

**USCAREA PRODUSELOR
OLEAGINOASE ÎN CÂMP U.H.F.
CU APORT DE ENERGIE PRIN IMPULS**



Bernic Mircea

**USCAREA PRODUSELOR OLEAGINOASE
ÎN CÂMP U.H.F. CU AOPORT DE ENERGIE
PRIN IMPULS**

Chișinău 2011

Tehnica-Info

CZU 664.86:633.85:621.3.023

În monografie sunt prezentate aspecte științifice și metodologice ale procesului de uscare a produselor oleaginoase în câmp electromagnetic U.H.F. aplicat în formă de impulsuri.

În lucrare sunt studiați parametrii electrofizici a unor produse oleaginoase și corelația acestora cu frecvența câmpului electromagnetic, umiditatea și temperatura produsului. Sunt prezentate modelările matematice ale fenomenelor de transfer la aplicarea sursei interne de căldură în formă de impulsuri. Este descrisă pe larg cinetica procesului de uscare a produselor oleaginoase prin convecție și în câmp U.H.F. continuu sau prin impuls.

Monografia este dedicată specialiștilor din industria alimentară, în special din domeniul uscării produselor agroalimentare și procesării produselor oleaginoase. Lucrarea este recomandată și profesorilor, doctoranzilor, masteranzilor și studenților școlilor superioare de învățământ.

Recenzenți:

Lupașco Andrei, dr. hab., prof. univ.;

Nistiriuc Pavel, dr., conf. univ.

Este recomandată pentru publicație de către Senatul U.T.M. din 31.05.2011, proces verbal nr.9

Descrierea CIP a Camerei Naționale a Cărții

Uscarea produselor oleaginoase în câmp U.H.F. prin impuls /

Bernic Mircea; - Ch.: „Tehnica-Info” SRL, 2011. – 271 p.

Bibliogr. p. 235-263 (333 tit.)

ISBN 978-997563-331-4

200 ex.

CZU 664.854:633.85:621.3.023

Cuprins

	Introducere	6
1	Aspecte teoretice ale procesului de uscare a produselor oleaginoase	9
1.1.	Noțiuni termodinamice în procesul de uscare	9
1.2.	Bazele teoretice și practice ale încălzirii în câmp electromagnetic prin impuls	20
1.3.	Bazele teoriei polarizării și pierderilor dielectrice ale sistemelor complexe eterogene oleaginoase	26
1.3.1.	Pierderile dielectrice	30
1.3.2.	Parametrii electrofizici al dielectricilor eterogeni complecși	30
1.4.	Tehnica și tehnologia modernă de uscare a produselor oleaginoase	33
1.4.1.	Uscarea produselor oleaginoase fără aport de căldură	35
1.4.2.	Uscarea naturală	36
1.4.3.	Uscarea artificială	42
2.	Materialle și metode de cercetare	50
2.1	Produsele oleaginoase ca obiect de cercetare	50
2.1.1.	Cătina albă	50
2.1.2.	Semințele de floarea-soarelui	55
2.1.3.	Migdalul	63
2.2.	Standul experimental de înregistrare a parametrilor electrofizici a produselor oleaginoase	68
2.2.1.	Argumentarea metodelor acceptate de înregistrare a parametrilor electrofizici	68
2.2.2.	Construcția instalației de laborator pentru cercetarea proprietăților electrofizice ale produselor oleaginoase	73
2.3.	Standul experimental de cercetare a câmpului de temperaturi în stratul de produse oleaginoase	75
2.3.1.	Descrierea instalației de laborator pentru cercetarea câmpului de temperaturi	75
2.3.2.	Metodica înregistrării câmpului de temperaturi în produsele oleaginoase	79

