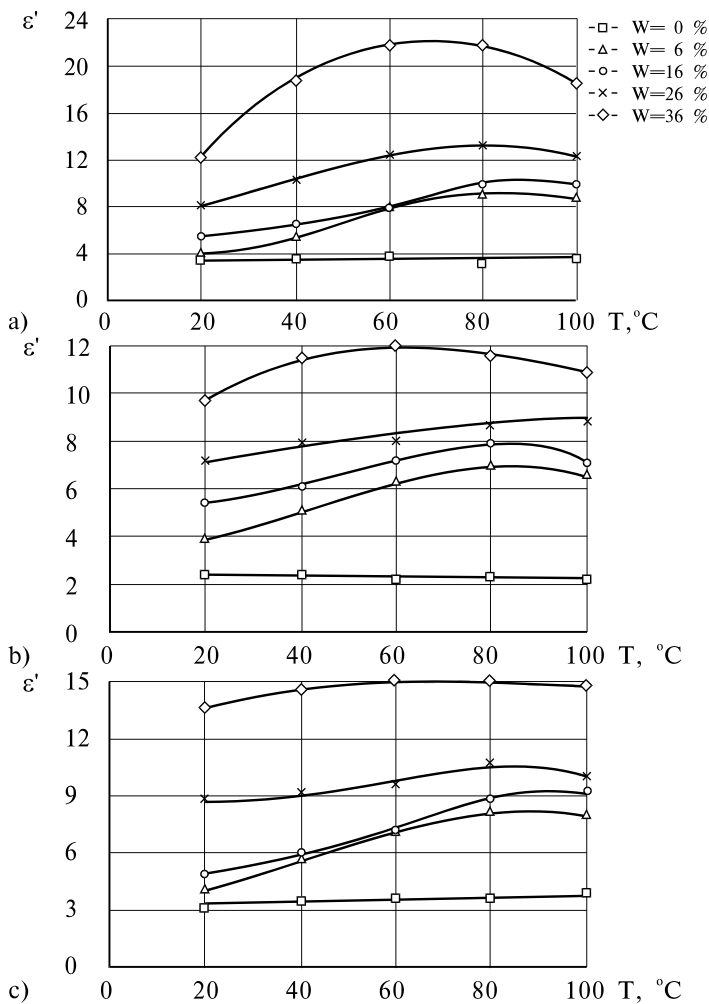


Fig.2.11 Influența temperaturii T asupra lui ϵ' a ardeiului iute plasat în câmp electromagnetic cu frecvența $f=27$ MHz: a) amestec de pericarp și semințe; b) pericarp; c) semințe.

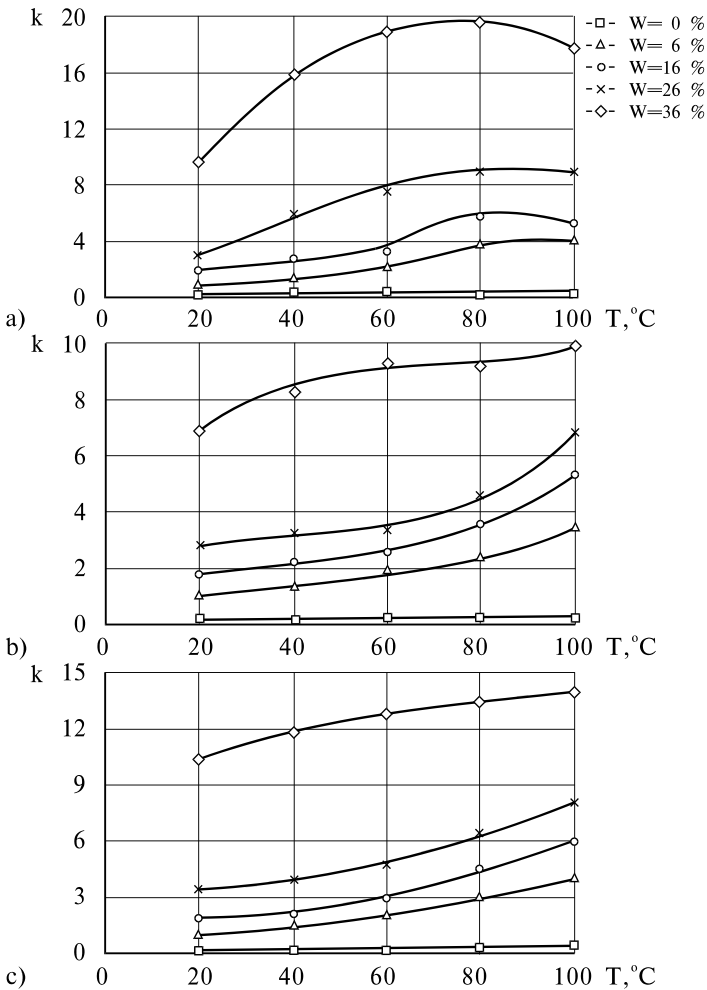


Fig.2.12 Influența temperaturii T asupra lui k a ardeiului iute plasat în câmp electromagnetic cu frecvența $f=27$ MHz: a) amestec de pericarp și semințe; b) pericarp; c) semințe.

În fig.2.11 (a, b, c) este prezentată influența temperaturii produsului asupra ε' pentru amestec, pericarp și semințe. Din grafice se observă, că pentru ardeiul iute și componentele lui de umiditatea 0 %, la mărirea temperaturii în intervalul 0 – 100 °C atât ε' cât și tg δ rămân practic constante. Astfel, pentru amestec valoarea lui ε' este de 3.5, iar pentru pericarp și semințe de 2.3 și 3.4 corespunzător.

Pentru probele cu umiditatea diferita de 0 %, după cum rezulta din grafice, se observa doua perioade: prima perioadă se află în intervalul temperaturilor 20 - 80 °C, iar a doua în intervalul 80 - 100 °C.

Valoarea maximă a lui ε' pentru toate probele corespunde temperaturii de 80 °C. Astfel, pentru amestec, pericarp și semințe cu umiditatea de 6 % valoarea maximă a constituit corespunzător 9.1, 7.0 și 8.0, iar pentru aceleași componente cu umiditatea de 36% - 29.8, 12.2 și 15.3.

Variația temperaturii schimbă esențial durata de relaxare a procesului de polarizare în dielectric. La temperaturi joase durata de relaxare este mare și procesul instalării polarizării nu dovedește să se finiseze într-o semiperioadă a tensiunii aplicate. Permitivitatea dielectrică relativă, în acest caz, este comparativ mica. La mărirea temperaturii, durata de relaxare se reduce, deci, procesul de instalare a polarizării poate fi atins mult mai rapid. Aceasta și condiționează creșterea lui ε' la mărirea temperaturii produsului.

Însă la temperaturi mari, când durata de relaxare este atât de mică, încât procesul de polarizare dovedește să se finiseze într-o semiperioadă a tensiunii aplicate, ε' începe sa scadă [132].

Ecuțiile matematice ale lui ε' pentru amestec, pericarp și semințe în funcție de temperatură sunt prezentate în tabelul 2.5.

Tabelul 2.5

T, °C	Ecuatiile matematice ale lui ε'
Amestec	
0,0	$\varepsilon' = 3.5$
6,0	$\varepsilon' = 0.03T - 10^{-3}T^2$
16,0	$\varepsilon' = 4.6 + 0.055T$
26,0	$\varepsilon' = 2.61 + 0.263T - 0.002T^2$
36,0	$\varepsilon' = 2.6 + 0.563x - 0.004x^2$
Pericarp	
0,0	$\varepsilon' = 2.3$
6,0	$\varepsilon' = 2.6 + 0.113T - 6.5T^2$
16,0	$\varepsilon' = 4.72 + 0.053T - 1.87 \cdot 10^{-4}T^2$
26,0	$\varepsilon' = 6.76 + 0.023T$
36,0	$\varepsilon' = 7.025 + 0.158x - 0.001x^2$
Semințe	
0,0	$\varepsilon' = 3.15 + 0.006T$
6,0	$\varepsilon' = 1.812 + 0.128T - 16.5 \cdot 10^{-4}T^2$
16,0	$\varepsilon' = 5.46 + 0.015T + 2.34 \cdot 10^{-4}T^2$
26,0	$\varepsilon' = 8.79 + 0.001T + 2.0 \cdot 10^{-4}T^2$
36,0	$\varepsilon' = 12.14 + 0.087T$

În figura 2.12 (a, b, c) este indicată influența temperaturii produsului asupra factorului de pierderi k . În intervalul de temperaturi de la 20 și până la 100 °C. Reieșind din grafice, putem conchide ca odată cu creșterea temperaturii produsului la 0 % umiditate k pentru ardeiul iute și componentele sale rămâne practic neschimbat, și crește în intervalul de umidități 6 - 36 %.

Ecuatiile matematice ale factorului de pierderi pentru ardei și componentele lui sunt prezentate în tabelul 2.6.

Tabelul 2.6

T, °C	Ecuțiile matematice ale lui κ
Amestec	
0,0	$k=0.22+1.1 \cdot 10^{-3}T$
6,0	$k=0.128+4.1 \cdot 10^{-2}T^2$
16,0	$k=2.82+0.054T+9.0 \cdot 10^{-4}T^2$
26,0	$k=2.85+0.006T+5.0 \cdot 10^{-4}T^2$
36,0	$k=1.864+0.441T-0.003T^2$
Pericarp	
0,0	$k=0.21+5.4 \cdot 10^{-4}T$
6,0	$k=0.03+3.2 \cdot 10^{-2}T$
16,0	$k=2.26+0.031T+6.0 \cdot 10^{-4}T^2$
26,0	$k=3.47+0.054T+8.76 \cdot 10^{-4}T^2$
36,0	$k=6.65+3.36 \cdot 10^{-2}T$
Semințe	
0,0	$k=0.14+3.2 \cdot 10^{-3}T$
6,0	$k=0.15+3.8 \cdot 10^{-2}T$
16,0	$k=1.93+0.018T+5.8 \cdot 10^{-4}T^2$
26,0	$k=3.6+0.023T+6.8 \cdot 10^{-4}T^2$
36,0	$k=9.8+4.4 \cdot 10^{-2}T$

3. STUDIUL CINETICII PROCESULUI DE USCARE AL ARDEIULUI IUTE

3.1. Descrierea instalației experimentale

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

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

Această instalație permite studierea cineticii procesului de uscare a ardeiului iute la aplicarea energiei termice prin convecție, prin utilizarea curenților de frecvență înaltă (UHF) și prin metoda combinată - prin convecție în câmp UHF.

Elementele principale 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 recirculare 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 probei.

Condensatorul coaxial 2 este compus din doi cilindri orientați coaxial. Pereții laterali ai cilindrilor, care servesc ca plăci a condensatorului, sunt confecționați din cupru perforat, iar fundul din teflon perforat de marca F4. Plăcile condensatorului se conectează la ghidul coaxial de unde astfel, ca placa interioară să fie conectată la fiderul de frecvență înaltă, iar placa exterioară este unită la pământ.

Pentru fixarea scăderii de masă condensatorul este suspendat de 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.

Proba de ardei iute se plasează între plăcile condensatorului coaxial, între care la punerea în funcțiune a generatorului apare un câmp electromagnetic de frecvență înaltă care provoacă încălzirea probei.

În cazul aplicării energiei pur prin convecție, agentul termic încălzit în caloriferul electric 4 este vehiculat de către ventilatorul 8 prin conducta de aer în camera de uscare 7. Astfel, condensatorul se află permanent într-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 proba se alimentează cu curenți de frecvență UHF. Evacuarea vaporilor formați la încălzire are loc datorită convecției naturale.

La încălzirea combinată – prin convecție și în câmp UHF, ambele procese se petrec concomitent.

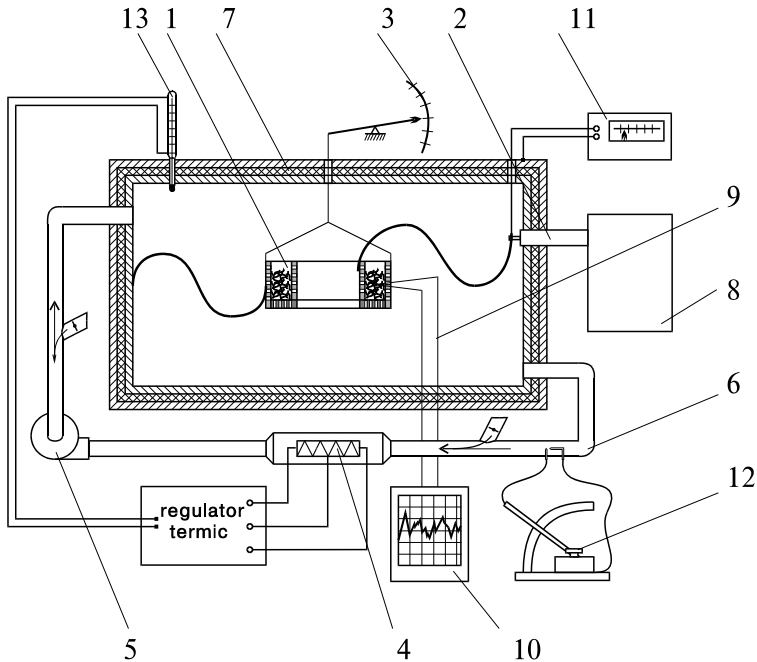


Fig.3.1. Instalația de laborator pentru cercetarea cineticii procedeeului de uscare a ardeului iute 1 - celulă de lucru; 2 - ghid coaxial de unde; 3 - balanță mecanică; 4 - calorifer electric; 5 - ventilator; 6 - conductă de aer; 7 - cameră de uscare; 8 - generator GD-6000; 9 - termocuplu; 10 - potențiometru electronic; 11 - voltmetru electrostatic; 12 - micromanometru; 13 - termometru.

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 6 % procesul de uscare a ardeiului iute se termină și proba uscată se scoate din condensator.

Conform surselor bibliografice [14, 34, 39, 147] există un șir întreg de bascule electronice cu înregistrare automată [64]. După părerea unor savanți [14, 34] utilizarea acestor bascule nu este indicată la încălzirea în câmp electromagnetic de frecvență înaltă din cauza apariției unor erori esențiale la măsurări influențate de câmpul electromagnetic.

În experiențele noastre, pentru a exclude erorile apărute în urma influenței câmpului electromagnetic, a fost folosită balanța mecanică de tip BHU - 2. Sensibilitatea lui fiind de 2 gr/div și precizia de ± 5 %.

Pe parcursul uscării balanța permitea măsurarea scăderii de masă în continuu. Înregistrarea scăderii de masă se efectuează o dată în 3 minute la uscarea prin convecție și peste fiecare minut la uscarea combinată.

Una din problemele care apar la uscarea în câmp electromagnetic de frecvență înaltă este măsurarea temperaturii probei supuse uscării. Metoda răspândită de măsurare a temperaturii cu termometrele cu lichid posedă un șir de dezavantaje, printre care și dificultatea posibilității de măsurare a temperaturii obiectelor mici, organizării înregistrării automate a datelor, etc. Precizia măsurării cu termometrele lichide în mare măsură este redusă din cauza distorsiunii câmpului electric în locurile instalării lor. Creșterea temperaturii probei sub influența distorsiunii câmpului electric în imediata vecinătate de țeava cilindrică, introdusă în material se determină prin expresia [14].

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

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

în care $\frac{dt}{d\tau}$ este viteza stabilită a încălzirii materialului, în °C/s.

Din ecuația 3.1. rezultă că căderile de temperatură, formate de către țevile cilindrice în urma distorsiunii câmpului electromagnetic în material sunt cu atât mai reduse, cu cât este mai mic diametrul țevii. Din acest punct de vedere termocuplurile au prioritate față de termometrele lichide. La diametrul firului de 0,1 mm scăderea de temperatură în jurul lui, apărută în urma distorsiunii câmpului electromagnetic și calculată după formula (3.1) constituie 10^{-6} °C, ceea ce practic poate fi neglijat. Ca avantaj al termocuplurilor față de termometrele cu lichid este și ceea, că ele sunt fără de inerție și asigură înregistrarea automată 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 observă în fig. 3.2., temperatura este egală cu:

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

în care σ' - valoarea conductivității specifice, în cm/m,

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

Din formula (3.2) rezultă, că când $\Delta\varphi = 0$ temperatura termocuplului este egală cu temperatura punctului termic al materialului pentru care el se determină. Mărirea lui $\Delta\varphi$ se exprimă prin potențialul punctului de instalare:

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

în care C_1 și C_2 sunt capacitățile condensatoarelor indicate în figura 3.2.

Creșterea suplimentară a temperaturii din cauza curenților capacitivi este egală cu [80]:

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

La intensitatea câmpului electric din material $E = 16500 \text{ V/m}$ potențialul termocuplului este de:

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

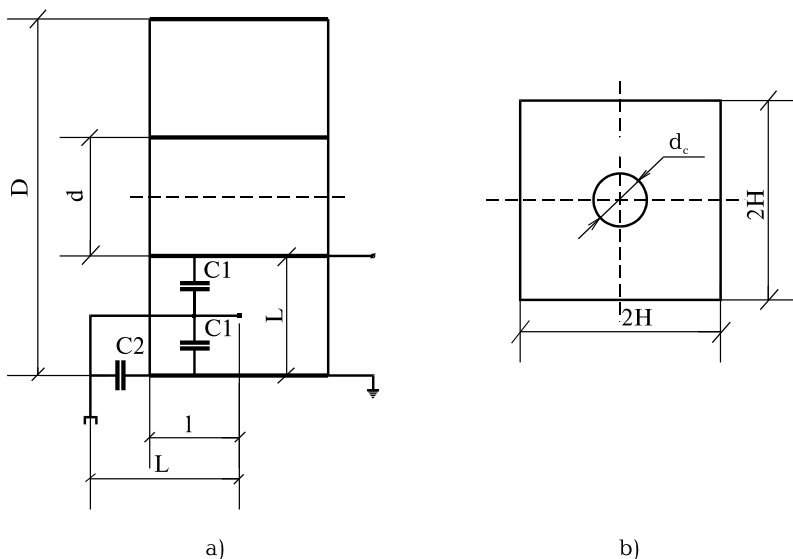


Fig. 3.2. Schema instalării termocuplului.

a) în condensatorul de măsurare;

b) în corp.

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeului iute.

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

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

în care a este 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 $2H$. Considerăm lungimea termocuplului care se află în gaură $l = 30 \text{ mm}$. În acest caz capacitatea electrică a termostatului în relație cu carcasa instalației va fi egală cu [50]:

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

în care ε'_a este permitivitatea dielectrică relativă a aerului.

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

Valoarea conductibilității specifice a ardeului se calculează după formula:

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

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

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

Din 3.4 obținem valoarea lui Δt 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 ecuația (3.3) reiese, că curenții capacitivi prin termocuplu pot fi micșorați prin scăderea capacității dintre termocuplu și carcasa instalației.

Lucrarea [14] ne indică, că curenții capacitivi ai termocuplului și precizia de măsurare a temperaturii se mărește în cazul folosirii termocupurilor simple.

În instalația noastră lungimea termocuplului (fig.3.2) n-a depășit 0.2 m . Scăderea curenților capacitivi se realizează și la instalarea termocupurilor perpendicular liniilor câmpului electromagnetic.

Din analiza prezentată urmează, că termocupurile pot fi folosite cu succes la măsurarea temperaturii în câmp electromagnetic de frecvență înaltă cu respectarea condițiilor descrise anterior. Ca prevedere de acest gen poate fi numită și măsurarea temperaturii numai la deconectarea curenților de frecvență înaltă ce ar exclude influența câmpului electromagnetice în aparatul secundar, și de asemenea conectarea termocuplului la aparat numai în lipsa câmpului electromagnetic

În probă se introducea un termocuplu Cromel-Copel 11 (fig.3.1) cu diametrul electrozilor termici de 0.1 mm . Indicațiile termocuplului au fost înregistrate cu potențiometrul electron 13 de tipul PHT-09M. Linia de măsurare a termocuplului a fost instalată într-un ecran unit la pământ. Lungimea capetelor

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

termocuplului situate în condiții izotermice în material a fost de 10-15 mm.

Temperatura aerului care alimentează camera de uscare a fost menținută cu ajutorul unui sistem de automatizare în două poziții.

Elementele de bază ale sistemului sunt termometrul cu contact 13 (fig.3.1), caloriferul electric 4 și releul electronic.

Toate experiențele au fost efectuate la o viteză a agentului termic constantă, care a fost determinată din condiția de antrenare minimă a particulelor de ardei iuți. Această viteză s-a fixat cu micromanometrul MMH 12 (fig.3.1).

Tensiunea curentului de frecvență înaltă U a plăcilor condensatorului de lucru s-a măsurat cu voltmetrul electrostatic 10 (fig.3.1) de tipul C-196, clasa de precizie 0.2.

În scopul reglării lente a tensiunii câmpului electromagnetic format între plăcile condensatorului în circuitul de alimentare cu energie electrică au fost instalate consecutiv două autotransformatoare de tipul PHT-220-12.

Intensitatea câmpului electromagnetic s-a determinat după formula:

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

în care U este tensiunea la plăcile condensatorului de lucru, în V;

D - diametrul interior al cilindrului exterior, în m;

d - diametrul exterior a cilindrului interior, în m.

3.1.1. Pregătirea ardeiului iute pentru experiențe și metodică îndeplinirii experiențelor

Pentru experiențe a fost utilizat ardei iute de specia **“Capsicum annum L-33/5”** cultivat în colhozul “Patria” r-l Ungheni.

După curățire de impurități, ardeiul iute a fost tăiat în bucăți dreptunghiulare cu laturile 7x7 mm. Grosimea dreptunghiurilor a fost determinată de natura fructului proaspăt.

Pentru ca proba de ardei destinată uscării să posede o umiditate constantă pe întregul volum, el s-a păstrat în decurs de o săptămână într-un vas din sticlă. Capacul vasului se închidea ermetic, iar marginile au fost prelucrate cu parafină. După expirarea timpului de păstrare, prin sondaj, din patru puncte a volumului s-au ales probe pentru determinarea umidității inițiale. Umiditatea a fost determinată prin metoda uscării până la o masă constantă. Conform valorilor umidității diferitor puncte a volumului probei, prin mediere, s-a determinat umiditatea medie a masei totale de ardei.

Ardeiul iute prelucrat în așa mod a fost supus procesului de uscare. În condensatorul coaxial, cântărit preventiv, se încărca o porțiune de 200 g de ardei iute. Acest condensator umplut cu ardei 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 – prin convecție și în câmp electromagnetic de frecvență înaltă alimentarea cu agent termic se petrecea concomitent cu alimentarea cu energie UHF.

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

Procesul de uscare se considera terminat atunci, când conținutul de umiditate din probă atinge valoarea de 6 %. Masa finală a probei uscate a fost determinată din timp după formula [64]:

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

în care M_1 este masa inițială a probei ardei iute, în kg;

M_2 - masa finală a probei de ardei iute, în kg;

W_1 - umiditatea inițială a probei de ardei iute, în %;

W_2 - umiditatea finală a probei de ardei iute, în %.

Astfel, procesul de uscare se termina atunci, când masa probei devenea egală cu M_2 .