2.4.	Standul experimental pentru studiul cineticii procesului de uscare a produselor oleaginoase	80
2.4.1.	Descrierea instalației de laborator pentru studiul cineticii procesului de uscare prin diferite metode ale aportului de energie	80
2.4.2.	Metodica de înregistrare concomitentă a scăderii de masă și de temperatură	83
2.4.3.	Metodica de înregistrare a intensității câmpului electromagnetic	84
2.4.4.	Pregătirea probelor către experiențe și metodica realizării acestora	84
2.5.	Studiul indicilor calitativi ai produselor oleaginoase	86
2.5.1.	Determinarea conținutului de vitamina C	86
2.5.2.	Determinarea conținutului de ulei	86
3.	Cercetarea parametrilor electrofizici a produselor oleaginoase	87
3.1.	Studiul corelației dintre frecvența câmpului electromagnetic și parametrii electrofizici ai produselor oleaginoase	88
3.2.	Studiul corelației dintre umiditate și parametrii electrofizici ai produselor oleaginoase	112
3.3.	Studiul corelației dintre temperatură și parametrii electrofizici ai produselor oleaginoase	117
3.4.	Determinarea intensității optime a câmpului electromagnetic reieșind din valorile parametrilor electrofizici a produselor oleaginoase	123
4.	Studiul fenomenelor de transfer în materialele complexe eterogene oleaginoase la aplicarea sursei interne de căldură prin impuls	127
4.1.	Supozițiile teoretice și experimentale privind uscarea produselor oleaginoase la aplicarea sursei interne de căldură prin impuls	127
4.2.	Argumentarea teoretică a parametrilor impulsului discret de acționare electromagnetică asupra proceselor de transfer de masă și de căldură în produsele oleaginoase ...	141

4.3.	Determinarea intensității optime a câmpului electromagnetic la aplicarea prin impuls a sursei interne de căldură la uscarea produselor oleaginoase	155
4.4.	Determinarea parametrilor optimi a impulsului discret de acționare electromagnetică asupra produselor oleaginoase în procesul de uscare	159
5.	Aspecte teoretice și practice ale procesului de uscare a produselor oleaginoase	167
5.1.	Analiza cineticii procesului de uscare a produselor oleaginoase prin convecție	167
5.2.	Analiza cineticii procesului de uscare a produselor oleaginoase în câmp U.H.F. cu aport de energie în regim continuu	180
5.3.	Analiza cineticii procesului de uscare a produselor oleaginoase în câmp U.H.F. cu aport de energie în regim de impuls	203
5.4.	Influența parametrilor procesului de uscare la calitatea probelor uscate	217
5.5.	Realizarea tehnică a procesului de uscare a produselor oleaginoase cu aplicarea energiei U.H.F. prin impuls	224
5.5.1.	Construcția și principiul de funcționare a instalației de uscare în câmp U.H.F. cu transportor oscilant	225
5.5.2.	Construcția și principiul de funcționare a instalației de uscare cu tobă	227
5.5.3.	Construcția și principiul de funcționare a instalației de uscare verticale	230
	Bibliografie	235

INTRODUCERE

Funcționarea eficientă a complexului agro-industrial poate fi asigurată atât prin modernizarea proceselor tehnologice existente, cât și prin elaborarea și implementarea noilor metode de procesare, bazate pe linii tehnologice de eficiență înaltă.

Luând în considerație caracterul sezonier al complexului agro-industrial, nu ultimul rol îl joacă și termenii de prelucrare a materiei prime și semifabricatelor.

Una din metodele cele mai eficiente de păstrare a produselor oleaginoase este uscarea. Aceasta determină necesitatea de elaborare continue a procedeelelor noi de uscare, care să asigure calitate înaltă a produsului finit și competitivitate pe piață, crearea condițiilor pentru o prelucrare mai eficientă a producției agricole recoltate, reducerea pierderilor de materie primă și a consumului de energie [6, 8, 12, 32, 66, 111, 130, 210, 216].

Majoritatea produselor oleaginoase este prelucrată de industria alimentară în vederea obținerii produsului uscat de calitate superioară, care este considerat semifabricat tradițional pentru extragerea uleiurilor sau prelucrae în producție finită pentru alimentație.

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

a) cercetarea și aprofundarea studiului caracteristicilor fizice și a legilor de transfer de energie și transfer de masă la diferite metode de uscare;

b) studierea continue a proprietăților materialului ca obiect de uscare;

c) utilizarea celor mai noi metode fizico-chimice de cercetare care explică procesul de transfer a umidității în interiorul produsului în timpul procesului de uscare;

d) elaborarea metodicii științifice bazate pe aprecierea tehnico-economică a instalațiilor de uscare.

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

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

În prezent tehnologia procesului de uscare este legată de legitățile fundamentale ale transferului de căldură și umiditate în diferite produse inclusiv cele alimentare [216, 273, 276, 289, 293, 321, 325, 330].

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

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

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

Rezultatele acestor eforturi sunt reflectate în lucrările cercetătorilor Ginzburg A. S., Rogov I. A., Krasnikov V. V., Musteață V. T., Lupașco A. S. În aceste lucrări se conchide că utilizarea aportului de căldură cu folosirea curenților de frecvență

întă (U.H.F) și curenților de frecvență supraîntă (S.H.F.) pentru tratarea termică a produselor alimentare, inclusive și oleaginoase, este una din cele mai progresive și progresul tehnic în industria alimentară este strâns legat de utilizarea lor.

Pentru produsele oleaginoase de importanță majoră este și temperatura cu care acestea sunt tratate în procesul de uscare. Temperatura este determinată de procesele de oxidare ale uleiurilor care, ca consecință, pot diminua esențial calitatea și valoarea nutritivă a producției finite. Aplicarea prin impuls a sursei interne de căldură este o metodă cu perspectivă majoră anume din punctual de vedere al intensificării procesului la temperaturi relativ joase ale productului. Această metodă de aport a energiei la moment este în vizorul comunității științifice și este considerate de perspectivă [18, 24, 162, 180, 216, 235, 247, 289].

1. ASPECTE TEORETICE ALE PROCESULUI DE USCARE A PRODUSELOR OLEAGINOASE

1.1. Noțiuni termodinamice în procesul de uscare.

Procesele de uscare a produselor agricole, în particular oleaginoase, sunt procese complexe, bazate pe legitățile termodinamice. Fluxurile (de temperatură, umiditate, concentrație, presiune ș.a.) sunt funcții ale transferului de substanță, de energie sau de impuls, pentru cazul în care gradientii care le provoacă diferă de zero. În prezența gradientului de concentrație, apar fluxurile de difuzie (fenomenul de difuzie), în prezența diferenței de temperatură – fluxul de căldură (fenomenul conductibilității termice) și în prezența diferenței de viteze – fluxul impulsului sau a cantității de mișcare – fenomenul viscozității (legea lui Newton).

În procesul de uscare a produselor complexe eterogene, cum sunt cele agroalimentare, transferul de masă are loc nu numai datorită difuziei sau conductibilității termice în parte, dar și ca rezultat al interacțiunii acestor fenomene. Astfel, la încălzirea artificială a produsului, eliminarea umidității este consecința difuziei termice. La rândul său, aportul difuziei termice asupra procesului este influențat și de efectul de adsorbție.

În procesele de uscare, la deplasarea umidității în diferite câmpuri termice nestaționare ale produsului, se observă fenomenul viscozității sau al frecării interne. Acest fenomen influențează esențial viteza fluxului de umiditate.

Toate aceste fenomene stau la baza apariției forțelor motrice (gradientul de temperatură, de masă, de presiune ș.a.) ale transferului de căldură și de masă în procesul de uscare.