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 punctelor obținute la derivarea funcției tabulare după formula [14, 34]:

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

în care $\frac{dU}{d\tau}(U_0)$ este 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 prin convecție pură intervalul de timp dintre fixări a indicilor mășurați a fost de 3 min., iar la uscarea combinată – prin convecție 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, 50]:

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

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

3.2. Uscarea prin convecție a ardeiului iute

În procesul de uscare a fost ales amestecul din pericarp și semințe de ardei în proporții întâlnite în natură. Ardeiul a fost supus uscării în condițiile unui strat compact.

Ca agent termic la uscarea ardeiului s-a utilizat aerul fierbinte. În toate experiențele viteza agentului termic se menținea 1.1 m/s.

În fig.3.3. sunt prezentate curbele uscării $W = f(\tau)$ a ardeiului iute la aplicarea căldurii prin convecție. Temperatura agentului termic parcurgea valorile de 60, 70, 80, 90 și 100 °C. Din grafice se vede, că durata procesului de uscare a ardeiului depinde într-o mare măsură de temperatura agentului termic. Astfel, la temperatura agentului termic 60 °C uscarea de la umiditatea inițială de 78 % până la cea finală - 6 % a durat 275 min, însă începând cu temperaturile 70, 80, 90 și 100 °C procesul de uscare decurgea corespunzător în 198, 155, 135 și 118 min. De aici rezultă, că durata procesului de uscare a ardeiului iute scade considerabil cu creșterea temperaturii agentului termic.

Analiza curbelor vitezei de uscare a ardeiului iute (fig.3.4) demonstrează, că la uscarea prin convecție, se adevăresc noțiunile practice și teoretice existente în ce privește mecanismul transferului de masă în procesele de uscare. Ca și în sursele citate se evidențiază două perioade: perioada vitezei constante de uscare și a celei variabile. Perioada vitezei constante de uscare a ardeiului iute este de 40 % din durata totală a procesului, iar perioada descreșterii vitezei - aproximativ 50 %. Acest raport dintre perioade ne demonstrează faptul că în ardeiul iute predomină fracția de apă liberă.

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

Mărirea temperaturii agentului termic este însoțită cu creșterea valorii maxime a vitezei de uscare. Astfel, la temperatura agentului termic 60 °C viteza maximă de uscare a constituit 0.31 %/min., iar la temperaturile 70, 80, 90 și 100 °C respectiv 0.43, 0.53, 0.62 și 0.75 %/mm.

Din fig.3.4, se observă, că pe seama sporirii temperaturii agentului termic primul punct critic W_{kr1} se deplasează în dreapta și anume: la temperatura agentului termic 60 °C W_{kr1} corespunde umidității de 28 %, iar la temperaturile 70, 80, 90 și 100 °C respectiv 32, 33, 40 și 42 %.

Caracterul general al curbelor vitezei de uscare în scădere pentru diferite temperaturi ale agentului termic puțin se deosebește.

La temperaturi înalte ale agentului termic, 90 și 100 °C, în această perioadă scăderea vitezei de evacuare a umidității din ardeiul iute are caracterul exponențial, cu convexitatea curbelor în sensul axei ordonatelor. O așa variație a vitezei de uscare se observă până la umiditatea finală de 6 %.

Pentru temperaturi mai reduse ale agentului termic pe toate curbele vitezei de uscare în scădere se observă un punct de inflexiune care coincide cu al doilea punct critic W_{c2} . La temperaturile agentului termic 60, 70 și 80 °C el corespunde valorilor 20, 21 și 23 % umiditate. Acestui punct critic și îi datorată divizarea perioadei vitezei de uscare în scădere în două sectoare. În ambele sectoare convexitatea curbelor vitezei de uscare este îndreptată în sensul axei ordonatelor. Conform clasificării academicianului A. V. Likov, aceste curbe se referă la curbele vitezei de uscare de tipul 5.

Alura curbelor vitezei de uscare, după cum se știe, depinde în mare măsură de structura internă a materialului [90, 136, 138, 52]. Pentru materiale cu structură similară, caracterul de interacțiune a apei cu materialul rămâne același, ce și demonstrează caracterul asemănător a curbelor vitezei de uscare. Divergența însă dintre caracterele curbelor în funcție de temperatura agentului termic pentru ardeiul iute poate fi explicată prin faptul, că la temperaturi relativ mici cota cea mai mare de energie, necesare pentru deshidratare, este superioară energiei de interacțiune a umidității de absorbție. La temperaturi ce depășesc 90 °C, partea predominantă a energiei aplicate se utilizează la vaporizare și numai restul îi revine energiei de interacțiune a apei, ceea ce și se observă mai puțin la caracterul curbelor vitezei de uscare.

Caracterul variației temperaturii ardeiului iute pe parcursul uscării este reprezentat în fig.3.5.

La etapa inițială temperatura materialului crește până atinge valoarea temperaturii termometrului umed și în continuare rămâne constantă pe tot parcursul primei perioade a procesului de uscare. Astfel, curbele variației temperaturii ardeiului iute pot fi divizate în două perioade: perioada ce corespunde duratei de încălzire a materialului până la o temperatură aproape egală de cea a agentului termic, și perioada menținerii temperaturii constante. La temperatura agentului termic de 60 °C prima perioadă constituie 73 % și a doua restul, adică de 27 %. Pentru temperaturile agentului termic 70, 80, 90 și 100 °C prima perioadă constituie respectiv 74, 75, 78 și 87 %.

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

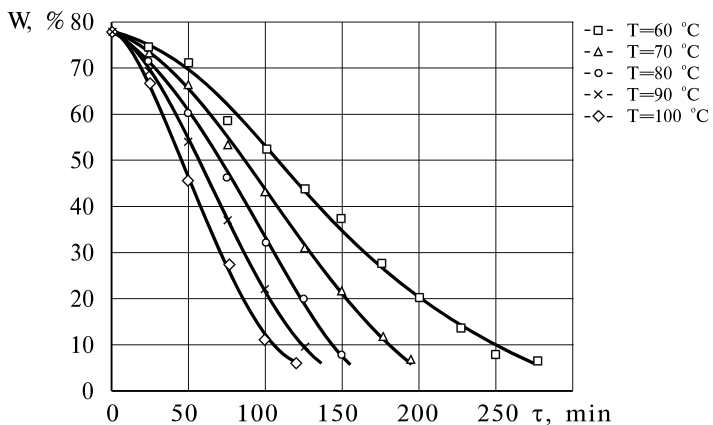


Fig.3.3 Curbele de uscare prin convecție a ardeiului iute.

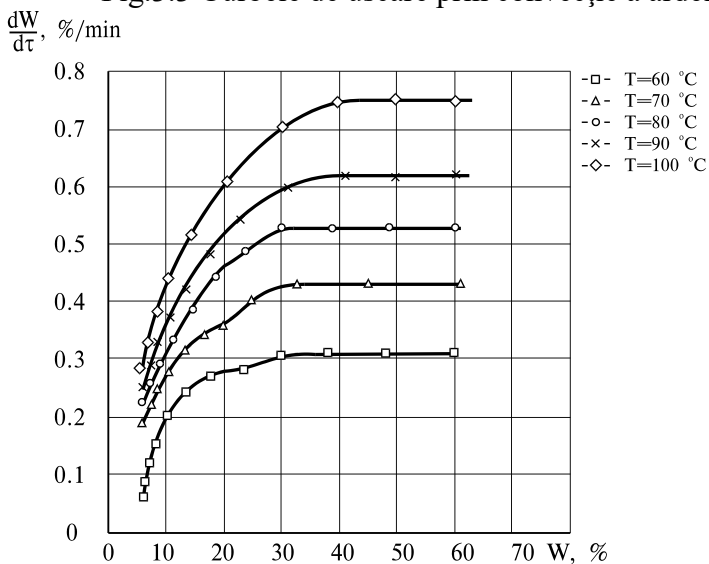


Fig.3.4 Curbele de viteză a uscării prin convecție a ardeiului iute.

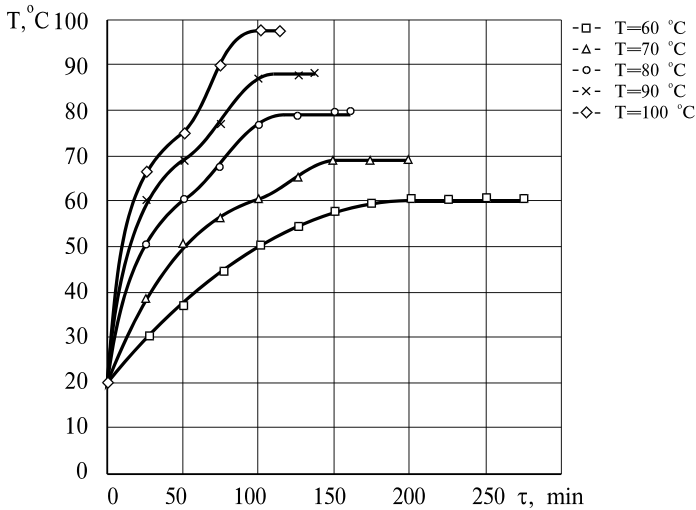


Fig.3.5 Curbele de temperatură a ardeiului iute la uscarea prin convecție.

După cum se observă, raportul dintre durata perioadei a doua și a celei întâi cu creșterea temperaturii scade.

Pe unele porțiuni a curbelor în perioada de încălzire, se observă un punct de inflexiune (fig.3.5) la temperaturile 60 – 70 °C. Aceasta, după părerea noastră, se datorează faptului, că la temperaturile date are loc o evaporare pronunțată a umidității din product, ceea ce în oarecare măsură sporește viteza de încălzite.

Așadar, după cum se observă din grafice, uscarea ardeiului iute prin convecție este îndelungată și intensificarea acestui proces necesită o mărire esențială a temperaturii.

3.3. Uscarea combinată a ardeiului iute – prin convecție și cu curenți de frecvență înaltă.

Cercetările anterioare, descrise în capitolul 2, au demonstrat, că metodele de uscare tradiționale sunt raționale din punct de vedere economic la uscarea ardeiului iute până la 36 % umiditate. Cu acest scop și a fost folosită metoda prin convecție ca relativ cea mai ieftină și simplă. Uscarea în continuare, adică de la umiditatea 36 %, se poate realiza și la aplicarea metodele electrofizice. Cercetările parametrilor electrofizici ai ardeiului iute ne-au dat posibilitatea să fundamentăm atât alegerea pentru procesul de uscare în câmp electromagnetic de frecvență înaltă anume generatorul cu frecvența de lucru 27 MHz cât și constatarea că uscarea amestecului din semințe de ardei și pericarp este mai convenabilă decât aparte.

Așadar, amestecul la început era supus uscării prin convecție, până la atingerea umidității de 36 % în continuare se implica uscarea UHF.

Dat fiind faptul că metoda de uscare prin convecție a ardeiului iute a fost descrisă anterior, vom lua în considerație evacuarea umidității din product numai la aplicarea metodei combinate de uscare - de la 36 % până la 6 %.

Rezultatele cineticii procesului de uscare combinată a ardeiului iute sunt prezentate în figurile 3.6 - 3.20.

După cum se observă din grafice, procesul de uscare se intensifică esențial la aplicarea câmpului electromagnetic de frecvență înaltă în combinație cu procedeul prin convecție.

Uscarea combinată, permite de a reduce durata procesului de uscare la diferite temperaturi a agentului termic măbind intensitatea câmpului electric. Astfel, pentru temperatura agentului termic 60 °C și intensitatea câmpului

electric $8.5 \cdot 10^3$ V/m (fig.3.8) durata procesului de uscare de la 36 % până la 6 % umiditate a constituit 56 min., dar la intensitatea câmpului de $16.5 \cdot 10^3$ V/m și aceeași temperatură a agentului termic durata s-a redus până la 37 min., adică o micșorare a duratei de uscare de 1.5 ori.

Comparând durata procesului de uscare la valorile minime ale temperaturii agentului termic $T = 60$ °C și intensității câmpului electric respectiv $E = 8.5 \cdot 10^3$ V/m și valorile maxime ai acelorași parametri respectiv $T = 100$ °C și $E = 16.5 \cdot 10^3$), observăm, că procesul de deshidratare a ardeiului iute de la 36 % până la 6 % umiditate s-a micșorat de 3.2 ori, iar procesul total de uscare (de la 78 % până la 6 %) - respectiv de 2,6 ori.

Intensificarea ca atare a procedurii de uscare a produselor în câmpuri cu curenți de frecvență înaltă a fost afirmată în multe surse, dintre care sunt [45, 73, 81, 85, 123, 128, 136].

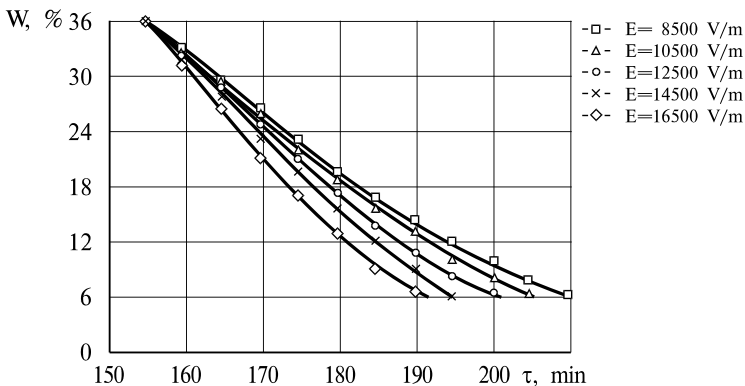


Fig.3.6 Curbele de uscare ale ardeiului iute la aplicarea metodei combinate – prin convecție și UHF. $f=27$ MHz, $T=60$ °C.

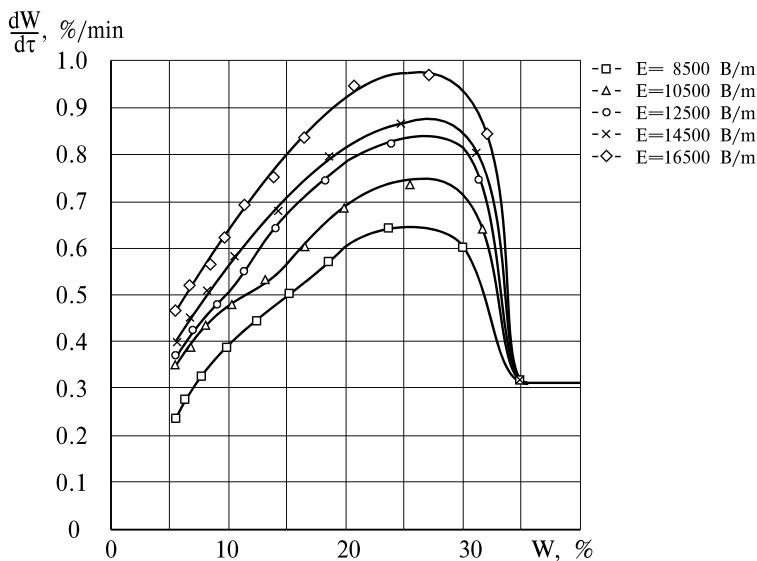


Fig.3.7 Curbele vitezei de uscare ale ardeiului iute la aplicarea metodei combinate – prin convecție și UHF. $f=27$ MHz, $T=60$ °C.

Reducerea duratei procesului de uscare a ardeiului iute cu mărirea intensității câmpului electric este însoțită și cu o degajare mai intensivă a căldurii într-o unitate de volum ș79î.

Craficele, ne arată că în cazul aplicării câmpului electromagnetic de frecvență înaltă, perioada vitezei constante de uscare practic dispare, iar procesul de uscare are loc, în genere în perioada vitezei în scădere.

A.S.Ghinzburg și A.V.Likov ș27, 79î menționează, că acest fenomen este caracteristic proceselor de uscare intensive, ceia ce este posibil și la aplicarea câmpurilor de frecvență înaltă.

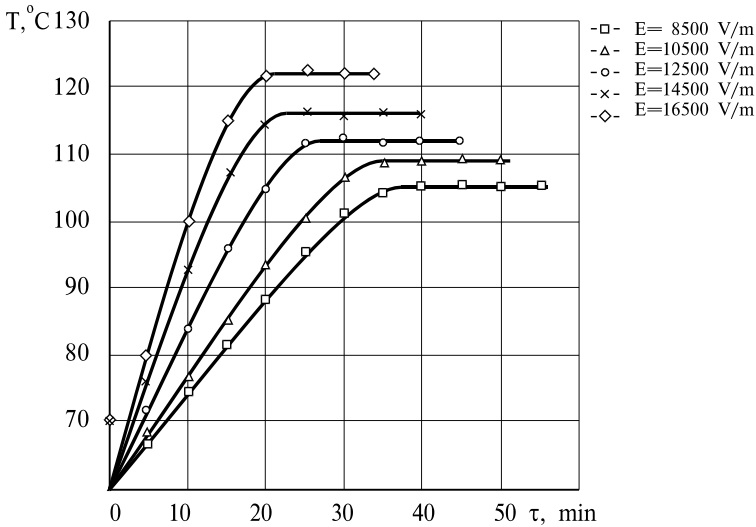


Fig.3.8 Curbele temperaturii ale ardeiului iute la aplicarea metodei combinate – prin convecție și UHF. $F=27$ MHz, $T=60$ °C.

Viteza procesului de uscare a ardeiului iute la utilizarea metodei combinate – prin convecție și UHF crește intensiv pe parcursul încălzirii materialului și la atingerea valorii sale maxime începe să scadă.

Datorită apariției efectelor de polarizare, încălzirea dielectricilor și a semiconductoarelor cu curenți de frecvență înaltă se efectuează uniform în tot volumul.

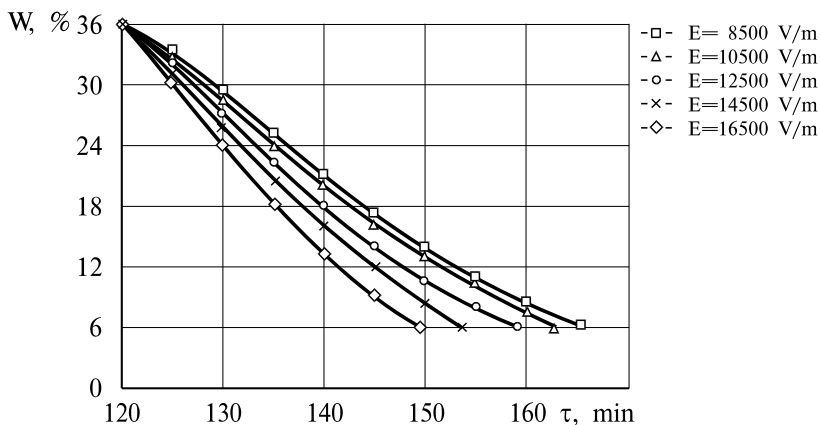


Fig.3.9 Curbele de uscare ale ardeiului iute la aplicarea metodei combinate – prin convecție și UHF. $f=27$ MHz, $T=70$ °C.

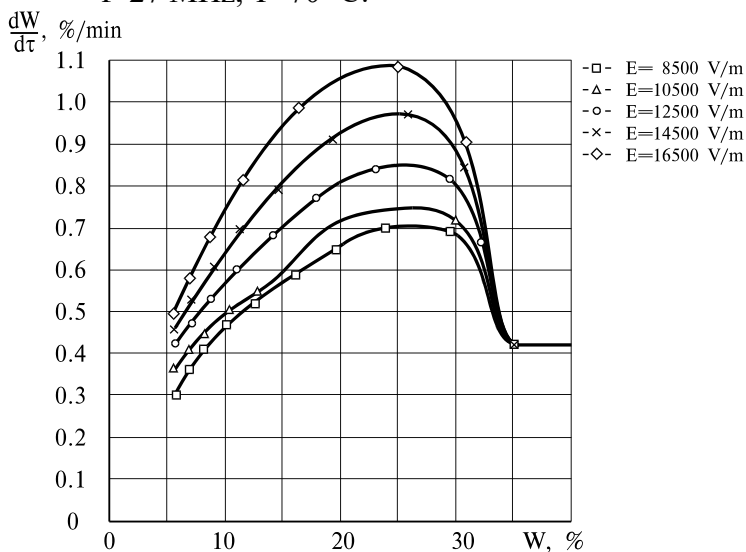


Fig.3.10 Curbele vitezei de uscare ale ardeiului iute la aplicarea metodei combinate – prin convecție și UHF. $f=27$ MHz, $T=70$ °C.

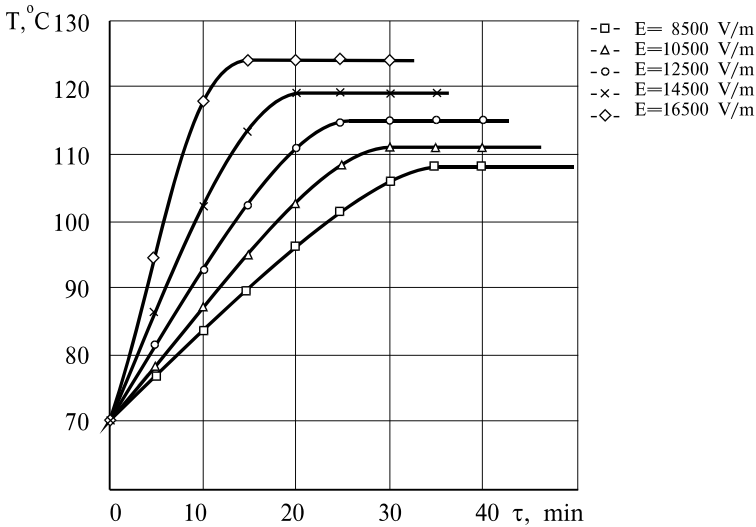


Fig.3.11 Curbele temperaturii ale ardeiului iute la aplicarea metodei combinate – prin convecție și UHF. $f=27$ MHz, $T=70$ °C.

După cum observăm, la temperatura agentului termic 60 °C și intensitatea câmpului electromagnetic $8.5 \cdot 10^3$ V/m duratele de creștere a vitezei de uscare și a vitezei în creștere a constituit 14 min și respectiv 42 min, iar la $E = 16 \cdot 10^3$ V/m și aceeași temperatură a agentului respectiv 8.5 și 28.5 min (fig.3.6 și 3.7).

Cu mărirea temperaturii agentului termic cadența încălzirii materialului nu depinde de intensitatea câmpului electric. Aceasta este caracteristic pentru fluxurile de căldură de intensitate înaltă. Din fig.3.18 și 3.19 se vede, că durata de încălzire a materialului până la viteza maximă la temperatura agentului termic 100 °C și pentru toate intensitățile câmpului electric este una și aceeași și constituie aproximativ 8 min.

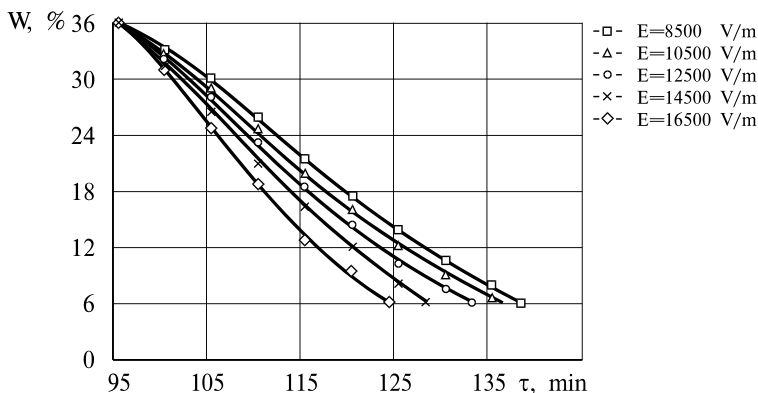


Fig.3.12 Curbele de uscare ale ardeiului iute la aplicarea metodei combinate – prin convecție și UHF. $F=27$ MHz, $T=80$ °C.