Pentru descrierea cantitativă a fluxurilor termodinamice este necesar de inclus valoarea J , numeric egală cu cantitatea mărimii fizice a fluxului transportat printr-o unitate de suprafață într-o unitate de timp. Pentru cazul difuziei, fluxul J_n determină intensitatea transferului de particule (umiditate); pentru cazul conductibilității termice J_Q , numeric el este egal cu cantitatea de căldură transferată într-o unitate de timp; și pentru fenomenul viscozității, valoarea J_P caracterizează transferul impulsului.

La general, fluxul total \mathbf{J} poate fi determinat cu formula [132]:

$$J = \int_S \vec{j} d\vec{S} \quad (1.1)$$

în care \vec{j} este densitatea fluxului termodinamic;

$d\vec{S}$ – vector, numeric egal cu suprafața elementară dS și îndreptat în direcția normală acestei suprafețe.

În cazul în care fluxul termodinamic este constant și vectorul \vec{j} , în toate punctele mediului, este același și perpendicular pe suprafață, valoarea fluxului \mathbf{J} , care trece printr-o suprafață plată S , se determină cu formula:

$$J = jS \quad (1.2)$$

în care j este valoarea absolută (modulul) al vectorului \vec{j} .

Dacă sistemul termodinamic se află în stare aproape de echilibru, atunci fluxul termodinamic \mathbf{J} este proporțional gradientului valorii fizice corespunzătoare – forței motrice.

Un mare aport în studiul teoretic al forțelor motrice ale fenomenelor de transfer și ale interacțiunii dintre ele aparține școlilor marilor savanți L. Onsager, K. Denbig, S de Grott, I. Prigojin ș.a. [119, 149, 150, 246, 333]. Valoarea acestor forțe motrice este bine determinată de principiile de linearitate și de reversibilitate ale teoriei proceselor ireversibile Onsager.

Pentru fluxuri eterogene de structură strict determinată, conform principiului linearității Onsager, se admite că, la devieri neînsemnate ale sistemului de la echilibru, există o corelație liniară dintre fluxurile J_i ($i = 1, 2, 3, \dots, m$) și forțele termodinamice X_j ($j = 1, 2, 3, \dots, m$) [59, 150].

$$J_i = \sum_{j=1}^m L_{ij} X_j \quad (1.3)$$

Coeficienții L_{ij} sunt numiți fenomenologici sau cinetici. Ei pot fi nedijagonalii (L_{ij}) sau dijagonalii (L_{ii} și L_{jj}). Componentele „nedijagonale” din ecuația (1.3.) sunt incluse de către Onsager pentru a lua în considerație diferite efecte (termodifuzic, electrodifuzic, termoelectric etc.) care sunt rezultatul „unor suprapuneri” ale interacțiunii câtorva procese ireversibile, care au loc concomitent în unele și aceleași coordonate spațiale. Ei pot fi de diferite funcții ale parametrilor de stare (temperatura, concentrația, presiunea ș.a.), dar, în același timp, nu depind de J_i și X_j și caracterizează conductibilitatea sistemului în raport cu fluxul J_i .

Valoarea X_i este dependentă de procesul descris. Astfel, pentru efectul difuziei, în calitate de parametru X_i se folosește concentrația relativă, iar coeficientul de transfer L_{ij} este coeficientul de difuzie D (legea lui Rik). Pentru cazul conductibilității termice, în calitate de X_i se folosește energia mișcării termice a moleculei, iar L_{ij} este coeficientul conductibilității termice λ (legea lui Fourier). La descrierea fenomenului viscozității, parametrul X_i este impulsul mișcării ordonate a moleculelor, iar L_{ij} – coeficientul viscozității η (legea lui Newton).

Pentru materiale omogene, cum este indicat în [6, 8], principiul de reversibilitate postulează simetria elementelor matricei L prin relația:

$$L_{ij} = L_{ji}. \quad (1.4)$$

Relația (1.4) indică prezența unei simetrii la interacțiunea reciprocă a fluxurilor.

Aceste relații au fost obținute în baza mecanicii statistice al reversibilității microproceselor în timp, cu condiția că coeficienții L_{ij} și L_{ji} sunt constanți, iar fluxurile J_i și J_j sunt independente linear și devin nule la dispariția forțelor X_i și X_j .

Relațiile (1.3 și 1.4) sunt consecință a primelor principii ale termodinamicii de neechilibru și de aceea poartă un caracter universal. Aceasta mărește valoarea lor și le face un bun instrument pentru analiza interacțiunii diferitor procese din mediul real.

Este de menționat că, din momentul apariției teoriei L. Onsager (1931), știința a trecut de la studiul unui sau altui fenomen

în parte al unui oarecare proces al sistemelor deschise, la studiul fenomenelor apărute la intersecția a mai multor procese. Aceasta, cum constată [330, 332], a influențat apropierea unui șir întreg de discipline: termodinamica (teoria schimbului de căldură și de masă), hidrodinamica și electrodinamica, mecanica solidelor și cinetica fizică ș.a.

Astfel, dacă lucrul real al unui oarecare sistem omogen independent se determina cu forța rezultantă al unui proces, apoi în continuare poate fi luat în considerație un șir întreg de procese (sisteme eterogene). În acest caz, conform legii Curie, principiul simetriei devine inutil și forțele rezultante ale proceselor pot fi examinate ca reciproce și corelate. Este vorba despre analogia proceselor și nici de cum despre reversibilitatea lor, ceea ce contrazice teoriei Onsager. Astfel, conform ecuației (1.3), multiplele efecte: termomecanic, termoelectric, termodifuzic ș.a. sunt tratate de Osanger și discipolii lui prin interacțiunea vitezelor proceselor ireversibile sub acțiunea forței rezultante constante, care, după cum menționează [119, 264, 331] nu este adecvat. Atkin V. explică cauza apariției acestor efecte drept consecința suprapunerii forțelor rezultante variabile, astfel cum se petrece în mecanică – accelerarea și frecarea (Newton), în electrodinamică – curentul electric, conductibilitatea electrică, rezistența electrică ș.a. (Maxwell).

În sistemul deschis, în orice punct material al ei, rezultantele forțelor sunt dependente de parametrii acestui punct (temperatură, concentrație, presiune s.a.). Deci, în acest caz, este adecvată relația [331]:

$$J_i = L_{ii} \sum X_i = L_{ii} \sum X_{ij} = L_{ij} \sum X_{ij} , \quad (1.5)$$

în care X_{ij} sunt componentele forței rezultante, $X_i = \sum X_{ij}$;

L_{ii} – coeficienți fenomenologici, care, în comparație cu (1.3), pot fi funcții arbitrare ale forțelor termodinamice $L_{ii} = L_{ii}(X_{ij})$ și parametrilor termodinamici (temperatură, concentrație, presiune ș.a.).

În comparație cu legea Onsanger (1.3), ecuația de transfer „pe diagonală” (1.5) nu necesită ca coeficienții L_{ii} sa fie constanți și de

aceea ei sunt adecvați pentru cazuri mai generale ale proceselor neliniare.

Nivelul de linearitate a coeficienților fenomenologici se apreciază cu formula [331]:

$$L_{ij} = L_{ii}(X_{ij}, X_{ji}). \quad (1.6)$$

Deoarece acești parametri sunt, ca regulă, nestaționari, apoi și coeficienții fenomenologici L_{ii} din ecuația Onsager poartă un caracter neliniar. Aceasta se menționează și în lucrările autorilor [92, 93, 280, 282, 306, 308]. Deci apar legături noi, neluate în considerație, între coeficienții diagonali L_{ij} și încrucișați L_{ij} [98]. Totodată, funcțiile legăturilor dintre coeficienții cinetici $L_{ii}L_{ij}(x_{ij})$ și parametrii termostatici (temperatură, presiune, concentrație ș.a.) pot fi diferite, inclusiv liniare. Astfel, coeficienții fenomenologici L_{ii} , în legile Fourier, Newton, Ohm, Fick, nu sunt constanți și nici liniari [98, 201, 221, 303, 240, 311].