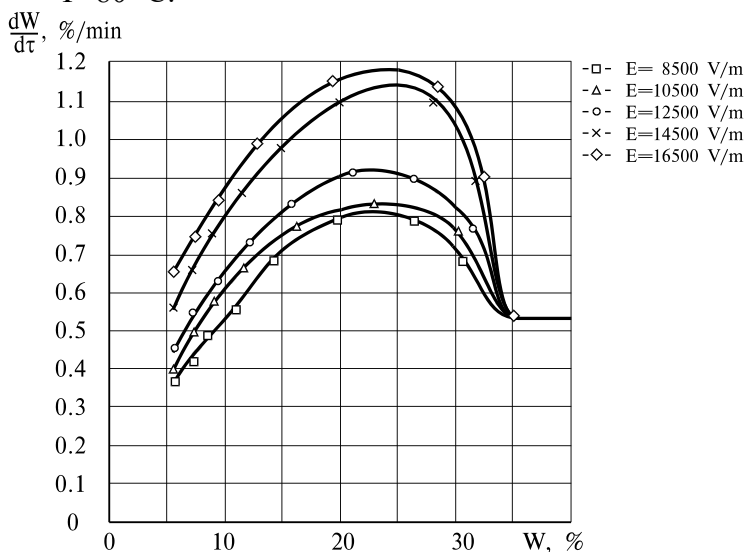


Fig.3.13 Curbele vitezei de uscare ale ardeiului iute la aplicarea metodei combinate – prin convecție și UHF. $F=27$ MHz, $T=80$ °C.

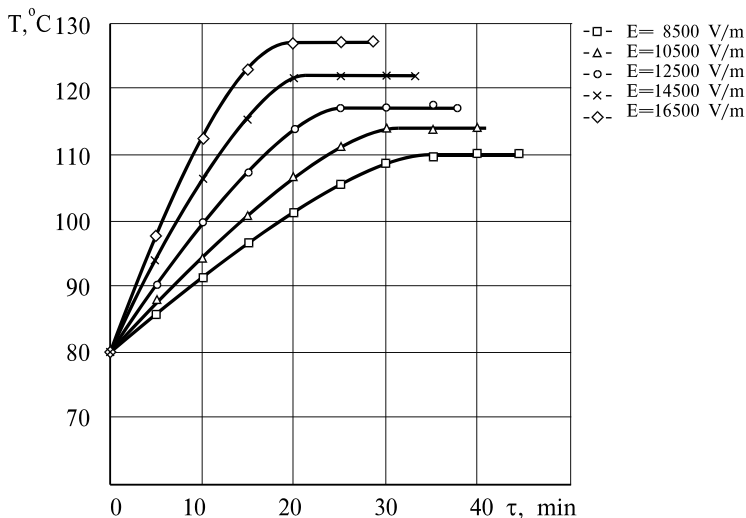


Fig.3.14 Curbele temperaturii ale ardeiului iute la aplicarea metodei combinate – prin convecție și UHF. $f=27$ MHz, $T=80$ °C.

Analiza curbelor vitezei de uscare (fig.3.7, 3.10, 3.13, 3.16) ne indică, că odată cu mărirea temperaturii agentului termic, pentru una și aceeași intensitate a câmpului electromagnetic, valoarea vitezei maxime de uscare crește. Astfel, la temperatura agentului termic 60 °C (fig.3.7) și intensitatea $E=8.5 \cdot 10^3$ V/m viteza maximă de uscare a constituit 0.65 %/min, iar la temperatura de 100 °C și aceeași intensitate a câmpului electromagnetic - 1.1 %/min, adică viteza de uscare a crescut de 1.7. În același mod se comportă și viteza de uscare a ardeiului iute la creșterea intensității câmpului electromagnetic în cazul când temperatura agentului termic se menține constantă. Astfel, pentru intensitatea câmpului electromagnetic $E=8.5 \cdot 10^3$ V/m și temperatura agentului termic 60 °C viteza maximă a constituit 0.65 %/min, iar la intensitatea de

$16.5 \cdot 10^3$ V/m și aceeași temperatură a agentului termic - 0,96 %/min, ceea ce înseamnă o creștere a vitezei de uscare de 1.5 ori.

După cum observăm, convexitatea curbelor uscării combinate a ardeiului iute, în perioada de descreștere este îndreptată spre axa ordonatelor și apoi, trecând al doilea punct culminant, spre axa absciselor.

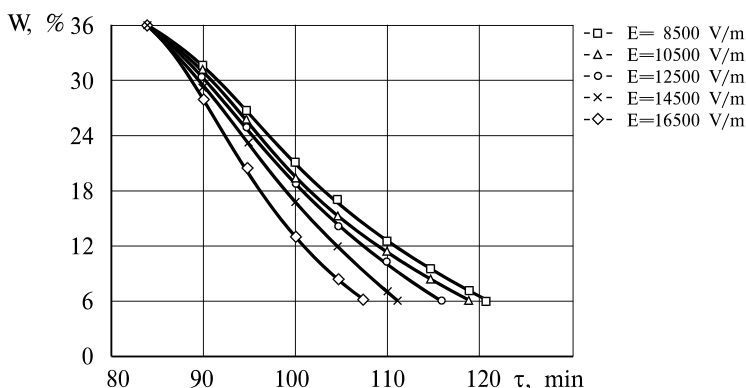


Fig.3.15 Curbele de uscare ale ardeiului iute la aplicarea metodei combinate – prin convecție și UHF. $f=27$ MHz, $T=90$ °C.

Poziția primului punct culminant pe curba vitezei de uscare, după, cum ne-au demonstrat cercetările, nu depinde de mărimea intensității câmpului electric și ca regulă corespunde 24 % umiditate.

Conform rezultatelor [73, 79, 96, 129] și a caracterului curbelor vitezei de uscare (fig. 3.4, 3.7, 3.10, 3.13, 3.16 și 3.19) se poate de considerat, că ardeiului iute îi sunt caracteristice legăturile dintre umiditate și material atât mecanice cât și chimice.

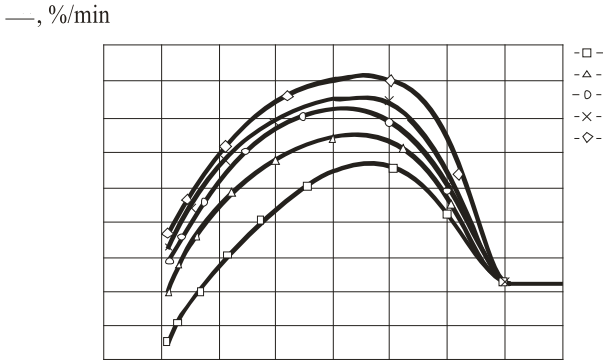


Fig.3.16 Curbele vitezei de uscare ale ardeiului iute la aplicarea metodei combinate – prin convecție și UHF. $f=27$ MHz, $T=90$ °C.

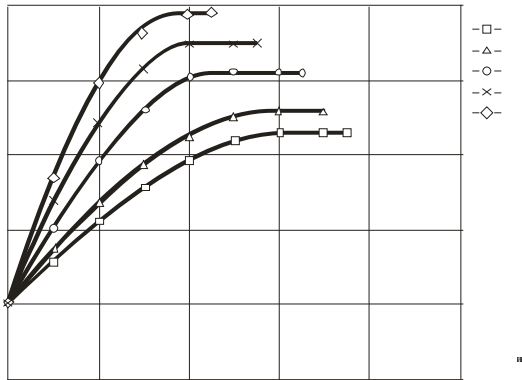


Fig.3.17 Curbele temperaturii ale ardeiului iute la aplicarea metodei combinate – prin convecție și UHF. $f=27$ MHz, $T=90$ °C.

Din fig.3.8, 3.11, 3.14 și 3.20 se observă, că la expunerea materialului unui câmp de frecvență înaltă temperatura corpului crește în continuu și cu sporirea intensității câmpului electric se mărește panta curbei.

În întreaga perioadă a creșterii vitezei de uscare nu se observă sectoare cu temperatura constantă a produsului. Așa caracter al curbelor ne arată, că în cazul aplicării căldurii prin procedee intensive, puterea sursei interne este mai mare față de puterea necesară evaporării umidității de pe suprafața ardeiului [27, 81].

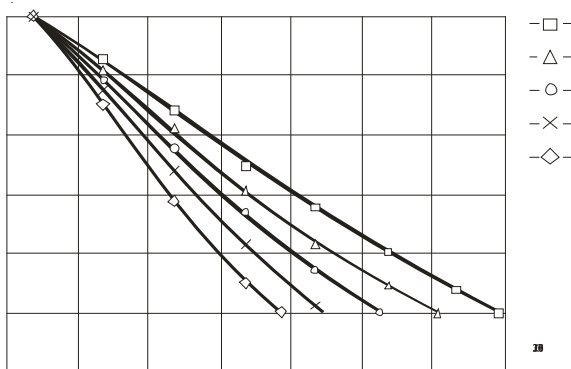


Fig.3.18 Curbele de uscare ale ardeiului iute la aplicarea metodei combinate – prin convecție și UHF. $f=27$ MHz, $T=100$ °C.

Valoarea maximă a intensității câmpului electromagnetic în experiențele noastre a fost de $16.5 \cdot 10^3$ V/m. La mărirea în continuare a intensității câmpului procesul devenea nestabil, produsul se ardea și apărea străpungerea electrică.

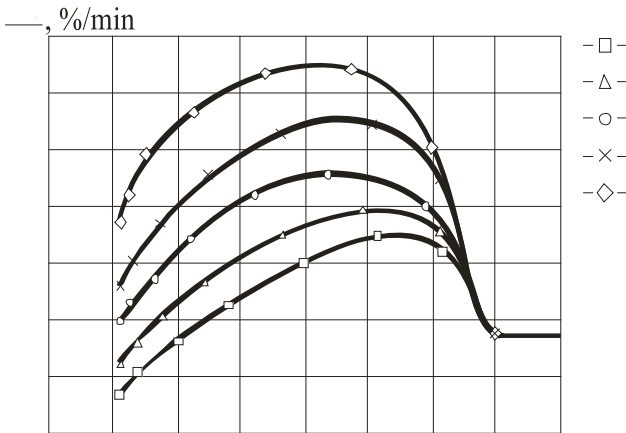


Fig.3.19 Curbele vitezei de uscare ale ardeiului iute la aplicarea metodei combinate – prin convecție și UHF. $f=27$ MHz, $T=100$ °C.

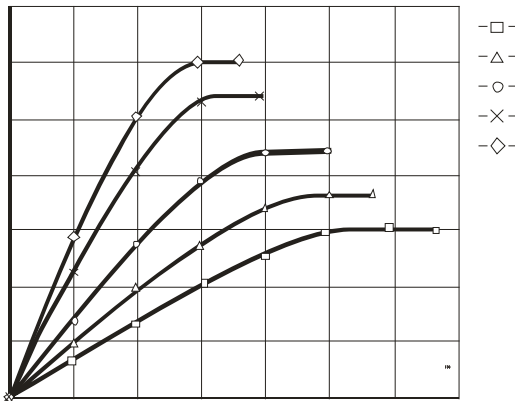


Fig.3.20 Curbele temperaturii ale ardeiului iute la aplicarea metodei combinate – prin convecție și UHF. $f=27$ MHz, $T=100$ °C.

3.4. Compararea metodelor de uscare a ardeiului iute.

Rezultatele cercetărilor cu utilizarea metodelor de uscare a ardeiului iute prin convecție (fig.3.3 - 3.5) și a celui combinat – prin convecție în câmp electromagnetic UHF, ne demonstrează, că ardeiul iute este un product organic compus. Pe parcursul procesului tratamentului termic al ardeiului iute are loc reducerea masei nu numai datorită eliminării umidității (fapt caracteristic pentru majoritatea materialelor umede), dar și din cauza modificărilor biochimice ce se petrec în ardei la temperaturi înalte. De aceea, procedeul de uscare pentru astfel de produse, cum este ardeiul iute, necesită o argumentare din punct de vedere al acestor particularități.

Cercetările cineticii procesului de uscare a ardeiului iute au demonstrat, că durata procesului de uscare prin convecție este mai îndelungată.

Astfel, durata procesului de uscare prin convecție la temperatura agentului termic $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ a constituit 275 min (fig.3.3), iar procesul combinat - convecția și curenți de frecvență înaltă la aceeași temperatură a agentului termic și la intensitatea câmpului electromagnetic $E = 16.5 \cdot 10^3\text{ V/m}$, de numai 187 min (fig.3.7). Astfel, durata procesului de uscare a ardeiului iute s-a redus mai mult de 1.5 ori.

O intensificare esențială a procesului de uscare comparativ cu cea prin convecție se observă și la intensitatea minimală a câmpului electromagnetic obținută în experiențele noastre.

În așa mod, la temperatura agentului termic $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ și intensitatea câmpului electromagnetic minimală $E = 8.5 \cdot 10^3\text{ V/m}$ durata de uscare a fost de 275 min, ceea ce a redus timpul de uscare în comparație cu metoda prin convecție de 1.3 ori.

Același lucru se observă și pentru temperaturile mai înalte ale agentului termic. La uscarea prin convecție cu temperatura maximă a agentului termic $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ durata procedurii de uscare este de 110 min, iar la aplicarea metodei combinate de uscare cu aceeași temperatură a agentului termic și cu intensitatea câmpului electric maximală de $E=16.5\cdot 10^3\text{ V/m}$, (fig.3.7) durata procedurii de uscare constituie numai 77 min. În așa mod s-a obținut o intensificare a procesului de 1.4 ori. În comparație cu parametrii minimali ai regimului de uscare, acest proces posedă o intensificare mai mare de 3 ori.

Aplicarea diferitor metode de uscare influențează esențial și caracterul de parcurgere a procesului. Astfel, la aplicarea convectivă a energiei termice, curbele vitezei de uscare posedă două perioade - perioada vitezei constante și perioada vitezei în scădere. La uscarea combinată - convectivă în câmp electromagnetic de frecvență înaltă perioada vitezei de uscare constante practic lipsește.

Pe lângă aceasta, la uscarea prin convecție cu temperaturi ale agentului termic relativ scăzute (60, 70 $^{\circ}\text{C}$), perioada vitezei în scădere posedă un punct culminant. În procesul uscării combinate, odată cu mărirea temperaturii agentului termic acest fenomen dispare. Disparația punctului culminant se lămurește, probabil, prin structura complexă a ardeiului iute.

Întregul proces de uscare, în acest caz, se efectuează în perioada vitezei de uscare în scădere. Aceasta ne arată, că la utilizarea metodelor intensive de uscare a ardeiului iute, cum este uscarea cu curenți de frecvență înaltă, intensitatea procesului este atât de mare, încât devierile biochimice, care contribuie la eliminarea masei, nu influențează esențial caracterul curbei de uscare.

La aplicarea căldurii prin convecție (fig.3.4), creșterea temperaturii agentului termic provoacă mărirea vitezei procesului de uscare de la 0.31 %/min până la 0.75 %/min, iar la aplicarea energiei prin metoda combinată, intensitatea deshidratării ardeiului iute se mărește atât la creșterea temperaturii agentului termic, cât și la sporirea intensității câmpului electric. Astfel, la $T=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ și $E=8.5\cdot 10^3\text{ V/m}$ viteza de uscare a constituit 0.65 %/min iar la $T=100\text{ }^{\circ}\text{C}$ și $E=8.5\cdot 10^3\text{ V/m}$ ea a crescut până la 1.7 %/min, adică a avansat de 2,6 ori.

La aplicarea metodelor intensive de uscare, durata de încălzire a produsului se reduce. Cea mai intensivă încălzire se observă la aplicarea energiei termice prin metoda combinată. Astfel, dacă prin metoda pur convectivă la temperatura agentului termic de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ pentru crearea echilibrului de temperatură dintre agentul termic și produs era necesar de 200 min, apoi la aplicarea curenților de frecvență înaltă durata acestei etape de încălzire s-a redus până la 15 min.

Din cercetările menționate rezultă, că pentru uscarea ardeiului iute este rațional de utilizat procedeul combinat de uscare – prin convecție și în câmp electromagnetic de frecvență înaltă. Acest procedeu se efectuează în două etape. La prima etapă, până la umiditatea de 36 %, este indicată aplicarea energiei termice numai prin convecție, la etapa a doua, până la umiditatea finală de 6 % - prin convecție și în combinație cu curenții de frecvență înaltă.

3.5. Influența diferitor procedee de uscare la calitatea ardeiului iute.

Pentru evaluarea uneia sau alteia din metodele de tratament termic pentru asigurarea procesului de uscare, o importanță absolută au indicii calitativi ai produsului final.

Avantajoase se consideră acele metode de uscare, care pe lângă un efect economic considerabil se obține și o calitate înaltă a produsului final.

În procesul prelucrării termice a ardeiului, odată cu eliminarea umidității au loc și un șir de modificări biochimice, care și determină indicii calitativi ai ardeiului iute după uscare. Aceste modificări depind în mare măsură de temperatura materialului supus uscării și de durata de acțiune a căldurii.

Elementele de bază ce determină indicii calitativi ai ardeiului iute sunt: alcaloida capsaicină, vitamina C și β -carotina.

Reieșind din importanța acestor elemente, calitatea ardeiului iute uscat prin metodele relatate anticipat a fost determinată anume pentru ele.

Cum s-a menționat, componenta de bază ce determină iuțeala fructului de ardei iute este capsaicina (*Capsicum*).

Anume capsaicina și a determinat direcția de utilizare medico-biologică a ardeiului iute.

În literatură [8, 37, 38, 43, 44, 52], sunt cunoscute diferite metode cantitative de determinare a capsaicinei: organoleptică, colorimetrică [8], spectrofotometrică [44], cromatografică [43, 52].

În practica selecției aprecierea gradului de iuțea se efectuează organoleptic: pentru ardeiul dulce conform STAS 13908-89, pentru ardeiul iute conform STAS 14260-89. Însă probarea la gust este subiectivă și nu corespunde exactității reale.

Rezultate mai corecte sunt obținute prin metodele chimice, cromografică și gazolichidă.

O metodă comodă și rapidă în condițiile de producere industrială este cea spectrofotometria [37, 38, 43], care a și fost folosită la determinarea cantității de capsaicină în probele noastre.

Ardeiul este bogat în vitamina C și de aceea este important de a păstra acest component de valoare în produsul uscat. Conținutul vitaminei C în probele de ardei iute uscat prin diferite procedee a fost determinat după metoda lui Murri [1].

Unul din indicii calitativi de bază în afară de capsaicină și acidul ascorbic este culoarea lui. Cu cât mai aprinsă este culoarea ardeiului, cu atât el este considerat mai calitativ. Din aceste considerente a fost determinată păstrarea β -carotinei în ardei la uscarea prin diferite procedee ca component care determină culoarea roșie a lui. β -carotina a fost determinată prin metoda descrisă de Şenk H [155].

Deshidratarea produsului nostru a avut loc prin două procedee - convectiv și convectiv în combinație cu energia câmpului de frecvență înaltă.

Din reprezentarea grafică (fig.3.21) se observă, că la aplicarea energiei prin convecție, odată cu mărirea temperaturii agentului termic de la 60°C până la 100°C concentrația alcaloidei capsaicină scade de la 0,4 până la 0,29 %. În așa mod pierderile de capsaicină constituie aproximativ 28 % din conținutul total din ardei.

La uscarea combinată (fig.3.22) urmărim un alt comportament. Ca și la procedeul prin convecție, cantitatea de alcaloid capsaicină scade odată cu creșterea temperaturii, în schimb asupra lui nu influențează variația intensității câmpului electromagnetic. Astfel, la mărirea intensității câmpului electromagnetic de la $8.5 \cdot 10^3$ V/m până la $16.5 \cdot 10^3$ V/m, menținând temperatura agentului termic constantă de 60°C cantitatea de capsaicină din ardei s-a schimbat în limitele 0.40 - 0.39 %. Pierderile datorită aplicării câmpului electromagnetic de frecvență înaltă a constituit doar 1.7 % din masa totală de capsaicină din ardei.



Fig.3.21. Variația alcaloidei capsaicină în funcție de temperatura agentului termic la uscarea prin convecție.

Aproximativ același tablou s-a observat și la mărirea intensității câmpului în aceleași limite dar la temperatura agentului termic de 100°C. În acest caz cantitatea de capsaicină a variat în limitele 0.30 - 0.29 % ce corespunde cu 3,6 % de pierderi din masa totală a alcaloidei capsaicină care se conține în fructul uscat prin convecție la temperatura agentului termic 100°C.

Așa reducere neînsemnată a alcaloidei capsaicină din ardei la mărirea intensității câmpului electromagnetic, se lămurește probabil prin aceea, că procedeul dat de uscare parcurge destul de rapid și capsaicina nu dovedește să se distrugă considerabil.

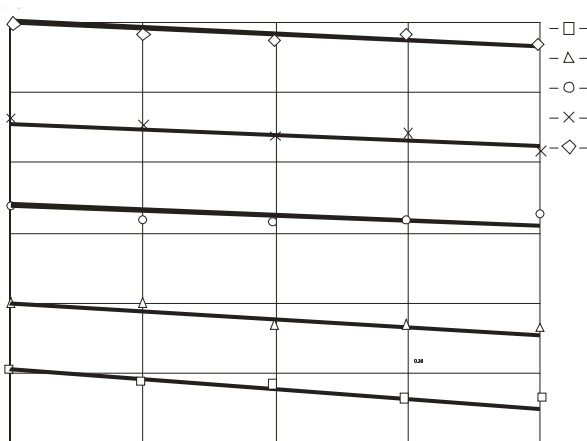


Fig.3.22. Variația alcaloidei capsaicină în funcție de intensitatea câmpului electromagnetic la uscarea combinată - prin convecție și în câmp UHF.

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

Rezultatele acțiunii diferitor procedee de uscare au arătat, că la uscarea prin convecție (fig.3.23) conținutul vitaminei C din ardeiul iute scade odată cu mărirea temperaturii. Astfel la temperatura 60 °C ea a constituit 65.76 mg/g, iar la 100 °C - 39.46 mg/g, ce corespunde cu aproximativ 40 % pierderi din cantitatea totală de acid ascorbic din ardeiul iute.

C., mg%

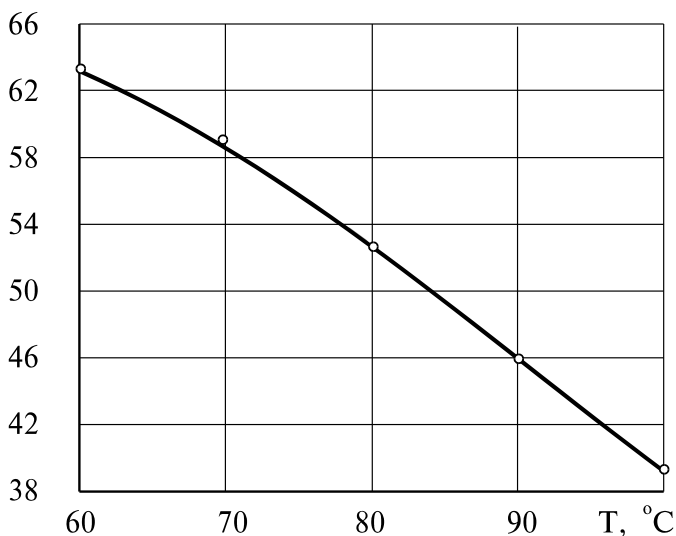


Fig.3.23 Variația vitaminei C în funcție de temperatura agentului termic la uscarea cătinii albe prin convecție.

La utilizarea procedeeului combinat de uscare – prin convecție în combinație cu câmpurile UHF, conținutul vitaminei C din ardeiul iute scade odată cu ridicarea temperaturii agentului termic și rămâne constant la variația intensității câmpului electromagnetic de frecvență înaltă. Aceasta se observă și în fig. 3.24.

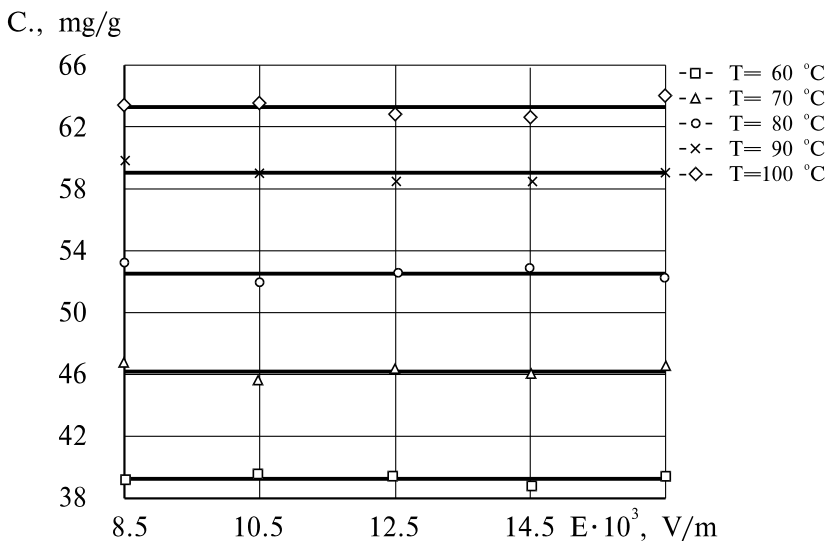


Fig.3.24 Variația vitaminei C în funcție de temperatura agentului termic la uscarea cătinii albe prin metoda combinată: prin convecție și în câmp UHF.

Posibil că păstrarea vitaminei C se datorează micșorării duratei de acțiune termică asupra produsului.

Din fig. 3.25 și 3.26 se observă, că conținutul β -carotenei în ardeiul iute ca și a acidului ascorbic la uscarea pur convectivă cât și cea combinată - convectivă în combinație cu UHF depinde de temperatura agentului termic și este practic constant în funcție de intensitatea câmpului electromagnetic. Astfel, la aplicarea energiei prin convecție, odată cu mărirea temperaturii agentului termic de la 60 °C până la 100 °C (fig. 3.25) se pierde aproximativ 65 % de β -carotină din conținutul său inițial. La uscarea combinată – prin convecție și în combinație cu câmpurile UHF, odată cu majorarea intensității câmpului electromagnetic de la $8.5 \cdot 10^3$ V/m și până la $16.5 \cdot 10^3$ V/m,

temperatura agentului termic fiind de 60°C, conținutul β -carotinei s-a menținut constant și a constituit 7.0 mg/g iar la aceeași variație a intensității câmpului electromagnetic și la temperatura agentului termic 100 °C a constituit 2.4 mg/g.

β -carot., mg%

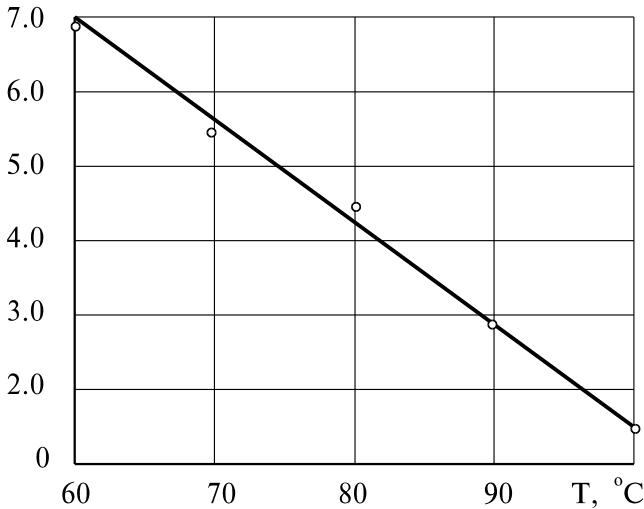


Fig.3.25 Variația β -carotinei în funcție de temperatura agentului termic la uscarea cătinii albe prin convecție.

În urma rezultatelor căpătate putem conchide, că indicii calitativi ai ardeiului iute uscat prin procedeul combinat se deosebesc esențial de cei ai ardeiului uscat pur prin convecție.

Rezultatele obținute au arătat, că la temperatura constantă ai agentului termic indicii calitativi ai ardeiului iute nu se deosebesc esențial unul față de altul. La fel, după cum se observă din grafice (fig. 3.21 - 3.22), în cazul utilizării procedeului combinat de aplicare a energiei, variația intensității câmpului electromagnetic practic nu influențează calitatea

ardeiului iute uscat, și anume conținutul alcaloidei capsaicină, a vitaminei C și a β -carotenei.

β -carot., mg/g

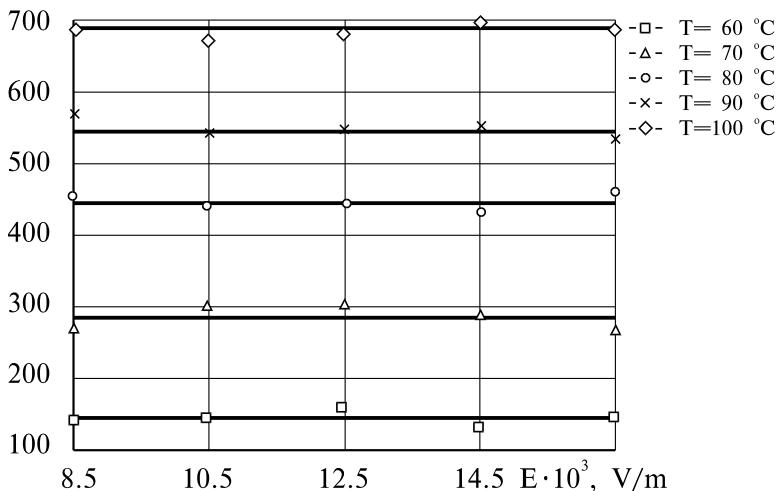


Fig.3.26 Variația β -carotenei în funcție de temperatura agentului termic la uscarea cătinii albe prin metoda combinată: prin convecție și în câmp UHF.

Reieșind din cele relatate, putem conchide, că cu scopul măririi intensității procesului de uscare și păstrare a indicilor calitativi ai ardeiului iute inițiali cel mai favorabil este procedeul de uscare combinat - prin convecție și în combinație cu energia câmpului electromagnetic de frecvență înaltă la temperatura agentului termic de 60 °C și intensitatea câmpului electromagnetic $16.5 \cdot 10^3$ V/m.

3.5.1 Dependența matematică a indicilor calitativi în funcție de temperatură agentului termic și intensitatea câmpului electromagnetic.

După cum s-a relatat, indicii calitativi ai ardeiului uscat sunt funcție dependentă de temperatura agentului termic și de intensitatea câmpului electromagnetic.

De aceea, modelul matematic va fi reprezentat printr-un polinom linear de tipul:

$$\tilde{Y} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 \quad (3.16)$$

în care: \tilde{Y} caracterizează indicii calitativi ai ardeiului, corespunzător conținutul alcaloidei capsaicină, vitaminei C și β -carotinei.

Pentru reprezentarea modelului am folosit procedeele analizei de corecție și de regresie.

În rezultatul calculelor matematice, pentru variația agentului termic de la 60 °C până la 100 °C și a intensității câmpului electromagnetic de la 8500 V/m până la 16500 V/m, s-a obținut următoarea ecuație de regresie, care exprimă variația alcaloidei capsaicină:

$$Caps = 0,565 - 2,8 \cdot 10^3 T - 3,67 \cdot 10^{-7} E \quad (3.17)$$

Verificarea indicilor modelului s-a efectuat după criteriul lui Fisher. Pentru aceasta în tabela 3.1 au fost indicate datele inițiale calculate conform ecuației de regresie raportate (Y_u - valori experimentale)

Analiza efectuată a demonstrat o coincidență relativă a datelor obținute prin calculul matematic cu cele experimentale.

Tabelul 3.1

N	$x_1=T, ^\circ\text{C}$	$x_1=E, \text{V/m}$	$Y=\text{Caps, \%}$	$\tilde{Y}=\text{Cap, \%}$
1	60	0	0.40	0.40
2	70	0	0.37	0.37
3	80	0	0.34	0.34
4	90	0	0.39	0.31
5	100	0	0.29	0.29
6	60	8500	0.400	0.396
7		10500	0.398	0.398
8		12500	0.397	0.395
9		14500	0.395	0.394
10		16500	0.393	0.394
16	80	8500	0.348	0.342
17		10500	0.347	0.341
18		12500	0.345	0.340
19		14500	0.343	0.339
20		16500	0.342	0.339
26	100	8500	0.301	0.287
27		10500	0.300	0.286
28		12500	0.298	0.285
29		14500	0.294	0.284
30		16500	0.290	0.284

Prelucrarea datelor referitoare la vitamina C a permis obținerea următoarei ecuații de regresie, admisibile la variația temperaturii agentului termic în limite 60 - 100 °C și a intensității câmpului electromagnetic 8500 - 16500 V/m:

$$\text{Caps} = 0,565 - 2,8 \cdot 10^3 T - 3,67 \cdot 10^{-7} E \quad (3.18)$$

Verificarea (tabela 3.2) a arătat, că această ecuație este adecvată datelor experimentale.

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

Tabelul 3.2

N	$x_1=T, ^\circ\text{C}$	$x_2=E, \text{V/m}$	$Y=C, \text{mg/g}$	$\tilde{Y}=C, \text{mg/g}$
1	60	0	65.76	65.76
2	70	0	59.19	59.18
3	80	0	52.61	52.61
4	90	0	46.03	46.03
5	100	0	39.46	39.46
6	60	8500	66.09	65.60
7		10500	65.45	65.56
8		12500	65.76	65.52
9		14500	65.45	65.48
10		16500	65.76	65.45
16	80	8500	52.30	52.45
17		10500	52.92	52.41
18		12500	25.61	52.37
19		14500	52.95	52.33
20		16500	52.43	52.30
26	100	8500	39.81	39.30
27		10500	39.46	39.26
28		12500	39.95	38.22
29		14500	39.12	38.18
30		16500	39.56	38.15

Analogic, pentru aceleași limite ale temperaturii agentului termic și intensității câmpului electromagnetic, a fost obținută și ecuația pentru β -carotină.

$$Caps = 0,565 - 2,8 \cdot 10^3 T - 3,67 \cdot 10^{-7} E \quad (3.19)$$

Verificarea acestei ecuații de asemenea a dat rezultate pozitive (tabela 3.3).

Tabelul 3.3

N	$x_1=T, ^\circ\text{C}$	$x_2=E, \text{V/m}$	$Y=\text{Pig, mg/g}$	$\tilde{Y}=\text{Pig, mg/g}$
1	2	3	4	5
1	60	0	7.03	7.03
2	70	0	5.90	5.90
3	80	0	4.39	4.77
4	90	0	3.51	3.64
5	100	0	2.51	2.51
6		8500	7.03	6.97
7		10500	6.91	6.96
8	60	12500	6.98	6.94
9		14500	6.94	6.93
10		16500	6.93	6.92
1	2	3	4	5
16		8500	4.39	4.71
17		10500	4.27	4.70
18	80	12500	4.25	4.68
19		14500	4.21	4.67
20		16500	4.18	4.66
26		8500	2.51	2.45
27		10500	2.38	2.44
28	100	12500	2.42	2.42
29		14500	2.47	2.41
30		16500	2.44	2.40

Valoarea redusă a coeficientului a_2 în comparație cu coeficientul a_1 indică influența majoră a temperaturii agentului termic asupra în comparație cu cea a intensității câmpului electromagnetic asupra calității produsului.

4. DESCRIEREA MATEMATICĂ A METODEI DE USCARE A ARDEIULUI IUTE PRIN CONVECȚIE ȘI ÎN CÂMP U.H.F.

Structura complexă a ardeiului iute și forma geometrică ne standard fac dificilă descrierea matematică a procedurii combinat pentru astfel de obiecte. În lucrare, cu unele admiteri, s-a încercat de a elabora un model matematic a procesului de uscare pentru sistemele eterogene complexe, cum este ardeiul iute.

4.1. Descrierea modelului matematic al procedurii de uscare a ardeiului iute

Reieșind din forma celulei de lucru, care se aseamănă cu doi cilindri coaxiali, între pereții cărora se află ardeiul iute supus uscării și în urma analizei bibliografice, s-a constatat că transferul de căldură și masă pentru procedeul de uscare combinat (prin convecție și în câmp UHF) a produselor alimentare în celule cu astfel de formă geometrică este studiat insuficient. Au fost efectuate cercetări aparte pentru procedeul de uscare prin convecție [77, 78] și pentru procesul de uscare în câmp electromagnetic U.H.F. [80].

În lucrare s-a încercat de a crea un model matematic pentru cazul aplicării combinate a energiei termice la uscarea ardeiului iute 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:

$$\frac{\partial t(r, \tau)}{\partial \tau} = a_q \left(\frac{\partial^2 t(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r} \right) + \frac{\varepsilon \rho c'_T}{c_q} \cdot \frac{\partial \theta(r, \tau)}{\partial \tau} + \frac{Q}{c_q \gamma}, \quad (4.1)$$

$$\frac{\partial \theta(r, \tau)}{\partial \tau} = a_q \left(\frac{\partial^2 \theta(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \theta(r, \tau)}{\partial r} \right) + \frac{\varepsilon \rho c'_T}{c_q} \cdot \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial \tau} + \frac{Q}{c_q \gamma}, \quad (4.2)$$

în care a_q , a_m sunt respectiv coeficienții de difuzie de temperatură și de potențial, în m^2/s ;

ε - 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 ;

ρ - densitatea părții uscate a corpului umed, în kg/m^3 ;

δ - coeficientul Sore pentru corpul umed, în K^{-1} ;

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

La încălzirea corpurilor capilaro-poroase, când schimbul de căldură a suprafeței corpului cu mediul înconjurător se efectuează prin convecție, condițiile de frontieră ale transferului de căldură și de masă vor fi:

$$\lambda_q \frac{\partial t(R_1, \tau)}{\partial r} + \alpha [t_c - t(R_1, \tau)] - (1 - \varepsilon) \rho \beta (\theta(R_1, \tau) - \theta_p) = 0, \quad (4.3)$$

$$\lambda_q \frac{\partial \theta(R_1, \tau)}{\partial r} + \alpha [t_c - t(R_1, \tau)] - (1 - \varepsilon) \rho \beta (\theta(R_1, \tau) - \theta_p) = 0, \quad (4.4)$$

$$\lambda_q \frac{\partial t(R_1, \tau)}{\partial r} + \alpha [t_c - t(R_1, \tau)] - (1 - \varepsilon) \rho \beta (\theta(R_1, \tau) - \theta_p) = 0, \quad (4.5)$$

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeului iute.

$$\lambda_m \left[\frac{\partial \theta(R_1, \tau)}{\partial r} + \delta \cdot \frac{\partial \hat{t}(R_1, \tau)}{\partial r} \right] + \beta [\theta(R_1, \tau) - \theta_p] = 0, \quad (4.6)$$

în care λ_q , λ_m sunt respectiv conductivitatea termică, în $W/(m \cdot K)$ și conductivitatea masică, în $kg/(m^{\circ}M)$;

α , β - corespunzător coeficienții transferului de căldură, $W/(m^2 \cdot K)$ și de masă, $kg/(m^2 s^{\circ}M)$.

Ele reprezintă ecuațiile bilanțului termic și al bilanțului de masă aplicat suprafețelor corpului.

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

$$T(t, 0) = T_0 \quad (4.7)$$

$$\theta(t, 0) = \theta_0 \quad (4.8)$$

Pentru rezolvarea acestei probleme ne folosim de transformarea lui Laplace. Cu acest scop introducem următoarele notații distinctive [43]:

$$L[t(r, \tau)] = \int_0^{\infty} t(r, \tau) e^{-s\tau} d\tau = t_L(r, s), \quad (4.9)$$

$$L[\hat{t}(r, \tau)] = \int_0^{\infty} \hat{t}(r, \tau) e^{-s\tau} d\tau = \hat{t}_L(r, s). \quad (4.10)$$

Folosind transferurile (4.9) pentru ecuația (4.1) și efectuând operația de împărțire la a_q obținem:

$$\begin{aligned}
 & t_L''(r, s) + \frac{1}{r} t_L'(r, s) - \frac{s}{a_q} t_L(r, s) + \frac{\varepsilon \rho c_T'}{c_q a_q} s u_L(r, s) - \\
 & - \frac{\varepsilon \rho c_T'}{c_q a_q} \theta_0 + \frac{t_0}{a_q} + \frac{Q}{s c_q a_q \gamma} = 0.
 \end{aligned} \tag{4.11}$$

Folosind transferurile (4.10) pentru ecuația (4.2) și efectuând operația de împărțire la a_q obținem:

$$\begin{aligned}
 & u_L''(r, s) + \frac{1}{r} u_L'(r, s) - \frac{s}{a_m} u_L(r, s) + \delta t_L''(r, s) + \\
 & + \frac{\delta}{r} t_L'(r, s) + \frac{\theta_0}{a_m} = 0.
 \end{aligned} \tag{4.12}$$

Din ecuația (6.11) îl determinăm pe $u_L'(r, s)$:

$$\begin{aligned}
 & u_L(r, s) = \left[-t_L''(r, s) - \frac{1}{r} t_L'(r, s) + \frac{s}{a_q} t_L(r, s) + \right. \\
 & \left. + \frac{\varepsilon r' c_T'}{c_q a_q} \theta - \frac{t_0}{a_q} - \frac{Q}{s c_q a_q \rho} \right] \frac{c_q a_q}{\varepsilon r' c_T' s}.
 \end{aligned} \tag{4.13}$$

Determinăm prima și a doua derivate $u_L'(r, s)$ și $u_L''(r, s)$:

$$\begin{aligned}
 & u_L'(r, s) = \left[-t_L'''(r, s) - \frac{1}{r} t_L''(r, s) + \frac{1}{r^2} t_L'(r, s) + \right. \\
 & \left. + \frac{s}{a_q} t_L'(r, s) \right] \frac{c_q a_q}{\varepsilon \rho c_T' s}
 \end{aligned} \tag{4.14}$$

$$u'_L(r,s) = \left[-t_L^{IV}(r,s) - \frac{1}{r}t_L'''(r,s) + \frac{1}{r^2}t_L''(r,s) - \right. \\ \left. - \frac{2}{r^3}t_L'(r,s) + \frac{s}{a_q}t_L''(r,s) \right] \frac{c_q a_q}{\varepsilon \rho c_T s}. \quad (4.15)$$

Substituind în (4.12) valorile din (4.13), (4.14) și (4.15) și efectuând unele transformări simple, obținem forma finală a ecuației:

$$rt_L^{IV}(r,s) + 2t_L'''(r,s) - \left(\frac{1}{r} + \frac{rs}{a_q} + \frac{rs}{a_m} + \frac{\varepsilon \delta c_T' r' r}{c_q a_q} \right) t_L''(r,s) - \\ - \left(\frac{1}{r^2} + \frac{s}{a_q} + \frac{s}{a_m} + \frac{\varepsilon r' c_T' s}{c_q a_q} \right) t_L'(r,s) + \\ + \frac{s^2 r}{a_m a_q} \left(t_L(r,s) - \frac{t_o}{s} - \frac{Q}{sc_q \rho^2} \right) = 0. \quad (4.16)$$

Am obținut o ecuație diferențială de gradul patru, care are coeficienți variabili. Pentru a o rezolva o vom transcrie în modul următor:

$$-t^{IV} - \frac{1}{x}t''' + \frac{1}{x^2}t'' + \left(-\frac{1}{x^3} + 1 \right) t' - t = 0 \quad (4.17) \\ x^3 t^{IV} - x^2 t''' + x t'' + (-x^2 + 1) t' - x^3 t = 0$$

Ecuațiile de tipul (4.17) pot fi rezolvate cu ajutorul seriei de puteri:

$$t = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + \dots \quad (4.18)$$

Derivăm șirul (4.18) pe părți:

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

$$\left. \begin{aligned} t' &= a_1 + 2a_2x + 3a_3x^2 + 4a_4x^3 + 5a_5x^4 + 6a_6x^5 + \dots \\ t'' &= 2a_2 + 6a_3x + 12a_4x^2 + 20a_5x^3 + 30a_6x^4 + \dots \\ t''' &= 6a_3 + 24a_4x + 60a_5x^2 + 120a_6x^3 + \dots \\ t^{(4)} &= 24a_4x^3 + 120a_5x^4 + 360a_6x^5 + \dots \end{aligned} \right\} (4.19)$$

Înlocuim în expresia (4.17) valorile derivatelor din (4.19) și o egalăm cu zero:

$$\begin{aligned} &a_1 + (-2a_1 + 2a_1)x + (-2a_1 + 2a_1)x^2 + \\ &+ (-2a_1 + 2a_1 + 2a_1)x^3 + (-2a_1 + 2a_1 + 2a_1)x^4 + \dots + \\ &+ (-2a_1 + 2a_1)x^5 + \dots = 0 \end{aligned} \quad (4.20)$$

Egalăm cu zero toate rădăcinile lui x , și observăm că toți coeficienții cu indicii impari sunt egali cu zero (fiindcă $a_1=0$), iar coeficienții cu indicii pari pot fi reprezentați în modul următor:

$$\left. \begin{aligned} a_2 &= \frac{1}{2} a_0 \\ a_4 &= \frac{a_0}{2^3 \cdot 5} \\ a_6 &= \frac{a_0}{2^5 \cdot 5^2} \end{aligned} \right\} (4.21)$$

Înlocuim acești coeficienți în (4.18)

$$t = a_0 \left(\frac{1}{2} + \frac{x^2}{2^3 \cdot 5} + \frac{x^4}{2^5 \cdot 5^2} + \dots \right). \quad (4.22)$$

Dacă de presupus că $a_0=1$, atunci integrala parțială a ecuației (6.17) va prezenta funcția Bessel de genul întâi și gradul zero:

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

$$I_0 = \frac{1}{2} + \frac{x^2}{2^3 \cdot 5} + \frac{x^4}{2^5 \cdot 5^2} + \frac{x^6}{2^7 \cdot 5^5}. \quad (6.23)$$

Pentru determinarea soluției a doua particulare a ecuației (4.17) se poate de folosit formula [43]:

$$t_2 = t_1 \int_{t_1}^{-2} e^{\int \frac{1}{x} dx} dx, \quad (4.24)$$

în care $t_1(x) = I_0(x)$ este soluția întâi particulară;

$t_2(x)$ - soluția a doua particulară.

De obicei $t_2(x)$ se înlocuiește cu $Y_0(x)$, care se află din următoarea relație [43]:

$$Y_0(x) = \frac{2}{\pi} t_2(x) + \frac{2}{\pi} I_0(x)(c - \ln 2). \quad (4.25)$$

în care $c = 0.5772$ este constanta Euler;

$Y_0(x)$ - funcția Bessel de genul doi și gradul zero, sau funcția Veber.

Integrala generală a ecuației (4.17) va fi:

$$t(x) = C_1 I_0(x_1) + C_2 Y_0(x_1) + C_3 I_0(x_2) + C_4 Y_0(x_2). \quad (4.26)$$

Ecuația (4.16) se aduce la ecuația (4.17) dacă de presupus că $c = r = \frac{x_{1,2}}{k_{1,2}}$, atunci integrala generală a ecuației (4.16) va fi:

$$t_L(r, s) = \frac{t_0}{s} - \frac{Q}{\rho c_q s^2} + C_1 I_0(k_1, r) + C_2 Y_0(k_1, r) + C_3 I_0(k_2, r) + C_4 Y_0(k_2, r). \quad (4.27)$$

în care C_1, C_2, C_3, C_4 sunt constante.

Rezolvarea pentru $U_L(r_1S)$ o determinăm prin substituirea $t_L''(r_1 s)$ $t_L'(r_1 s)$ $t_L(r_1 s)$ în ecuația (4.13).

Preventiv, înainte de a înlocui valorile, determinăm prima și a doua derivată a funcției $I_0(k, r)$ și $Y_0(k, r)$.

Funcția $I_0(k, r)$ este pară și anume:

$$I_0(k, r) = \frac{1}{2} + \frac{(k, r)^2}{2^3 \cdot 5} + \frac{(k, r)^4}{2^5 \cdot 5^2} + \dots$$

$$I_0'(k, r) = k \left(\frac{k, r}{2^3 \cdot 5} + \frac{(k, r)^3}{2^3 \cdot 5^2} + \dots \right) = kI_1(kr) \quad (4.28)$$

$$I_0''(k, r) = (kI_1(k, r))'$$

Reieșind din formulele prezentate în [64] și [80]:

$$I_1'(k, r) = I_0(k, r) - \frac{1}{kr} I_1(k, r) \quad (4.29)$$

$$I_1''(k, r) = kI_0(k, r) - \frac{1}{r} I_1(k, r).$$

Pentru funcția lui Veber

$$Y_0(k, r) = kY_1(k, r), \quad (4.30)$$

reieșind din [79] și [43]:

$$Y_1'(k, r) = Y_0(k, r) - \frac{1}{kr} Y_1(k, r) \quad (4.31)$$

$$Y_1''(k, r) = kY_0(k, r) - \frac{1}{r} Y_1(k, r).$$

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeului iute.

$$t'_L(r_1s) = C_1 k_1 I_1(k_1, r) + C_2 k_1 Y_1(k, r) + C_3 k_2 Y_1(k_2, r) + C_4 k_2 Y_1(k_2, r). \quad (4.32)$$

$$t_L^{\circ\circ}(r_1s) = C_1 k \left(k_1 I_0(k_1 r) - \frac{1}{r} I_1(k_1 r) \right) + C_2 k_1 \left(k Y_0(k_1 r) - \frac{1}{r} Y_1(k_1 r) \right) + C_3 k \left(k_2 I_0(k_2 r) - \frac{1}{r} I_1(k_2 r) \right) + C_4 k_2 \left(k Y_0(k_2 r) - \frac{1}{r} Y_1(k_2 r) \right) \quad (4.33)$$

Substituind ecuațiile (4.27), (4.32) și (4.33) în ecuația (4.13) și efectuând o mică simplificare, expresia dată poate fi prezentată în modul următor:

$$u_L(r_1s) = \frac{\theta_0}{s} - \frac{2Q}{\rho \varepsilon' c_T s^2} + C_1 (1 - k_1^2) I_0(k_1 r) + C_2 (1 - k_1^2) \times Y_0(k_1 r) + C_3 (1 - k_2^2) I_0(k_2 r) + C_4 (1 - k_2^2) Y_0(k_2 r). \quad (4.34)$$

Constantele C_1 , C_2 , C_3 și C_4 din ecuațiile (4.27) și (4.34) le determinăm din condițiile de limită, care după transformarea Laplace, se vor înscrie în modul următor:

$$\lambda_q t'_L(R_1, s) + \alpha \left[\frac{t_c}{S} - t_L(R_1, s) \right] - (1 - \varepsilon) r' \beta \left(u_L(R_1, s) - \frac{\theta P}{s} \right) = 0. \quad (4.35)$$

$$\begin{aligned}
 & -\lambda_q t'_L(R_2, S) + \alpha \left[\frac{t_c}{S} - t_L(R_2, S) \right] - \\
 & - (1 - \varepsilon) r' \beta \left(u_L(R_2, S) - \frac{\theta P}{S} \right) = 0
 \end{aligned} \tag{4.36}$$

$$\lambda_m u'_L(R_1, s) + \lambda_m \delta'_L(R_1, s) + \beta \left(u_L(R_1, s) - \frac{\theta p}{s} \right) = 0 \tag{4.37}$$

$$\lambda_m u'_L(R_2, s) + \lambda_m \delta'_L(R_2, s) + \beta \left(u_L(R_2, s) - \frac{\theta p}{s} \right) = 0 \tag{4.38}$$

Din ecuația (4.34) descoperim $u_L^{\odot}(r_1 s) [iu_L^{\odot\odot}(r_1 s)]$:

$$\begin{aligned}
 u'_L(r_1 s) = & C_1(k_1 - k_1^3)I_1(k_1 r) + C_2(k_1 - k_1^3)Y_1(k_1 r) + \\
 & + C_3(k_2 - k_2^3)I_1(k_2 r) + C_4(k_2 - k_2^3)Y_1(k_2 r).
 \end{aligned} \tag{4.39}$$

$$\begin{aligned}
 u''_L(r_1 s) = & C_1(k_1 - k_1^3) \left(kI_0(k_1 r) - \frac{1}{r} I_1(k_1 r) \right) + C_2(k_1 - k_1^3) \times \\
 & \times \left(kY_0(k_1 r) - \frac{1}{r} Y_1(k_1 r) \right) + C_3(k_2 - k_2^3) \left(kI_0(k_2 r) - \frac{1}{r} I_1(k_2 r) \right) + \\
 & + C_4(k_2 - k_2^3) \left(kY_0(k_2 r) - \frac{1}{r} Y_1(k_2 r) \right).
 \end{aligned} \tag{4.40}$$

Din ecuațiile (4.27), (4.32), (4.34) și (4.39) determinăm $t_L(R_1, s)$, $t_L(R_2, s)$, $t'_L(R_1, s)$, $t'_L(R_2, s)$, $u_L(R_1, s)$, $u_L(R_2, s)$, $u'_L(R_1, s)$, $u'_L(R_2, s)$:

$$\begin{aligned}
 t_L(R_1, s) = & \frac{t_0}{s} - \frac{Q}{\rho C_q s^2} + C_1 I_0(k_1 R_1) + C_2 Y_0(k_1 R_1) + \\
 & + C_3 I_0(k_2 R_1) + C_4 Y_0(k_2 R_1).
 \end{aligned} \tag{4.41}$$

$$t_L(R_2, s) = \frac{t_0}{s} - \frac{Q}{\rho C_q s^2} + C_1 I_0(k_1 R_2) + C_2 Y_0(k_1 R_2) + C_3 I_0(k_2 R_2) + C_4 Y_0(k_2 R_2). \quad (4.42)$$

$$t'_L(R_1 s) = C_1 k_1 I_1(k_1 R_1) + C_2 k_1 Y_1(k_1 R_1) + C_3 k_2 I_1(k_2 R_1) + C_4 k_2 Y_1(k_2 R_1). \quad (4.43)$$

$$t'_L(R_2 s) = C_1 k_1 I_1(k_1 R_2) + C_2 k_1 Y_1(k_1 R_2) + C_3 k_2 I_1(k_2 R_2) + C_4 k_2 Y_1(k_2 R_2). \quad (4.44)$$

$$u_L(R_1 s) = \frac{\theta_0}{s} - \frac{2Q}{\gamma \varepsilon \rho c'_T s^2} + C_1 (1 - k_1^2) I_0(k_1 R_1) + C_2 (1 - k_1^2) Y_0(k_1 R_1) + C_3 (1 - k_2^2) I_0(k_2 R_1) + C_4 (1 - k_2^2) Y_0(k_2 R_1) \quad (4.45)$$

$$u_L(R_2 s) = \frac{\theta_0}{s} - \frac{2Q}{\gamma \varepsilon \rho c'_T s^2} + C_1 (1 - k_1^2) I_0(k_1 R_2) + C_2 (1 - k_1^2) Y_0(k_1 R_2) + C_3 (1 - k_2^2) I_0(k_2 R_2) + C_4 (1 - k_2^2) Y_0(k_2 R_2) \quad (4.46)$$

$$u'_L(R_1 s) = C_1 (1 - k_1^3) I_1(k_1 R_1) + C_2 (1 - k_1^3) Y_1(k_1 R_1) + C_3 (1 - k_2^3) I_1(k_2 R_1) + C_4 (1 - k_2^3) Y_1(k_2 R_1). \quad (4.47)$$

$$u'_L(R_2 s) = C_1 (k_1 - k_1^3) I_1(k_1 R_2) + C_2 (k_1 - k_1^3) Y_1(k_1 R_2) + C_3 (k_2 - k_2^3) I_1(k_2 R_2) + C_4 (k_2 - k_2^3) Y_1(k_2 R_2). \quad (4.48)$$

Substituim ecuațiile (4.41), (4.43) și (4.45) în ecuația (4.35) [i o reform=am]n modul urmator:

$$\begin{aligned}
 & C_1 \left[k_1 \lambda_q I_1(k_1 R_1) - (\alpha + (1 - k_1^2)(1 - \varepsilon)r'\beta) I_0(k_1 R_1) \right] + \\
 & + C_2 \left[k_1 \lambda_q Y_1(k_1 R_1) - (\alpha + (1 - k_1^2)(1 - \varepsilon)r'\beta) Y_0(k_1 R_1) \right] + \\
 & + C_3 \left[k_2 \lambda_q I_1(k_2 R_1) - (\alpha + (1 - k_2^2)(1 - \varepsilon)r'\beta) I_0(k_2 R_1) \right] + \\
 & + C_4 \left[k_2 \lambda_q Y_1(k_2 R_1) - (\alpha + (1 - k_2^2)(1 - \varepsilon)r'\beta) Y_0(k_2 R_1) \right] = \\
 & = \frac{\alpha}{s} (t_0 - t_c) + \frac{(1 - \varepsilon)r'\beta}{s} (\theta_p - \theta_0) - \frac{\alpha Q}{\rho c_q s^2}.
 \end{aligned} \tag{4.49}$$

Ecuția (4.36) după unele reformări va fi:

$$\begin{aligned}
 & C_1 \left[-k_1 \lambda_q I_1(k_1 R_2) - (\alpha + (1 - k_1^2)(1 - \varepsilon)r'\beta) I_0(k_1 R_2) \right] + \\
 & + C_2 \left[-k_1 \lambda_q Y_1(k_1 R_2) - (\alpha + (1 - k_1^2)(1 - \varepsilon)r'\beta) Y_0(k_1 R_2) \right] + \\
 & + C_3 \left[-k_2 \lambda_q I_1(k_2 R_2) - (\alpha + (1 - k_2^2)(1 - \varepsilon)r'\beta) I_0(k_2 R_2) \right] + \\
 & + C_4 \left[-k_2 \lambda_q Y_1(k_2 R_2) - (\alpha + (1 - k_2^2)(1 - \varepsilon)r'\beta) Y_0(k_2 R_2) \right] = \\
 & = \frac{\alpha}{s} (t_0 - t_c) + \frac{(1 - \varepsilon)r'\beta}{s} (\theta_p - \theta_0) - \frac{\alpha Q}{\rho c_q s^2}.
 \end{aligned} \tag{4.50}$$

Substituim ecuațiile (4.43), (4.48) și (4.49) în ecuația (4.37) și o reformăm în modul următor:

$$\begin{aligned}
 & C_1 \left[(k_1 - k_1^3) \lambda_m I_1(k_1 R_1) + k_1 \lambda_m \delta I_1(k_1 R_1) + (1 - k_1^2) \beta I_0(k_1 R_1) \right] + \\
 & + C_2 \left[(k_1 - k_1^3) \lambda_m Y_1(k_1 R_1) + k_1 \lambda_m \delta Y_1(k_1 R_1) + (1 - k_1^2) \beta Y_0(k_1 R_1) \right] + \\
 & + C_3 \left[(k_2 - k_2^3) \lambda_m I_1(k_2 R_1) + k_2 \lambda_m \delta I_1(k_2 R_1) + (1 - k_2^2) \beta I_0(k_2 R_1) \right] + \\
 & + C_4 \left[(k_2 - k_2^3) \lambda_m Y_1(k_2 R_1) + k_2 \lambda_m \delta Y_1(k_2 R_1) + (1 - k_2^2) \beta Y_0(k_2 R_1) \right] = \\
 & = \frac{\beta}{s} (\theta_p - \theta_0) + \frac{2Q\beta}{\varepsilon r' c_T s^2}.
 \end{aligned} \tag{4.51}$$

După unele transformări ecuația (4.38) va obține următoarea forma:

$$\begin{aligned}
 & C_1 \left[(k_1 - k_1^3) \lambda_m I_1(k_1 R_1) + k_1 \lambda_m \delta I_1(k_1 R_1) + (1 - k_1^2) \beta I_0(k_1 R_1) \right] + \\
 & + C_2 \left[(k_1 - k_1^3) \lambda_m Y_1(k_1 R_1) + k_1 \lambda_m \delta Y_1(k_1 R_1) + (1 - k_1^2) \beta Y_0(k_1 R_1) \right] + \\
 & + C_3 \left[(k_2 - k_2^3) \lambda_m I_1(k_2 R_1) + k_2 \lambda_m \delta I_1(k_2 R_1) + (1 - k_2^2) \beta I_0(k_2 R_1) \right] + \\
 & + C_4 \left[(k_2 - k_2^3) \lambda_m Y_1(k_2 R_1) + k_2 \lambda_m \delta Y_1(k_2 R_1) + (1 - k_2^2) \beta Y_0(k_2 R_1) \right] = \\
 & = \frac{\beta}{s} (\theta_p - \theta_0) + \frac{2Q\beta}{\varepsilon \rho c_r' s^2}
 \end{aligned} \tag{4.52}$$

Înainte de a determina coeficienții $C_1 \dots C_4$ simplificăm sistemul de ecuații. În acest caz ecuația (4.49) va fi:

$$\begin{aligned}
 & C_1 B_1 + C_2 \bar{K}_1 + C_3 B_2 + C_4 \bar{K}_2 = \\
 & = \frac{\alpha}{s} (t_0 - t_c) + \frac{(1 - \varepsilon) r' \beta}{s} (\theta_p - \theta_0) - \frac{\alpha Q}{\rho c_q s^2} = b_1,
 \end{aligned} \tag{4.53}$$

în care:

$$B_j = k_j \lambda_q I_1(k_j R_1) - \left[\alpha + (1 - k_j^2) (1 - \varepsilon) r' \beta \right] I_0(k_j R_1). \tag{4.54}$$

$$\bar{K}_j = k_j \lambda_q Y_1(k_j R_1) - \left[\alpha + (1 - k_j^2) (1 - \varepsilon) r' \beta \right] Y_0(k_j R_1). \tag{4.55}$$

Ecuația (4.40) va obține următoarea formă:

$$C_1 M_1 + C_2 H_1 + C_3 M_2 + C_4 H_2 = b_1, \tag{4.56}$$

în care:

$$M_j = -k_j \lambda_q I_1(k_j R_2) - \left[\alpha + (1 - k_j^2) (1 - \varepsilon) r' \beta \right] I_0(k_j R_2). \tag{4.57}$$

$$H_j = -k_j \lambda_q Y_1(k_j R_2) - \left[\alpha + (1 - k_j^2) (1 - \varepsilon) r' \beta \right] Y_0(k_j R_2). \tag{4.58}$$

Ecuația (4.51) va fi:

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

$$\begin{aligned} C_1P_1 + C_2X_1 + C_3P_2 + C_4X_2 &= \\ &= \frac{\beta}{s}(\theta_p - \theta_0) - \frac{2Q\beta}{\varepsilon'c'_T s^2} = b_2 \end{aligned} \quad (4.59)$$

în care:

$$P_j = (k_j - k_j^3)\lambda_m I_1(k_j R_1) + k_j \lambda_m \delta I_1(k_j R_1) - (1 - k_j^2)I_0(k_j R_1). \quad (4.60)$$

$$X_j = (k_j - k_j^3)\lambda_m Y_1(k_j R_1) + k_j \lambda_m \delta Y_1(k_j R_1) + (1 - k_j^2)Y_0(k_j R_1). \quad (4.61)$$

Ecuția (4.52) va obține următoarea formă:

$$C_1A_1 + C_2T_1 + C_3A_2 + C_4T_2 = b_2, \quad (4.62)$$

în care:

$$A_j = (k_j - k_j^3)\lambda_m I_1(k_j R_2) + k_j \lambda_m \delta I_1(k_j R_2) + (1 - k_j^2)I_0(k_j R_2). \quad (4.63)$$

$$T_j = (k_j - k_j^3)\lambda_m Y_1(k_j R_2) + k_j \lambda_m \delta Y_1(k_j R_2) + (1 - k_j^2)Y_0(k_j R_2). \quad (4.64)$$

Din sistemul de ecuații (4.53), (4.56), (4.59) și (4.62) determinăm determinantul:

$$\begin{aligned} D &= B_1(H_1P_2T_2 - H_1X_2A_2 + M_2X_2T_1 - M_2X_1T_2 + H_2A_2X_1 - H_2P_2T_1) - \\ &- M_1(\bar{K}_1P_2T_2 - \bar{K}_1X_2A_2 + B_2X_2T_1 - B_2X_1T_2 + \bar{K}_2A_2X_1 - \bar{K}_2P_2T_1) + \\ &+ P_1(\bar{K}_1M_2T_2 - \bar{K}_1H_2A_2 + B_2H_2T_1 - B_2H_1T_2 + \bar{K}_2A_2H_1 - \bar{K}_2M_2T_1) - \\ &- A_1(K_1M_2X_2 - K_1H_2P_2 + B_2H_2X_1 - B_2H_1X_2 + K_2P_2H_1 - K_2M_2X_1) \end{aligned} \quad (4.65)$$

Sistemul de ecuații are următoarea definiție:

$$C_k \frac{D_k^*}{D}, \quad (k=1, 2, 3, 4) \quad (4.66)$$

în care D_k este determinantul, obținut din D la înlocuirea elementelor coloanei k cu elementele libere respectiv b_1 , și b_2 .

$$\begin{aligned}
 D_1^* = & b_1(H_1P_2T_2 - H_1X_2A_2 + M_2X_2T_1 - M_2X_1T_2 + H_2A_2X_1 - H_2P_2T_1) - \\
 & - b_1(\bar{K}_1P_2T_2 - \bar{K}_1X_2A_2 + B_2X_2T_1 - B_2X_1T_2 + \bar{K}_2A_2X_1 - \bar{K}_2P_2T_1) + \\
 & + b_2(J_1M_2T_2 - \bar{K}_1H_2A_2 + B_2H_2T_1 - B_2H_1T_2 + \bar{K}_2A_2H_1 - \bar{K}_2M_2T_1) - \\
 & - b_2(\bar{K}_1M_2X_2 - \bar{K}_1H_2P_2 + B_2H_2X_1 - B_2H_1X_2 + \bar{K}_2P_2H_1 - \bar{K}_2M_2X_1)
 \end{aligned} \quad (4.67)$$

$$\begin{aligned}
 D_2^* = & B_1(b_1P_2T_2 - b_1X_2A_2 + b_2M_2X_2 - b_2M_2T_2 + b_2H_2A_2 + b_2P_2H_2) - \\
 & - M_1(b_1P_2T_2 - b_1X_2A_2 + b_2B_2X_2 - b_2B_2T_2 + b_2\bar{K}_2A_2 - b_2P_2\bar{K}_2) + \\
 & + P_1(b_1M_2T_2 - b_1H_2A_2 + b_2B_2H_2 - b_1B_2T_2 + b_1\bar{K}_2A_2 - b_2M_2\bar{K}_2) - \\
 & - A_1(b_1M_2X_2 - b_1H_2P_2 + b_2B_2H_2 - b_1B_2X_2 + b_1\bar{K}_2P_2 - b_2M_2\bar{K}_2)
 \end{aligned} \quad (4.68)$$

$$\begin{aligned}
 D_3^* = & B_1(b_2H_1T_2 - b_2X_2H_1 + b_1T_1X_2 - b_1X_1T_2 + b_2H_2X_2 + b_2T_1H_2) - \\
 & - M_1(b_2\bar{K}_1T_2 - b_2X_2\bar{K}_1 + b_1T_1X_2 - b_1X_1T_2 + b_2\bar{K}_2X_1 - b_2T_1\bar{K}_2) + \\
 & + P_1(b_1\bar{K}_1T_2 - b_2X_2\bar{K}_1 + b_1T_1X_2 - b_1X_1T_2 + b_1\bar{K}_2H_1 - b_1T_1\bar{K}_2) - \\
 & - A_1(b_1\bar{K}_1T_2 - b_2X_2\bar{K}_1 + b_1T_1X_2 - b_1H_1X_2 + b_2\bar{K}_2H_1 - b_2X_2\bar{K}_2)
 \end{aligned} \quad (4.69)$$

$$\begin{aligned}
 D_4^* = & B_1(b_2P_2H_1 - b_2H_2A_2 + b_2M_2T_1 - b_2M_2X_1 + b_1X_1A_2 + b_1P_2T_1) - \\
 & - M_1(b_2P_2\bar{K}_1 - b_2\bar{K}_1A_2 + b_2B_2T_1 - b_2B_2X_1 + b_1X_1A_2 - b_1P_2T_1) + \\
 & + P_1(b_2M_1\bar{K}_1 - b_1\bar{K}_1A_2 + b_2B_2T_1 - b_1H_1T_2 + b_1H_1A_2 - b_1M_2T_1) - \\
 & - A_1(b_2M_2\bar{K}_1 - b_1\bar{K}_1P_2 + b_2B_2X_1 - b_2B_2H_1 + b_1H_1P_2 - b_1M_2X_1)
 \end{aligned} \quad (6.70)$$

Astfel, constantele sistemului de ecuații (4.49-4.52) vor fi egale corespunzător cu:

$$C_1 = \frac{D_1^*}{D}; C_2 = \frac{D_2^*}{D}; C_3 = \frac{D_3^*}{D}; C_4 = \frac{D_4^*}{D}; \quad (4.71)$$

Rezolvarea imaginilor modificate a potențialelor de transfer (4.27) și (4.34) este următoarea:

$$t_L(r,s) = \frac{t_0}{s} - \frac{Q}{\rho c_q s^2} + \frac{D_1^*}{D} I_0(k_1, r) + \frac{D_2^*}{D} Y_0(k_1, r) + \frac{D_3^*}{D} I_0(k_2, r) + \frac{D_4^*}{D} Y_0(k_2, r) \quad (4.72)$$

$$u_L(r,s) = \frac{\theta_0}{s} - \frac{2Q}{r' \varepsilon \rho c_q s^2} + \frac{D_1^*}{D} (1-k_1^2) I_0(k_1, r) + \frac{D_2^*}{D} (1-k_1^2) Y_0(k_1, r) + \frac{D_3^*}{D} (1-k_2^2) I_0(k_2, r) + \frac{D_4^*}{D} (1-k_2^2) Y_0(k_2, r) \quad (4.73)$$

Înlocuim în (4.72) și (4.73) $\frac{D_1^*}{D}$, $\frac{D_2^*}{D}$, $\frac{D_3^*}{D}$ și $\frac{D_4^*}{D}$ prin D_1 , D_2 , D_3 și D_4 și efectuăm unele transformări simple, atunci ele vor avea următoarea formă:

$$t_L(r,s) - \frac{t_0}{s} = + \frac{D_1^* I_0(k_1, r)}{s^3} + \frac{D_2^* Y_0(k_1, r) s^3}{s^3} + \frac{Qs}{s^3} + \frac{D_3^* I_0(k_2, r) s^3}{s^3} + \frac{D_4^* Y_0(k_2, r) s^3}{s^3} - \frac{\rho c_q}{s^3} = \frac{\Phi_1(s)}{\Psi_1(s)} \quad (4.74)$$

$$\frac{\theta_0}{s} - u_L(r,s) = - \frac{D_1^* (1-k_1^2) I_0(k_1 r) s^3}{s^3} - \frac{D_2^* (1-k_1^2) Y_0(k_1 r) s^3}{s^3} - \frac{D_3^* (1-k_2^2) I_0(k_2 r) s^3}{s^3} - \frac{D_4^* (1-k_2^2) Y_0(k_2 r) s^3}{s^3} + \frac{r' \varepsilon \rho c_r'}{s^3} = \frac{\Phi_2(s)}{\Psi_2(s)} \quad (4.75)$$

Ecuțiile (4.74) și (4.75) obținute reprezintă raportul a doua șiruri. Analiza lor demonstrează, că trecerea de la imagine la original, cu excepția rădăcinii “zero” ($s=0$), se poate efectua cu ajutorul teoremei de descompunere [80].

Determinăm rădăcinile $\Psi(\mathbf{s})$

1) $s = s_0 = 0$ - rădăcina zero;

2) $s = s_{n,j}$

în care:

$$s_{n,j} = \frac{a_q \mu_{n,j}^2}{R_{1,2}^2} \quad (4.76)$$

$$I_0(\mu_n) = 0 \quad (4.77)$$

$$k_1 = \frac{\mu_n}{R_2} - \text{conform [61]}$$

$$I_0(\mu_n) = 0 \quad (6.78)$$

$$k_1 = \frac{\mu_n}{R_2}$$

1. Efectuăm transformările necesare în (4.54):

$$B_1 = \frac{\mu_n}{R_1} \lambda_q I_1(\mu_n) - \left(\alpha + \left(1 - \frac{\mu_n}{R_1} \right) (1 - \varepsilon) r' \beta \right) Y_0(\mu_n) \quad (4.79)$$

$$B_2 = \frac{\mu_j}{R_2} \lambda_q I_1\left(\frac{\mu_j}{R_2} R_1\right) - \left(\alpha + \left(1 - \frac{\mu_j}{R_2} \right) (1 - \varepsilon) r' \beta \right) I_0\left(\frac{\mu_j}{R_2} R_1\right) \quad (4.80)$$

Efectuăm transferările necesare în (4.55):

$$\bar{K}_1 = \frac{\mu_n}{R_1} \lambda_q Y_1(\mu_n) - \left(\alpha + \left(1 - \frac{\mu_n}{R_1} \right) (1 - \varepsilon) r' \beta \right) Y_0(\mu_n) \quad (4.81)$$

$$\bar{K}_2 = \frac{\mu_j}{R_2} \lambda_q Y_1\left(\frac{\mu_j}{R_2} R_1\right) - \left(\alpha + \left(1 - \frac{\mu_j}{R_2} \right) (1 - \varepsilon) r' \beta \right) Y_0\left(\frac{\mu_j}{R_2} R_1\right) \quad (4.82)$$

Efectuăm transferările necesare în (4.57):

$$M_1 = -\frac{\mu_n}{R_1} \lambda_q I_1\left(\frac{\mu_n}{R_2} R_1\right) - \left(\alpha + \left(1 - \frac{\mu_n}{R_1} \right) (1 - \varepsilon) r' \beta \right) I_0\left(\frac{\mu_n}{R_2} R_1\right) \quad (4.83)$$

$$M_2 = -\frac{\mu_j}{R_2} \lambda_q I_1(\mu_j) - \left(\alpha + \left(1 - \frac{\mu_j}{R_2} \right) (1 - \varepsilon) r' \beta \right) I_0(\mu_j) \quad (4.84)$$

Efectuăm transferările necesare în (4.58):

$$H_1 = -\frac{\mu_n}{R_1} Y_1\left(\frac{\mu_n}{R_1} R_2\right) - \left(\alpha + \left(1 - \frac{\mu_n}{R_1} \right) (1 - \varepsilon) r' \beta \right) Y_0\left(\frac{\mu_n}{R_1} R_2\right) \quad (4.85)$$

$$H_2 = -\frac{\mu_j}{R_2} Y_1(\mu_j) - \left(\alpha + \left(1 - \frac{\mu_j}{R_2} \right) (1 - \varepsilon) r' \beta \right) Y_0(\mu_j) \quad (4.86)$$

Efectuăm transferările necesare în (4.60):

$$P_1 = \left(\frac{\mu_n}{R_1} - \frac{\mu_n^3}{R_1^3} \right) \lambda_m I_1(\mu_n) + \frac{\mu_n}{R_1} \lambda_m \delta I_1(\mu_n) + \left(1 - \frac{\mu_n^2}{R_1^2} \right) \beta I_0(\mu_n) \quad (4.87)$$

$$\begin{aligned}
 P_2 = & \left(\frac{\mu_j}{R_2} - \frac{\mu_j^3}{R_2^3} \right) \lambda_m I_1 \left(\frac{\mu_j}{R_2} R_1 \right) + \frac{\mu_j}{R_2} \lambda_m \delta I_1 \left(\frac{\mu_j}{R_2} R_1 \right) + \\
 & + \left(1 - \frac{\mu_j^2}{R_2^2} \right) \beta I_0 \left(\frac{\mu_j}{R_2} R_1 \right)
 \end{aligned} \tag{4.88}$$

Efectuăm transferările necesare în (4.61):

$$\begin{aligned}
 X_1 = & \left(\frac{\mu_n}{R_1} - \frac{\mu_n^3}{R_1^3} \right) \lambda_m Y_1(\mu_n) + \frac{\mu_n}{R_1} \lambda_m \delta I_1(\mu_n) + \\
 & + \left(1 - \frac{\mu_n^2}{R_1^2} \right) \beta Y_0(\mu_n)
 \end{aligned} \tag{4.89}$$

$$\begin{aligned}
 X_2 = & \left(\frac{\mu_j}{R_2} - \frac{\mu_j^3}{R_2^3} \right) \lambda_m Y_1 \left(\frac{\mu_j}{R_2} R_1 \right) + \frac{\mu_j}{R_2} \lambda_m \delta Y_1 \left(\frac{\mu_j}{R_2} R_1 \right) + \\
 & + \left(1 - \frac{\mu_j^2}{R_2^2} \right) \beta Y_0 \left(\frac{\mu_j}{R_2} R_1 \right)
 \end{aligned} \tag{4.90}$$

Efectuăm transferările necesare în (4.63):

$$\begin{aligned}
 A_1 = & \left(\frac{\mu_n}{R_1} - \frac{\mu_n^3}{R_1^3} \right) \lambda_m I_1 \left(\frac{\mu_n}{R_1} R_2 \right) + \frac{\mu_n}{R_1} \lambda_m \delta I_1 \left(\frac{\mu_n}{R_1} R_2 \right) + \\
 & + \left(1 - \frac{\mu_n^2}{R_1^2} \right) \beta I_0 \left(\frac{\mu_n}{R_1} R_2 \right)
 \end{aligned} \tag{4.91}$$

$$A_2 = \left(\frac{\mu_j}{R_2} - \frac{\mu_j^3}{R_2^3} \right) \lambda_m I_1(\mu_j) + \frac{\mu_j}{R_2} \lambda_m \delta I_1(\mu_j) + \left(1 - \frac{\mu_j^2}{R_2^2} \right) \beta I_0(\mu_j) \quad (4.92)$$

Efectuăm transferările necesare în (4.64):

$$T_1 = \left(\frac{\mu_n}{R_1} - \frac{\mu_n^3}{R_1^3} \right) \lambda_m Y_1 \left(\frac{\mu_n}{R_1} R_2 \right) + \frac{\mu_n}{R_1} \lambda_m \delta Y_1 \left(\frac{\mu_n}{R_1} R_2 \right) + \left(1 - \frac{\mu_n^2}{R_1^2} \right) \beta Y_0 \left(\frac{\mu_n}{R_1} R_2 \right) \quad (4.93)$$

$$T_2 = \left(\frac{\mu_j}{R_2} - \frac{\mu_j^3}{R_2^3} \right) \lambda_m Y_1(\mu_j) + \frac{\mu_j}{R_2} \lambda_m \delta Y_1(\mu_j) + \left(1 - \frac{\mu_j^2}{R_2^2} \right) \beta Y_0(\mu_j) \quad (4.94)$$

$$b_1 = \alpha(t_0 - t_c) + (1 - \varepsilon) r' \beta (\theta_p - \theta_0) - \frac{\alpha Q}{\rho c_q} R \quad (4.95)$$

$$b_1 = \beta (\theta_p - \theta_0) + \frac{2Q\beta}{\varepsilon r' c_T} R \quad (4.96)$$

Originalul imaginilor (4.74) și (4.75) va fi următorul [80]:

$$L^{-1} \left[\frac{\Phi_1(s)}{\Psi_1(s)} \right] = \frac{\Phi_{01}(s)}{\Psi'_0(s)} + \sum_{n,j=1}^{\infty} \frac{\Phi_1(s_{n,j})}{\Psi'_1(s_{n,j})} \exp(s_{n,j} \tau) \quad (4.97)$$

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

$$L^{-1} \left[\frac{\Phi_2(s)}{\Psi_1(s)} \right] = \frac{\Phi_{02}(s)}{\Psi'_0(s)} + \sum_{n,j=1}^{\infty} \frac{\Phi_2(s_{n,j})}{\Psi'_1(s_{n,j})} \exp(s_{n,j}\tau) \quad (4.98)$$

$$\Psi'_1(s_{n,j}) = (s_{n,j}^3)' = 3s_{n,j}^2$$

$$\Psi'_0(0) = 0.$$

$$\text{Prin urmare } \frac{\Phi_{01}(0)}{\Psi'_0(0)} = 0 \text{ și } \frac{\Phi_{02}(0)}{\Psi'_0(0)} = 0$$

Pentru rădăcinile diferite de zero ecuația (4.97) va avea forma următoare:

$$\begin{aligned} \sum_{n,j=1}^{\infty} \frac{\Phi_1(s_{n,j})}{\Psi_1(s_{n,j})} &= \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{D_1 I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R_1} \right) \mu_n^2 a_q}{3R_1^2} - \frac{D_2 Y_0 \left(\frac{\mu_n r}{R_1} \right) \mu_n^2 a_q}{3R_1^2} \right) \exp \left(-\mu_n^2 \frac{a_q \tau}{R_1^2} \right) + \\ &+ \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{D_3 I_0 \left(\frac{\mu_j r}{R_2} \right) \mu_j^2 a_q}{3R_2^2} - \frac{D_4 Y_0 \left(\frac{\mu_j r}{R_2} \right) \mu_j^2 a_q}{3R_2^2} - \frac{Q}{3\rho c_q} \right) \exp \left(-\mu_j^2 \frac{a_q \tau}{R_2^2} \right) \end{aligned} \quad (4.99)$$

Înlocuim $\frac{a_q \tau}{R_1^2} = F_0$ - criteriul Furie

$$\frac{a_q \tau}{R_2^2} = \frac{R_1^2}{R_2^2} F_0$$

Deci, rezolvarea problemei pentru câmpul nestaționar al potențialului de transfer de căldură va fi următoarea:

$$t(r, \tau) = t_0 + (t_m - t_0) \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{D_1 I_0 \left(\frac{\mu_n}{R_1} r \right) \mu_n^2 a_q}{3R_1^2} - \frac{D_2 Y_0 \left(\frac{\mu_n}{R_1} r \right) \mu_n^2 a_q}{3R_1^2} \right) \exp(-\mu_n^2 F_0) - \right. \quad (4.100)$$

$$\left. - \sum_{j=1}^{\infty} \left(\frac{D_3 I_0 \left(\frac{\mu_j}{R_2} r \right) \mu_j^2 a_q}{3R_2^2} - \frac{D_4 Y_0 \left(\frac{\mu_j}{R_2} r \right) \mu_j^2 a_q}{3R_2^2} - \frac{Q}{3\rho c_q} \right) \exp\left(-\mu_j^2 \frac{R_1^2}{R_2^2} F_0\right) \right\}$$

Pentru rădăcinile diferite de zero ecuația (4.98) va primi forma:

$$\sum_{n,j=1}^{\infty} \frac{\Phi_2(s_{n,j})}{\Psi_1(s_{n,j})} = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{D_1 \left(1 - \frac{\mu_n^2}{R_1^2} \right) I_0 \left(\frac{\mu_n}{R_1} r \right) \mu_n^2 a_q}{3R_1^2} + \frac{D_2 \left(1 - \frac{\mu_n^2}{R_1^2} \right) Y_0 \left(\frac{\mu_n}{R_1} r \right) \mu_n^2 a_q}{3R_1^2} \right) \times$$

$$\times \exp(-\mu_n F_0) + \sum_{j=1}^{\infty} \left(\frac{D_1 \left(1 - \frac{\mu_n^2}{R_1^2} \right) I_0 \left(\frac{\mu_n}{R_1} r \right) \mu_n^2 a_q}{3R_1^2} + \frac{D_2 \left(1 - \frac{\mu_n^2}{R_1^2} \right) Y_0 \left(\frac{\mu_n}{R_1} r \right) \mu_n^2 a_q}{3R_1^2} - \right. \quad (4.101)$$

$$\left. - \frac{Q}{3\varepsilon \rho c_T} \right) \exp\left(-\mu_j^2 \frac{R_1^2}{R_2^2} F_0\right)$$

Rezolvarea problemei pentru câmpul nestaționar al potențialului de transfer de masă la exprimarea conținutului de masă prin conținutul de umiditate $\left(U = \frac{\theta}{c'_T} \right)$ va fi următoarea:

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

$$\begin{aligned}
 u_0 - u(r, \tau) = (u_0 - u_e) & \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{D_1 \left(1 - \frac{\mu_n^2}{R_1^2}\right) I_0 \left(\frac{\mu_n r}{R_1}\right) \mu_n^2 a_q}{3R_1^2} + \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{D_2 \left(1 - \frac{\mu_n^2}{R_1^2}\right) Y_0 \left(\frac{\mu_n r}{R_1}\right) \mu_n^2 a_q}{3R_1^2} \right] \exp(-\mu_n F_0) + \right. \\
 & \left. \sum_{j=1}^{\infty} \left[\frac{D_3 \left(1 - \frac{\mu_j^2}{R_2^2}\right) I_0 \left(\frac{\mu_j r}{R_2}\right) \mu_j^2 a_q}{3R_2^2} + \frac{D_4 \left(1 - \frac{\mu_j^2}{R_2^2}\right) Y_0 \left(\frac{\mu_j r}{R_2}\right) \mu_j^2 a_q}{3R_2^2} - \right. \right. \\
 & \left. \left. - \frac{Q}{3\varepsilon\rho_c\tau} \right] \exp\left(-\mu_j \frac{R_1^2}{R_2^2} F_0\right) \right\} \quad (4.102)
 \end{aligned}$$

Efectuăm următoarele însemnări:

$$\left. \begin{aligned}
 D_{n1} &= -\frac{D_1 a_q}{3R_1^2}; D_{n4} = -\frac{D_4 a_q}{3R_2^2}; \\
 D_{n2} &= -\frac{D_2 a_q}{3R_1^2}; D_{n5} = -\frac{Q}{3\rho_c}; \\
 D_{n3} &= -\frac{D_3 a_q}{3R_2^2}; D_{n5}^* = -\frac{2Q}{3\rho_c'};
 \end{aligned} \right\} \quad (4.103)$$

Astfel, forma finală a ecuațiilor diferențiale la transferul intern de masă și de căldură pentru cilindrul gol nelimitat va fi:

$$\begin{aligned}
 t(r, \tau) = t_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[D_{n1} I_0 \left(\frac{\mu_n}{R_1} r \right) \mu_n^2 + D_{n2} Y_0 * \right. \\
 \left. * \left(\frac{\mu_n}{R_1} r \right) \mu_n^2 \right] \exp(-\mu_n^2 F_0) + \sum_{j=1}^{\infty} \left[D_{n3} I_0 \left(\frac{\mu_j}{R_2} r \right) \mu_j^2 + \right. \\
 \left. + D_{n4} Y_0 \left(\frac{\mu_j}{R_2} r \right) \mu_j^2 + D_{n5} \right] \exp \left(-\mu_j^2 \frac{R_1^2}{R_2^2} F_0 \right) \quad (4.104)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 u(r, \tau) = u_0 - \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{D_{n1}}{c'_T} \left(1 - \frac{\mu_n^2}{R_1^2} \right) I_0 \left(\frac{\mu_n}{R_1} r \right) \mu_n^2 + \right. \\
 \left. + \frac{D_{n2}}{c'_T} \left(1 - \frac{\mu_n^2}{R_1^2} \right) Y_0 \left(\frac{\mu_n}{R_1} r \right) \mu_n^2 \right] \exp(-\mu_n^2 F_0) - \\
 - \sum_{j=1}^{\infty} \left[\frac{D_{n3}}{c'_T} \left(1 - \frac{\mu_j^2}{R_2^2} \right) I_0 \left(\frac{\mu_j}{R_2} r \right) \mu_j^2 + \right. \\
 \left. + \frac{D_4}{c'_T} \left(1 - \frac{\mu_j^2}{R_2^2} \right) Y_0 \left(\frac{\mu_j}{R_2} r \right) \mu_j^2 - D_{n5}^* \right] \exp \left(-\mu_j^2 \frac{R_1^2}{R_2^2} F_0 \right) \quad (4.105)
 \end{aligned}$$

4.2. Verificarea modelului matematic coincidenței datelor experimentale

Ecuatiile obținute pentru temperatură (4.104) și umiditate (4.105) au fost verificate la compararea datelor obținute prin calcul cu curbele de uscare și curbele de temperatură obținute experimental la uscarea ardeiului iute prin procedeul combinat – prin convecție și UHF.

Pentru verificare a fost folosit criteriul statistic Fișer. Preventiv a fost necesar de determinat temperatura și umiditatea medie dintre pereții cilindrului gol nelimitat. Ele se calculează după formulele:

$$\bar{T}(\tau) = \frac{2}{R_2^2} \int_0^{R_2} rT(r, \tau) - \frac{2}{R_1^2} \int_0^{R_1} rT(r, \tau) \quad (4.106)$$

$$\bar{U}(\tau) = \frac{2}{R_2^2} \int_0^{R_2} rU(r, \tau) - \frac{2}{R_1^2} \int_0^{R_1} rU(r, \tau) \quad (4.107)$$

Cu ajutorul formulelor (4.106) și (4.107) ecuațiile (4.104) și (4.105) se reprezintă în forma următoare:

$$\begin{aligned}
 \bar{T}(\tau) = & \frac{2}{R_2^2} \int_0^{R_2} r t_0 dr + \frac{2}{R_2^2} \int_0^{R_2} r \left[\sum_{n=1}^{\infty} \left[D_{n1} I_0 \left(\frac{\mu_n}{R_1} r \right) \mu_n^2 + D_{n2} Y_0 \left(\frac{\mu_n}{R_1} r \right) \mu_n^2 \right] \times \right. \\
 & \times \exp(-\mu_n^2 F_0) + \sum_{j=1}^{\infty} \left[D_{n3} I_0 \left(\frac{\mu_j}{R_2} r \right) \mu_j^2 + D_{n4} Y_0 \left(\frac{\mu_j}{R_2} r \right) \mu_j^2 + D_{n5} \right] \times \\
 & \times \exp \left(-\mu_j^2 \frac{R_1^2}{R_2^2} F_0 \right) \left. \right] dr - \frac{2}{R_2^2} \int_0^{R_1} r t_0 dr - \frac{2}{R_2^2} \int_0^{R_1} r \left[\sum_{n=1}^{\infty} \left[D_{n1} I_0 \left(\frac{\mu_n}{R_1} r \right) \mu_n^2 + \right. \right. \\
 & + D_{n2} Y_0 \left(\frac{\mu_n}{R_1} r \right) \mu_n^2 \left. \right] \times \exp(-\mu_n^2 F_0) - \sum_{j=1}^{\infty} \left[D_{n3} I_0 \left(\frac{\mu_j}{R_2} r \right) \mu_j^2 + \right. \\
 & \left. \left. + D_{n4} Y_0 \left(\frac{\mu_j}{R_2} r \right) \mu_j^2 + D_{n5} \right] \times \exp \left(-\mu_j^2 \frac{R_1^2}{R_2^2} F_0 \right) \right] dr \quad (4.108)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{U}(\tau) = & \frac{2}{R_2^2} \int_0^{R_2} r u_0 dr + \frac{2}{R_2^2} \int_0^{R_1} r \left[\sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{D_{n1}}{c'_T} \left(1 - \frac{\mu_n^2}{R_1^2} \right) I_0 \left(\frac{\mu_n}{R_1} r \right) \mu_n^2 + \right. \right. \\
 & + \frac{D_{n2}}{c'_T} \left(1 - \frac{\mu_n^2}{R_1^2} \right) Y_0 \left(\frac{\mu_n}{R_1} r \right) \mu_n^2 \left. \right] \exp(-\mu_n^2 F_0) + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{D_{n3}}{c'_T} \left(1 - \frac{\mu_j^2}{R_2^2} \right) \times \right. \\
 & \times I_0 \left(\frac{\mu_j}{R_2} r \right) \mu_j^2 + \frac{D_{n4}}{c'_T} \left(1 - \frac{\mu_j^2}{R_2^2} \right) Y_0 \left(\frac{\mu_j}{R_2} r \right) \mu_j^2 \left. \right] \exp \left(-\mu_j^2 \frac{R_1^2}{R_2^2} F_0 \right) \left. \right] dr - \quad (4.109) \\
 & - \frac{2}{R_1^2} \int_0^{R_1} r u_0 dr + \frac{2}{R_1^2} \int_0^{R_1} r \left[\sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{D_{n1}}{c'_T} \left(1 - \frac{\mu_n^2}{R_1^2} \right) I_0 \left(\frac{\mu_n}{R_1} r \right) \mu_n^2 + \right. \right. \\
 & + \frac{D_{n2}}{c'_T} \left(1 - \frac{\mu_n^2}{R_1^2} \right) Y_0 \left(\frac{\mu_n}{R_1} r \right) \mu_n^2 \left. \right] \exp(-\mu_n^2 F_0) - \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{D_{n3}}{c'_T} \left(1 - \frac{\mu_j^2}{R_2^2} \right) \times \right. \\
 & \left. \left. \times I_0 \left(\frac{\mu_j}{R_2} r \right) \mu_j^2 + \frac{D_{n4}}{c'_T} \left(1 - \frac{\mu_j^2}{R_2^2} \right) Y_0 \left(\frac{\mu_j}{R_2} r \right) \mu_j^2 \right] \exp \left(-\mu_j^2 \frac{R_1^2}{R_2^2} F_0 \right) \right] dr
 \end{aligned}$$

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

Ecuatiile (4.107) și (4.108) pot fi expuse într-o formă simplificată:

$$T = C_1 + A_1 e^{B_1 \tau} \quad (4.110)$$

$$U = C_2 + A_2 e^{B_2 \tau} \quad (4.111)$$

Verificarea coincidenței modelului matematic datelor experimentale a fost efectuată pentru cazul uscării combinate cu temperatura agentului termic 60°C și intensitatea câmpului electromagnetic 16500 V/m în limitele de timp 0 ... 35 min.

Pentru determinarea constantelor din ecuațiile (4.110) și (4.111) este rațional de a le transfera într-o formă lineară. Linearizarea ecuațiilor se poate obține prin logaritizarea lor:

$$\ln(T - C_1) = \ln A_1 + B_1 \tau \quad (4.112)$$

$$\ln(U - C_2) = \ln A_2 + B_2 \tau \quad (4.113)$$

Valoarea constantei C_1 a fost calculată după metoda indicată în [132].

$$C_1 = \frac{T_2 T_1 - T_3^2}{T_1 + T_2 + 2T_3} \quad (4.114)$$

Valorile experimentale ale temperaturilor T_1 , T_2 și T_3 din ecuația (4.114) au fost fixate în momentele de timp corespunzător τ_1 , τ_2 și τ_3 , în care:

$$\tau_3 = \frac{1}{2}(\tau_1 + \tau_2) \quad (4.115)$$

Dacă de fixat temperatura produsului la $\tau_1=5$ min, $\tau_2=25$ min și corespunzător $\tau_3=15$ min, apoi vom obține $T_1=80$ °C, $T_2=120$ °C și $T_3=104$ °C. Pentru Aceste valori $C_1 = -3$.

Datorită faptului că ecuațiile (4.112) și (4.113) sunt lineare, valorile constantelor $\ln A_1$ și B_1 au fost determinate prin metoda celor mai mici pătrate [14, 34].

Înlocuind în (4.110) coeficienții obținuți, ecuația pentru temperaturile produsului va fi:

$$\hat{T}(\tau) = 58e^{0.02\tau} \quad (4.116)$$

în care $\hat{T}(\tau)$ se exprimă în °C

Pentru verificarea coincidenței rezultatelor calcului formulei (4.116) datelor experimentale, în tabela 4.1 sunt indicate valorile temperaturilor ardeiului iute obținute prin calcul și experimental pentru diferite momente de timp ale procedurii combinat de uscare – prin convecție și UHF.

N	1	2	3	4	5	6	7	8
τ, min	0	5	10	15	20	25	30	35
$T, \text{°C}$	60	80	100	104	120	120	120	120
$\hat{T}, \text{°C}$	60	66.3	73.2	80.8	89.1	98.3	108.4	119.5

Conform datelor din tabela 4.1 a fost calculat criteriul Fișer, care constituie 4.5. Valoarea tebelică a acestui criteriu pentru nivelul de semnificație $q = 5\%$ este de 4.22.

Aceasta confirmă faptul, că reieșind din valorile criteriului Fișer, ecuația obținută coincide datelor experimentale.

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

Analogic au fost determinați coeficienții din ecuația (4.111).

Pentru calculul constantei C_2 au fost luate următoarele umidități: $u_1=36\%$, $u_2=6\%$ și $u_3=21\%$. Coeficienții obținuți ne-au permis să redăm ecuația umidității în forma următoare:

$$\hat{U}(\tau) = -39 + 73.6e^{-0.02\tau} \quad (4.117)$$

în care $\hat{U}(\tau)$ se exprimă în %.

Ca și în cazul precedent, pentru verificarea coincidenței rezultatelor calcului formulei (4.117) datelor experimentale, în tabela 4.2 sunt indicate valorile umidităților ardeiului iute obținute prin calcul și experimental pentru diferite momente de timp a procedurii combinat de uscare – prin convecție și UHF.

N	1	2	3	4	5	6	7	8
τ, min	0	5	10	15	20	25	30	35
U, %	36.0	31.2	26.4	21.3	17.0	12.5	9.0	6.6
$\hat{U}, \%$	34.8	27.5	21.25	15.5	10.3	5.6	1.35	0

Pentru umiditate criteriul Fisher calculat este $F = 5.3$ iar cel din tabel $F_t = 4.22$.

Astfel modelul matematic obținut pentru temperatura (4.116) și umiditatea (4.117) produsului descrie procedeul de uscare destul de adecvat. Utilizând acest model matematic se poate de determinat temperatura ardeiului iute în ori și care moment al procesului de uscare cu precizia de 18 % și umiditatea produsului cu precizia de 43 %.

5. REALIZAREA TEHNICĂ A PROCESULUI DE USCARE A ARDEIULUI IUTE ÎN CÂMP UHF.

Pe tot parcursul prelucrării și păstrării ardeiului iute vom acorda o deosebită atenție integrității calităților inițiale, constituind ardeiul iute ca material medico-biologic.

Actualmente, în condițiile industriei producătoare, uscarea ardeiului iute se efectuează prin metoda convectivă la soare, în uscătorii tunel sau cu transportoare.

Așa metode de uscare, din punct de vedere tehnologic conțin un șir de dezavantaje, care sunt menționate și în [57, 59, 82, 146, 150, 159]:

1. Durata de prelucrare este prea îndelungată, ce provoacă apariția proceselor biochimice nedorite, însoțite de prezența micro- și macroflorei [82].

2. Construcția complicată a instalațiilor de uscare - din cauza condițiilor climaterice neregulate pe parcursul perioadei de uscare.

După cum au arătat cercetările noastre, aceste neajunsuri pot fi lichidate total s-au parțial folosind metoda combinată – prin convecție în îmbinare cu UHF.

5.1. Construcția instalației de uscare propusă.

În baza cercetărilor efectuate a fost propusă instalația de uscare a ardeiului iute cu aport de energie termică prin convecție în combinație cu câmpurile UHF. În fig. 5.1. este redată imaginea generală a acestei instalații.

Instalația de uscare prezintă o construcție modulară polietajeră cu o bandă de conveier nelimitată. Ea este formată din câteva module sub formă de cutii de oțel alungite pe

orizontală și suprapuse unul peste altul. Fiecare etaj al instalației prezintă un modul de uscare autonom. Cutia fiecărui etaj confecționată din metal feros este ermetică și instalată pe o ramă cu grindă de profil P.

Fiecare cutie de oțel este asigurată de un scut din material termoizolant. Scuturile termoizolante sunt instalate pe toată lungimea cutiei, acoperind astfel întreaga suprafață și formând un șir succesiv de panouri blocate 17 și mobile 18. După fiecare scut blocat este instalat unul mobil cu scopul de a controla periodic elementele interne ale cutiei și de a regla și repara utilajul.

Pe peretele intern al cutiei se fixează o cornieră, iar pe suprafața internă a rafturilor este sudată o vergea metalică cu secțiune transversală pătrată.

Pe bara, ce servește ca ghidaj, se deplasează lanțul transportorului 8.

Transportorul cu lanț 8 este înzestrat cu o pîază purtătoare, executată sub formă de grilă. Ramura diperioară a lanțului transportorului este considerată lucrătoare. La aranjarea cutiilor în etaje, fiecare lanț al transportorului este plasat strict unul sub celălalt, în așa mod ca să fie respectată coincidența axei longitudinală. Fiecare din transportoare este înzestrat cu mecanism de acționare autonom.

Mecanismul de acționare constă dintr-un motor electric, variator și reductor cinematic prin lanțul emițător cu steluță. Această steluță rotește axa, pe care sunt instalate steluțele intermediare, unite cinematic cu mecanismul de acționare a transportorului, cu mecanismul de acționare a agitatorului 9 sau compactorul 14 al produsului uscat.

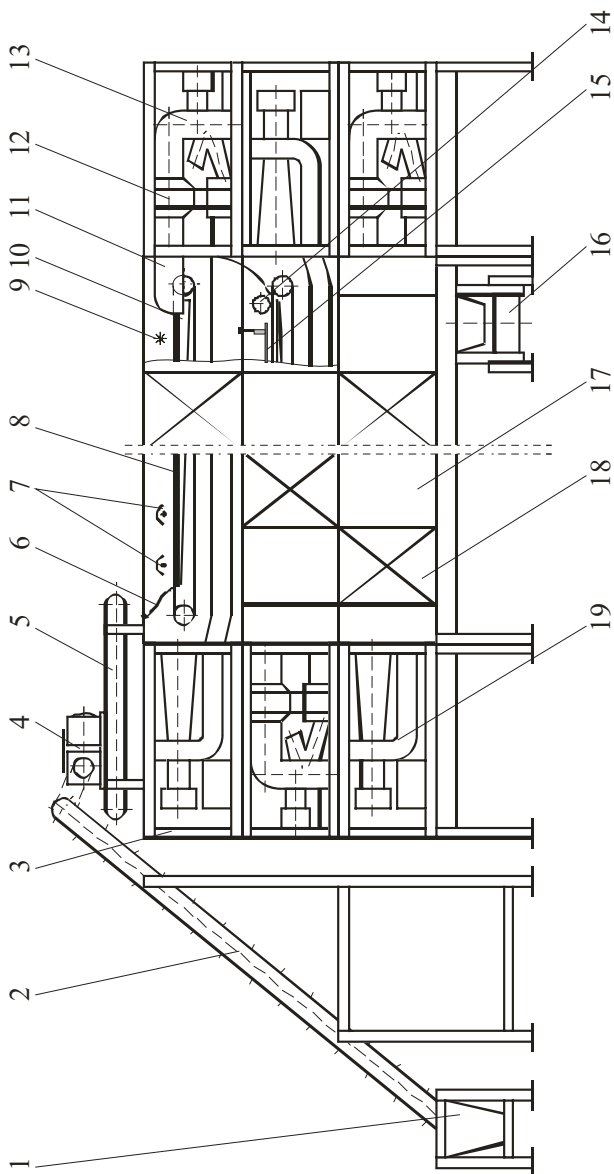


Fig. 5.1. Instalație de uscare a fructelor și legumelor (ardeiului iute) prin convecție și în câmp electromagnetic de frecvență înaltă

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

Agitatorul 9 prezintă bare din material elastic de diferită înălțime și fixate pe axă cilindrică, Aceste bare servesc la prevenirea formării glomerulelor.

Compactorul produsului prezintă un tambur acoperit cu un strat de cauciuc și fixat pe o axa. El este înzestrat cu un dispozitiv care permite schimbarea intervalului dintre tambur și bandă, și în așa mod reglează densitatea produsului supus uscării.

Pe axa agitatorului și compactorului sunt instalate steluțe unite prin lanț de transmisie cu una din steluțele intermediare.

Agitatorul este instalat la începutul etajului superior, iar condensatorul este aranjat la începutul etajului doi și al celui inferior.

Fiecare etaj conține o placă înclinată predestinată creării condițiilor de trecere a ardeiului iute de la un etaj la altul.

Deasupra ramurii a doua și celei de a treia a transportorului sunt instalați electrozi sub formă de plăci care înlocuiesc una din lamelele celei de funcționare a condensatorului. În calitate de a doua lamelă servește însăși banda transportorului unită cu pământul.

Electrozii sunt fixați la corpul instalației de uscare prin intermediul unor garnituri dielectrice. Garniturile dielectrice sunt înzestrate cu instalații speciale ce permit deplasarea electrozilor pe verticală și dau în așa mod posibilitatea de a regla distanța dintre electrozi și suprafața benzii lucrătoare.

Electrozii sunt confecționați din tablă inoxidabilă și perforată. Lungimea fiecărui electrod este de 0,5 m. Lățimea se alege reieșind din lungimea benzii transportorului. Pe toată lungimea benzii lucrătoare electrozii sunt distribuiți cu un pas de 1.5 m.

Alimentarea cu curent de frecvență înaltă a instalației este efectuată de generatorul, cu un regim de frecvență de 27 MHz și o putere de 25 kW. Toți electrozii sunt uniți pe blocuri. Fiecare bloc conține patru electrozi. Aceasta permite de a schimba și introduce unui program anticipat succesiv diferite blocuri ajungând astfel la racordul necesar.

Toți electrozii sunt conectați coaxial la un ghid de unde de frecvență înaltă, prin intermediul unui conductor individual din placă elastică. Distanța de la toate elementele de voltaj înalt până la suprafața ecranizată se alege luând în considerație apariția inducției și volumelor parazitare.

Pentru a evita apariția undelor staționare în spațiile electrozilor, distanța dintre punctele de intersecție a conductoarelor elastice și capetele electrozilor, nu trebuie să depășească a patra parte din lungimea undelor electromagnetice a câmpului, adică $l < \lambda/4$.

Instalația este prevăzută de un buncăr de alimentare 1 cu produsul inițial, care se deplasează la etajul superior de un transportor înclinat cu raclete 2. Cel din urmă este un transportor pânza purtătoare a căruia reprezintă o bandă cauciucată având raclete fixate de-a curmezișul.

Deasupra etajului superior a uscătoriei este montat dispozitivul de stivuire 4, care asigură deplasarea produsului sub forma unui strat, aranjând în așa mod produsul uniform pe toată suprafața transportorului de lucru. Mecanismul de acționare a dispozitivului de stivuire reprezintă o transmisie cu lanț, unit la transportorul cu raclete 2. Dispozitivul de stivuire conține un valț cauciucat, care prin interacțiune cu valțul susnumit și pânza transportorului de alimentare 5 formează un monostrat de produs uscat.

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

Pe ramura goală a transportoarelor cu lanț a primului etajul superior al doilea sunt instalate epuratoarele transportorului cu grilă, executate sub formă de cleme sau cuțițe.

Sub etajul inferior este montat transportorul de descărcare cu bandă 16, condițiile necesare ce asigură răcirea produsului până la 40-50 °C reprezintă lungimea și viteza deplasării benzii.

Aerul ales în calitate de agent termic este vehiculat de un ventilator centrifugal 13 și se încălzește în caloriferul cu aburi 12. Pe parcurul circulației agentul termic este debitat în conducta de aer 11, ramificată la ieșirea din cutia de oțel. Sectorul conductei în care se introduce aerul este racordat la difuzorul 10, plasat între ramura lucrătoare și cea liberă a transportorului. În sectorul superior a difuzorului sunt prevăzute ferestre cu panouri reflectoare cu scopul străbaterii fluxului termic prin pânza purtătoare a transportorului cu lanț de jos în sus. Injectarea purtătorului de căldură spre etajul superior al uscătoriei se efectuează prin tronsonul drept a cutiei de oțel, iar din partea superioară din stînga ventilatorul centrifug 19 absoarbe agentul termic. În partea inferioară a etajelor instalației ciclul de pompare-absorbție se alternează succesiv: atunci când în penultimul etaj superior are loc pomparea purtătorului de căldură - în sectorul superior drept are loc absorbția.

Poziția din dreaptă și cea din stînga se determină în felul următor: dacă față observatorului, care privește spre latura lungă a cutiei de oțel, buncărul de alimentare este plasat în stînga, atunci vehicularea agentului de uscare are loc de la stînga la dreapta, adică în direcția pânzei mișcătoare a transportorului cu lanț.

Procesul de uscare a instalației este dirijat de un sistem automat de reglare.

5.2 Principiul de lucru a instalației de uscare propusă

Procesul de uscare în instalația modulară multietajată se efectuează în felul următor: fructele și legumele cu umiditatea naturală din buncărul de alimentare sunt îndreptate pe pânza transportorului cu lanț 8 a etajului superior cu ajutorul transportorului înclinat și înzestrat cu raclete.

Sub controlul dispozitivului de așezare 4 se formează un strat de fructe sau legume pe toată lățimea ramurii lucrătoare de aprovizionare a transportorului 5.

Pe transportorul de bază 8 produsul se încălzește de către agentul de uscare preluat prin geamul difuzorului 10 de la caloriferul cu aburi 12. După aceasta aerul fierbinte trece prin plasa pânzei transportorului, realizând schimbul de căldură cu produsul ce se usucă.

Consumul permanent a aerului fierbinte debitat de ventilatorul centrifug, crează condiții favorabile în fiecare etaj a instalației pentru obținerea produsului final de calitate înaltă.

În timpul mișcării produsului pe prima și a doua bandă a transportorului are loc procesul convectiv de uscare.

Astfel, amestecul format din abur și aer se absoarbe de ventilatorul centrifugal prin sistemul conductei de aer și se îndreaptă parțial la recirculare, parțial în atmosferă.

Pe banda a treia produsul intră în zona de acțiune a UHF, unde are loc intensificarea procesului de uscare.

După parcurgerea camerei de lucru, produsul este divizat pe banda transportorului de descărcare 14 unde se asigură răcirea produsului până la 40-50 °C.

În așa mod se asigură uscarea convecția cu aplicarea UHF.

CONCLUZII

Cercetările intensificării procesului de uscare a produselor alimentare prin aplicarea curenților de înaltă frecvență prezintă un interes teoretic și practic predominant. Au fost studiați parametrii electrofizici și cinetica de uscare a ardeiului iute prin aportul de energie convectiv și convectiv combinat cu curenți de înaltă frecvență.

Generalizarea rezultatelor obținute prezentate în lucrare au permis formalizarea următoarelor concluzii:

1. Au fost obținute relații experimentale ale caracteristicilor electrofizice ale ardeiului iute și ale componentelor lui (pericarp și semințe) în funcție de temperatura, umiditatea materialului și frecvența câmpului electromagnetic. Tangența unghiului de pierderi $\text{tg}\delta$ și permeabilitatea dielectrică relativă ϵ' a ardeiului iute și a componentelor lui au fost determinate la variația temperaturii între 20 - 100 °C, a umidității între 0 - 36 % și a frecvenței câmpului electromagnetic între 15 - 45 MHz.

Totodată s-a stabilit, că:

1.1. Relațiile $\text{tg}\delta$ în funcție de frecvența câmpului electromagnetic atât a amestecului din semințe și pericarp, cât și a părților componente ale ardeiului iute au un caracter complex. Valoarea maximă a $\text{tg}\delta$ se manifestă în intervalul frecvențelor 25-30 MHz;

1.2. Permiabilitatea dielectrică relativă ε' a amestecului din semințe și pericarp cu sporirea frecvenței câmpului până la 27 MHz crește destul de lent și cu majorarea continue a frecvenței are loc micșorarea ε' . La semințe ε' practic nu este afectată de parametrii electromagnetici cercetați;

1.3. Dependențele $\text{tg}\delta$ și ε' ale ardeiului iute și ale părților lui componente în funcție de umiditate au un caracter nelinier vădit și la mărirea umidității crește atât $\text{tg}\delta$, cât și ε' ;

1.4. La creșterea temperaturii produsului, umiditatea căruia diferă de zero, $\text{tg}\delta$ a ardeiului iute și a părților lui componente se mărește. Pentru ardei și pericarp cu umiditate nulă în intervalul de temperaturi indicat, $\text{tg}\delta$ se menține constant, pe când $\text{tg}\delta$ a semințelor are o tendință de creștere neesențială;

1.5. Permiabilitatea dielectrică relativă a ardeiului iute și a părților lui componente cu umiditate nulă în tot intervalul de temperaturi rămâne constantă. La celelalte valori ale umidității cu creșterea temperaturii pot fi sesizate două perioade: în intervalul 20 – 80 °C și respectiv 80 – 100 °C. În prima perioadă ε' crește, iar în a doua se micșorează;

1.6. În baza investigațiilor parametrilor electrofizici:

-s-a determinat posibilitatea de uscare a amestecului din pericarp și semințe;

-s-a evidențiat frecvența optimă de lucru a generatorului - 27 MHz;

-s-a determinat umiditatea limită de 36 % a ardeiului iute până la care este posibilă aplicarea energiei câmpului electromagnetic de frecvență înaltă.

Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute.

2. Procesul convectiv de uscare se efectuează atât în perioada vitezei constante de uscare, cât și în cea a vitezei în descreștere. Uscarea prin metoda combinată are loc numai în perioada vitezei în descreștere.

3. Mărirea intensității câmpului electromagnetic de la 8,5 până la 16,5 kV/m, la temperatura agentului de uscare de 60 °C, provoacă o majorare a vitezei de uscare de 1,5 ori.

4. Regimul optim de uscare a ardeiului iute cu utilizarea procedurii combinat de aport de energie (convecția + curenții de înaltă frecvență) care asigură calitatea înaltă a produsului final și reducerea duratei procesului de uscare este estimat la intensitatea câmpului electromagnetic de 16,5 kV/m și temperatura agentului de uscare de 60 °C.

5. Analiza indicilor calitativi a arătat, că ardeiul iute uscat corespunde cerințelor indicate în STAS-14260-89.

6. A fost propus modelul matematic al procesului de uscare a ardeiului iute prin procedeul combinat al aportului de energie. Verificarea modelului matematic după criteriul Fisher a arătat, că acest model cu o precizie satisfăcătoare descrie procesul real de uscare.

7. A fost propusă construcția instalației de uscare a ardeiului iute.

BIBLIOGRAFIE

1. Алешин Л.М., Ловчев Г.Н., Лунин Н.М. Лабораторные работы по технологии производства общественного питания. — М.: Экономика, 1987. —247с.
2. Алкатьев А. Перцы и баклажаны. — М.: Московский рабочий. 1952, —78с.
3. Анализ источников погрешностей метода временной диэлектрической спектроскопии /Г.Д. Романычев и др. //Измерительная техника. - 1992. - №8. -с.61-63.
4. Arsdel W.B. Food dehydration recent advances and unsolved problems. Food Tehnology. vol.19,N4,1965.
5. Архангельская Г.А., Стародубровский П.П. Диэлектрики в электрическом поле. - Горький: ГПИ, 1973. -24с.
6. А.С. 1449903 СССР МКИ F266 17/04 Сушилка для продуктов /В.А. Тихонович и др. БИ,N1,1989.
7. Banu C. Progrese tehnice, tehnologice și științifice în industria alimentară. București: Editura Tehnică, V1, 1992. 431p.
8. Banu C. Progrese tehnice, tehnologice și științifice în industria alimentară. București: Editura Tehnică, V2, 1993. 548 p.
9. Bajij K.L., Kaur Gurdeep - Mikrochemica Acta, 1979, N1 (1-2), —p.81-86.
10. Батумер Л.М., Позин М.Е. Математические Модели в химической технологии. —Л.: Химия. Ленинградское отделение, 1971. -823 с.
11. Белик В. Перцы сладкие и острые //Приусадебный участок. N4. 1992, —с.18-22.

12. Бирюков В.А. Камерная сушка древесины в электрическом поле высокой частоты. - Л.-М.: ГОСЛЕСБУМиздат, 1950. -102с.

12. Бирюков В.А. Процессы диэлектрического нагрева и сушки древесины. - М.-Л.: Гослесбумиздат, 1961. -148с.

13. Богородицкий Н.П. и др. Теория диэлектриков. - М.-Л.: Энергия, 1965. -344с.

14. Бондарь А.Г. Математическое моделирование в химической технологии. — К.: Высшая школа, 1973. — 275 с.

15. Burits O., Berki F. Zoldseg - es gyumoleszar itas. - Budapest.: Mezogazdasagi Kiado, 1974, -p230.

16. Борисова М.Э., Койкова С.Н. Физика диэлектриков.-Л.: ЛГУ, 1979. -240с.

17. Браун В. Диэлектрики. - М.: Иностранная литература, 1961. -326с.

18. Брицын Н.Л. Нагрев в электрическом поле высокой частоты. - М.-Л.: Машиностроение,1965. -96с.

19. Вартамян М., Сиволгин Н. Сушильная установка на солнечной энергии / Советская потребительская кооперация. - 1964. - №9.

20. Вейник А.И. Термодинамика необратимых процессов. - Минск: Наука и техника, 1966. -360с.

21. Virus R.M., Gebhard G.F. Farmacologic action of capsaicin. — Life Sciences., 1979, 25, p.1273-1284.

22. Воробьев А.А. Изоляционные свойства, Прочность и разрушение диэлектриков. Новосибирск: Сибирское отд. АН СССР, 1960. — с.201.

23. Вул Б.М. Физика диэлектриков и полупроводников. - М.: Наука, 1988. -372с.

24. Ganea G. Lupașco A, Andronic L. Calculul parametrilor transportorului cu bandă aplicând mașina electronică de calcul //Material didactic. - Chișinău, I.P.C. “ S.Lazo”, 1990.-80p.

25. Гикало Г.С. Перец. — М.: Колос, 1982, — 120 с.

26. Гинзбург А.С., Громов М.А. Теплофизические характеристики картофеля, овощей и плодов. — М.: Агропромиздат. 1987, —272 с.

27. Гинзбург А.С., Невенкин С.Л., Мильчев В.А., Белчев С.Г. Обжарка раздробленных какао бобов в щелевом аппарате. ЭИ, Кондитерская промышленность, 1976, N2. — с.3-6.

28. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. — М.:Пищевая промышленность, 1973. — 528с.

29. Гинзбург А.С. Сушка пищевых продуктов. — М.: Пищепромиздат, 1960. — с.675.

30. Глуханов Н.П., Федорова И.Г. Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов в машиностроении. — Л.: Машиностроение. 1972, — 259 с.

31. Горгацев И.О. и др. Методика измерения больших диэлектрических потерь. Заводская лаборатория, 1977, N6, — с.720-721.

32. ГОСТ 13908-89 Плоды перца сладкого. Технические условия.

33. ГОСТ 14260-89 Плоды перца стручкового. Технические условия.

34. Грачев Ю.П. Математические методы планирования экспериментов. — М.: Пищевая промышленность, 1979. — 200 с.

35. Грохольский А.Л. Измерители добротности –куметры. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение. 1966. — 259 с.

36. Гуцу Е.В., Балашова Н.Н., Лазурьевский Г.В., Тимотина О.О. Вторичные метаболиты стручкового перца как факторы иммунитета. — Известия АН МССР Серия биологических и химических наук, 1982, N1. — с.24-26.

37. Гуцу Е.В., Лазурьевский Г.В. Количественное определение капсаицина в плодах CAPSICUM L. — Известия АН МССР Серия биологических и химических наук, 1983, N5. — с.61-63.

38. Гуцу Е.В., Лазурьевский Г.В. Оценка плодов перца на содержание горьких веществ. Картофель и овощи, 1983, N4. — с.28-29.

39. Дерягин В.В., Неприн С.В., Чураев. Испарение воды из капиллярно-пористых тел: Сб. Физика, химия, биология, минералогия почв СССР. — АН СССРб Наука, 1964. — с. 394.

40. Деккер А. Физика электротехнических материалов. -Л.-М.: Госэнергоиздат,1962. -255с.

41. Дж.Барфут, Дж.Тейлор. Полярные диэлектрики и их применение. - М.: МИР, 1981. -526с.

42. Dielectric Heating and Druing// Text manufacturer. - 1965. - 91. - N1085. -с.178-180.

43. Dilecco J. - J.Assoc. Offic. Anal. Chem., 1976, 59, N1. — p.1-4.

44. Dilecco J. - J.Assoc. Offic. Anal. Chem., 1979, 62, N5. — p.998-1000.

45. Долгополов Н.М. Электрофизические методы в технологии строительных материалов. — М.: Госстройиздат, 1971. — 240с.

46. Дудченко Л.Г. и др. Пряно-ароматические и пряно-вкусовые растения: Справочник. - Киев: Наукова Думка, 1989. -304с.

47. Дущенко В.П., Ганя Г.П. Сушка яблок инфракрасным излучением с применением соплового обдува. Консервная и овощесушильная промышленность, 1972, №3. — с.33-35.

48. Дущенко В.П. Исследование зависимости диэлектрической проницаемости увлажненного кварцевого песка от влагосодержания. Тр КТИППА. 1957, т.17, — с.171-172.

49. Дущенко В.П., Романовский И.А. Исследование электрофизических свойств влажных капиллярно-пористых тел в связи с различием форм связи влаги. В кн. Лыкова А.В. Тепло- и массообмен в твердых телах, жидкостях и газах. Институт тепла и массопереноса АН БССР. Минск: 1970. — с.126-135.

50. Жмакин Н.П. Тепло- и массообмен при высокочастотном нагреве влажных тел: Сб. Проблемы теплообмена при литье. Минск: 1960. — с. 172-188.

51. Журавлева В.П. Исследование диффузии влаги в капиллярно-пористых телах. Минск: Наука и техника, 1965. — с. 60-75.

52. Jurenitsch J., David M., Heresch F., Kibelka W. -Planta med. 1979, 36(1). — p.61-67.

53. Заявка 2588068 Франция, МКИ F26B 15/18. Сушилка для фруктов и овощей. /Escande H. N85114975; заявл. 1.10.85г.; опубл. 3.04.87г.

54. Зимин В.М. Библиотечка лекарственных растений: собрание народной и научной медицины. - Т.1. Санкт-Петербург: Аспект, 1993. -266с.

55. Ильясов С.Г., Красников В.В. Физические основы инфракрасного облучения пищевых продуктов. — М.: Пищевая промышленность, 1978. — 359с.

56. Иманов Л.М., Абасов Я.М. Определение диэлектрических коэффициентов при помощи куметра при больших потерях. ЖФК, 1965, 39 N2. — с.3044-3049.

57. Кавказов Ю.Л. Взаимодействия кожи с влагой. — М. — Л.: Гизлегпром. 1952. — с.320.

58. Казанский М.Ф., Луцик П.П., Олейников В.Н. Влияние влаги на нестационарный тепло- и массоперенос в капилляро-пористых телах. Сб. Тепло- и массоперенос. — 1963. т.5, — с.164.

59. Кац З.А. Производство сушеных овощей, картофеля и фруктов. — М.: Легкая и пищевая промышленность. 1984. — 216 с.

60. Kiranoudis С.Т., Maroulis S.B., Marinos-Kouris D. Моделирование и оптимизация при проектировании сушки широкого ассортимента растительных объектов. /Drying tehnol. — 1973, 11, N6, p.1271-1292.

61. Киселев В.И., Султанаев Р.М. Устройство для измерения диэлектрических свойств материалов на низких и инфранизких частотах// Приборы и техн.эксперимента. - 1991. - №2. -с.190-193.

62. Княжевская Г.С., Фирсова М.Г. Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов. -Л.: Машиностроение, 1989. -65 с.

63. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. - М.: Наука, 1977. -720с.

64. Кошляков Н.С. Уравнения в частных производных математической физики. — М.: Высшая школа, 1970. — 712 с.

65. Красников В.В. Кондуктивная сушка. М.: Энергия, 1973. — с. 288.

66. Кретов И.Т. и др. Интенсификация процесса сушки овощей и круп // Обз.инф. - М.: 1986.

67. Кузембаев К. Старчеус П.А. Электрофизические характеристики проса Изв. ВУЗов. Пищевая технология. 1977, №6, — с.105-107.

68. Куцакова В.Е., Богатырев А.Н. Интенсификация тепло- и массообмена при сушке пищевых продуктов. - М.: Агропромиздат, 1987.-236с.

69. Лазурьевский Г.В., Гуцу Е.В. Метаболиты стручкового перца.— Кишинев.: Штиинца, 1983. — 64с.

70. Лебедев П.Д. Сушка инфракрасными лучами. — М. — Л.: Госэнергоиздат, 1955.

71. Lebedev P.D. Heat and mass transfer during the drying of moist materials “Int.I.of Heating and Mass transfer”.- 1961. '4. - с.294-301.

72. Lericci C.R, Pinnavaia G, Rosa M. Dalla. Osmotic dehydration of fruit influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. J& Food Science, N5, 50, 1. —с.1217-1219, 1226

73. Лупашко А.С., Малезик И.Ф., Ганя Г.П., Котелевич Н.И. Сушка плодов шиповника с применением токов высокой частоты. //Электронная обработка материалов, 1992, N2. — с.58-61.

74. Лупашко А.С., Малезик И.Ф., Рожко В.С., Плиток В.Л. Об интенсификации процесса сушки плодов. //Электронная обработка материаллов. N1, 1995.

75. Лыков А.В., Журавлева В.П. Коэффициенты диффузии влаги влажных материалов в процессе сушки. Сб. "Тепло- и массоперенос", К., "Наукова думка", 1968. т. VI, ч. 1, с. 136-146.

76. Лыков А.В. Применение метода термодинамики необратимых процессов к исследованию тепло- и массопереноса, ИФиС. - 1965.- №9. - 3.-с.287-304.

77. Лыков А.В., Ауэрман Л.Я. Теория сушки капиллярно-пористых коллоидных материалов пищевой промышленности. — М.: Пищепромиздат. 1946, — с.9-54.

78. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория переноса энергии и вещества. Минск.: АН БССР, 1959. — с.330.

79. Лыков А.В. Теория сушки. — М.: Энергия, 1968. — 472с.

80. Лыков А.В. Теория теплопроводности. — М.: Высшая школа. 1967. — 600с.

81. Лыков А.В. Тепломасообмен (справочник). — М.: Энергия, 1968. — 472с.

82. Лыков А.В. Явление переноса в капиллярно-пористых телах. — М.: Гостехиздат, 1954. — 296 с.

83. Любутин О.С., Стецовский А.П. Измерение диэлектрических характеристик материалов с большими потерями. Измерительная техника, 1974, N2. — с.46-48.

84. Майнке Х., Гундлах Ф. Радиотехнический справочник. — М—Л.: Госэнергоиздат, т. 1, 1960, — 416с.

85. Максимов Г.А. Основные закономерности тепла и влаги при нагреве в электрическом поле высокой частоты. Сб. Труды научн. сессии посв. достиж. и задачам совр. биофизики в с/х АН СССР. 1955. — с.173-179.

86. Максимов Г.А. Сушка влажных материалов в поле ВЧ. Всесоюзное научно-техническое совещание по сушке. — М.: Профиздат, 1958, — с. 20-33.

87. Малежик И.Ф., Лупашко А.С., Берник М.П., Чеботарь И.Л. Исследование электрофизических параметров стручкового красного перца. Тез. док. на 6-ой Всесоюзной Н.Т.К. “Электрофизические методы обработки пищевых продуктов и с/х сырья”. — М.: 1989, с. 32.

88. Малежик И.Ф., Лупашко А.С., Берник М.П., Исследование электрофизических параметров стручкового перца. Тез. док. на 33-ей Н.Т.К. — Минск: 1989, с. 32. с. 65-66.

89. Малежик И.Ф., Лупашко А.С., Берник М.П., Частотные характеристики электрофизических параметров стручкового красного перца. Тез. док. на Н.Т.К. посвященной 25-летию образования К.П.И С.Лазо. — Кишинев: 1989, с. 93.

90. Машковский М.Д. Лекарственные средства ч.1. Кишинев: Картя молдовенеаскэ. 1989, — с.308-309.

91. Meisel M.N. Decongelation des denvaes alimentaires par microondes. }n: Ind. Alim. et Agric., 3, 1971, p. 297.

92. Meisel M.N. Nuvelles Applications des micro-ondes a l'industrie alimentaire. }n: Ind. Alim. et Agric., 9, 1970, p. 1050.

93. Минаковский М.М. Электрофизические характеристики влажных картонов и бумаг. //Электронная обработка материалов, 1974, N2. — с.62-67.

94. Моик И.Б. и др. Термо- и влагометрия пищевых продуктов. - М.: Агропромиздат, 1988. -304с.

95. Mudgett R.E. Electrical properties of food in microwave processind. }n: Food Technologi, 2, 1982, p. 109.

96. Мустяца В.Т., Исследование коэффициента электродиффузии влажного кпиляро-пористого материала. Электронная обработка материалов, 1988, N2.

97. Мустьяца В.Т., Лупашко А.С. Берник М.П.. Комплексное исследование электрофизических параметров красного стручкового перца. //Электронная обработка материалов. №1, 1995 с. 68-72.

98. Мустьяца В.Т., Лупашко А.С. Берник М.П.. Конвективно-высокая сушка стручкового перца. Тез. док. на Н.Т.К. посвященной тепло- и массообмену. Юрмала, 1992, с. 64.

99. Мустьяца В.Т., Лупашко А.С. Берник М.П. Сушка красного стручкового перца (*Capsicum L.*) Тез. док. на Н.Т.К. Кишинев, 1992, с. 77-78.

100. Мустьяца В.Т., Лупашко А.С. Берник М.П. Сушка стручкового перца конвективно-высококачотным способом Тез. док. на 2-ом Минском форуме посвященном тепло- и массообмену 1991, с. 120-121.

101. Мустьяца В.Т., Лупашко А.С. Берник М.П. Электрофизические параметры красного стручкового перца. Тез. док. на Всесоюзной Н.Т.К. “Проблемы влияния тепловой обработки на пищевую ценность продуктов питания”, Харьков, 1990, с. 168-169.

102. Мустьяца В.Т., Лупашко А.С. Берник М.П. Электрофизические характеристики некоторых растительных материалов. Тез. док. на Н.Т.К. Кишинев, 1990, с. 93.

103. Мустьяца В.Т., Лупашко А.С. Берник М.П. Сушка красного стручкового перца (*Capsicum annuum L.*). //Электронная обработка материалов. 12, 1995 с. 56-60.

104. Musteața V.T., Lupașco A.S., Bernic M.P. Procesul de uscarea a ardeiului. Teze la conferența termotehnicienilor români. Cluj-Napoca, 1995, p.169-172.

105. Musteața V.T., Lupașco A.S., Bernic M.P. Uscarea convectivă și cu curenți de frecvență înaltă a ardeiului iute. Teze la conferința tehnico-științifică dedicată aniversării a 30-a de la formarea U.T.M., Chișinău, 1994, p. 77-78.

106. Мустьяца В.Т., Ганя Г.П., Лупашко А.С., Ялковский В.С. Авторское свидетельство СССР № 684268, 26в, 3/34, 9/06, 1978.

107. Мустьяца В.Т. Тепло- и массообмен во влажных материалах в электрических полях высокой частоты. - Кишинев: Штиинца, 1985. -62с.

108. Narula G.K. Dielectric properties of solution - castpolu (Vinij ligene fluoride) films. Rashmi//L.Mater.Sci.-1987.- № 6, 22.- p.2006-2010.

109. Некрутман С.В. Аппараты СВЧ в общественном питании. - М.: Экономика, 1973. - 118с.

110. Ненюков С.С. Щербаков А.П. Сравнительная оценка влияния потерь при измерениях диэлектрической проницаемости резонансными методами. Метрология, 1976, N5. — с.57-61.

111. Неприн С.В., Чураев Н.В. Кинетика испарения влаги из капиллярно-пористых тел. ИФЖ. 1965, N8, 1, с.22-26.

112. Нетушил А.В. Высокочастотная сушка древесины. Сб. Применение ТВЧ в станкостроительной промышленности. — М.: ЦБТИ, 1951. — с.200-213.

113. Нетушил А.В. и др. Высокочастотный нагрев диэлектриков и полупроводников. — М — Л.: ГЭИ, 1959. — 480 с.

114. Никитина Л.М. Термодинамические коэффициенты массопереноса во влажных материалах. — М.: Энергия, 1968 — 500 с.

115. Ньюменс Д.С. Электрохимические системы. — М.: Мир, 1977, — 463с.

116. Official Analytical Methods of the American Spice Trade Association (1968) 2 Ed, ASTA., Englewood Cliffs, NJ, Method 21.0.

117. Пахомов П.Л., Некругман С.В., Велехов А.Н. Зависимость диэлектрических свойств пищевых продуктов от влажности. Электронная обработка материалов, 1975. - №1, - с.70-73.

118. Пригожин И.В. Введение в термодинамику необратимых процессов. — М.: ИЛ, 1960. — 127 с.

119. Prisacaru V. Ponomarev B. Radiații infraroșii și aplicații industriale. Editura tehnică, București, 1972.

120. Птушкин А.Т. Исследование электрофизических свойств какао бобов, арахиса и миндаля. Тр.МТИППА, 1957 N10, — с.65-78

121. Птушкин А.Т. Сушка пищевых продуктов в поле токов высокой частоты // Сушка в пищевой промышленности. - М.: Профиздат, 1958. -с.144-163.

122. Пюшнер Г. Нагрев энергией сверхвысоких частот. М.: Энергия, 1968. -312с.

123. Радионова О.П., Федорова И.Г. Использование высокочастотного нагрева в процессе сушки порошковых материалов. Сб. Применение ТВЧ в электродермии -Л.: Машиностроение, 1973. — с.137-140.

124. Ребиндер П.А. О формах связи влаги с материалами в процессе сушки. В кн. “Всесоюзное научно-техническое совещание по сушке”. М., Профиздат, 1958. -с.14-20.

125. Ребиндер П.А. и др. Физико-химические основы пищевых производств. — М.: 1952.

126. Rovel J.M. Epuration électrique des eaux vesiduaires des industries agro-alimentaires. }n: Ind. Alim. et Agric., 9-10, 1974, p. 1243.

127. Рогов И.А., Некрутман С.В. Сверхвысокочастотный нагрев пищевых продуктов.- М.: Агропромиздат, 1986. -351с.

128. Рогов И.А. Горбатов А.В. Новые физические методы обработки мясopодуков. — М.: Пищевая промышленность, 1966. — 302с.

129. Рогов А.И., Некрутман.С.В., Лысов П.В. Техника сверхвысокочастотного нагрева пищевых продуктов. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. —200 с.

130. Рогов И.А. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов. - М.: Агропромиздат, 1988. -272с.

131. Рудобашта С.П. Массоперенос в системах с твердой фазой. - М.: Химия, 1980. -248с.

132. Сканави Г.И. Физика диэлектриков (область слабых полей). Госиздат технико-теоретической литературы. — М — Л.: 1949, — 497с.

133. Соболева О.М. Перец и баклажаны. Алма-Ата.: Кайнар, 1979. — 144с.

134. Сперанский Г.А., Шелина Г.А. Применение высокочастотного нагрева для склеивания оболочковых полуформ. Сб. Промышленное применение ТВЧ. Рига, 1957, — с.338-346.

135. Staron T. s.a. La traitment des produits biologiques alimentaires par les micro-ondes. }n: Ind. Alim. et Agr., 12, 1980, p. 1305.

136. Старчеус П.А. Попов В.И. Исследование возможности интенсификации процесса сушки солода конвективно-высокочастотным способом. Тезисы докладов Всесоюзной межвузовской конференции по новым физическим методам обработки пищевых продуктов. Воронеж, 1968, — с.32-33.

137. Стецовский А.П. и др. Автоматическая установка для измерения температурных зависимостей диэлектрических характеристик вещества. Измерительная техника.

138. Таиров З. К повышению эффективности использования солнечной энергии для сушки плодов и винограда. //Гелиотехника. №5. 1983, — с.69-72.

139. Тамм И.Е. Основы теории электричества. - М.: Наука, 1989. -504с.

140. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов. М.: Энергоиздат. 1982, — 328с.

141. Темкин А.Г. Расчет коэффициентов внутреннего тепло- и саммопереноса по кривым сушки. Сб. “Исследование нестационарного тепло- и массопереноса”, Минск, “Наука и техника”, 1966. -с.190-214.

142. Торговников Г.И. Диэлектрические свойства древесины. - М.: Лесная промышленность, 1986. -128с.

143. Tudor D., Panaitescu V., Memet F. Produse de transfer termic în câmp electromagnetic. A Y-a conferență națională de termotehnică. — Cluj-Napoca, 1995, p. 111-115.

144. Умаров Г.Я., Тюрин Ю.Г., Умаров Г.Г. Разработка гелиосушительных комплексов для плодоовощных культур. //Механизация и электрификация сельского хозяйства. №1. — 1986, — с.9-11.

145. Участкин П.В. Вентиляция, кондиционирование воздуха и отопление на предприятиях легкой промышленности. — М.: Легкая индустрия, 1980. — 243 с.

146. Уэрт И., Томсон Р. Физика твердого тела. Перевод с английского. — М.: Мир, 1969, — 588 с.

147. Feîtilă C., Dobra P., Raica P., Câmpianu N. Sisteme automate numerice cu fiabilitate ridicată pentru reglări de temperatură. A Y-a conferență națională de termotehnică. — Cluj-Napoca, 1995, p. 132-137.

148. Физическая химия/ Под ред. акад. Б.П.Никольского. - 2-е изд. перераб.и доп. - Л.: Химия, 1987. - 880с.

149. Франц В. Пробой диэлектриков: — М.: Иностранная литература, 1961, — 207 с.

150. Фрид Ю.Ф. Исследование и усовершенствование производства красного молотого душистого перца. Автореферат к диссертации на соискание степени кандидата технических наук М552902 — М.1973

151. Фрид Ю.Ф., Чупахин В.Н. Резка и конвективная сушка плодов Сегединского перца. Депонированная статья ¹ 68 М.: ЦНИИТЭИПищепром, 1973.

152. Hanni P.F., Farkas D.E., Brown G.E. Design and operating parameters for a continuous centrifugal fluides bed drier (CFB). J.Food Sci., 1976, 41, N5, — p1172-1176.

153. Hegerka S. Merenu resonancnimi metodani. - Praha: SNTL, 1963. -142.

154. Holdwarth S.D. Recent devolpment in dehidration and canning. Food Manufacture, vol.44, N 11, 1969.

155. Шенк Хю Теория инженерного эксперимента. — М.: Мир, 1972, — 224 с.

156. Shen Liang C., and oth. Analysis of the parallele-disk sample holder for dielecteic permittivity measurement// IEEE Trans.Geosci. and Remote Sens.”. - 1987. - 25. - 15. -с.534-540.

157. Штанько А.В. Заготовка и использование лекарственного сырья. — Петрозаводск. 1987, — 64с.

158. Шубин Г.С. О механизме переноса вещества внутри материала в процессах конвективной сушки: Труды МТИПП — М. — Л.: ГЭИ, 1967, вып 8 — с.124-125.

159. Эфрон Б.Г. Искусственная сушка лекарственных растений. — М.: ЦБНТИмедпром. 1979, — 64с.

160. Эме Ф. Диэлектрические измерения. - М.: Химия, 1967. -223с.