Transferul de masă și de căldură, în procesul de uscare a produselor umede, este influențat de un șir de fenomene fizice: difuzia termică, difuzia barometrică, transferul de masă influențat de câmpurile electromagnetice etc. Influența acestor fenomene asupra transferului de masă poate fi diferită. Deci, pentru a lua în considerație gradul de influență a lor asupra transferului de căldură din material în procesul de uscare și pentru a determina coeficientul fenomenologic rezultat, poate fi aplicată relația (1.3). În acest caz, obținem:

$$J_{tot} = J^{(q)} + J^{(P)} + J_m + J_e, \quad (1.7)$$

în care $J^{(q)}$ este transferul de căldură cauzat de conductibilitatea termică a materialului și de gradientul de temperatură (legea Fourier);

$J^{(P)}$ – legea difuziei barometrice – transferul de masă cauzat de gradientul de presiune (legile Fick și Darcy);

J_m – transferul de căldură cauzat de prezența câmpului magnetic;

J_e – transferul de căldură cauzat de prezența câmpului electric;

Dacă de înlocuit în 1.7 legitățile menționate [155, 306], obținem:

$$j_{tot} = -\lambda \nabla T - r \nabla - \frac{1}{2} H^2 \nabla \mu_m - \frac{1}{2} n E^2 \nabla \varepsilon, \quad (1.8)$$

în care λ este coeficientul conductibilității termice a materialului umed, în W/mK;

∇T – gradientul de temperatură;

r – tensorul permitivității, în m²;

∇P – gradientul de presiune;

$H = \nabla \varphi_m$ – intensitatea câmpului magnetic, A/m;

φ_m – potențialul câmpului magnetic;

μ_m – permitivitatea magnetică;

$E = \nabla \varphi_e$ – intensitatea câmpului electric, în V/m;

φ_e – potențialul câmpului electric;

ε – permitivitatea electrică.

Pentru mărirea fluxului de masă la uscare, prin aplicarea câmpurilor fizice de diferită natură, este necesar de cunoscut și corelațiile funcționale ale interacțiunii dintre parametrii forței motrice a câmpului aplicat și gradientul fluxului de bază, în acest caz, gradientul de umiditate.

Admitem că aceste corelații poartă un caracter linear:

$$p = p_o (1 + \alpha T), \quad (1.9)$$

$$\mu = \mu_o (1 + \beta T), \quad (1.10)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_o (1 + \gamma T), \quad (1.11)$$

în care α , β și γ sunt coeficienți de proporționalitate.

Înlocuim (1.9, 1.10) și (1.11) în (1.8) și obținem corelația:

$$\begin{aligned}
 j_{tot} &= -\lambda \nabla T - r \nabla p_o (1 + \alpha T) - \frac{1}{2} H^2 \nabla \mu_o (1 + \beta T) - \frac{1}{2} n E^2 \nabla \varepsilon_o (1 + \gamma T) = \\
 &= -\lambda \nabla T - r p_o \alpha \nabla T - \frac{1}{2} H^2 \mu_o \beta \nabla T - \frac{1}{2} n E^2 \varepsilon_o \gamma \nabla T = \\
 &= -(\lambda + r p_o \alpha + \frac{1}{2} H^2 \mu_o \beta + \frac{1}{2} n E^2 \varepsilon_o \gamma) \nabla T
 \end{aligned} \tag{1.12}$$

Intensitatea fluxului total de transfer poate fi prezentată în forma următoare:

$$j_{tot} = -\lambda_{tot} \nabla T \tag{1.13}$$

Astfel, studiul interacțiunii diferitor câmpuri fizice a stabilit posibilitatea intensificării procesului de transfer de căldură (pentru cazul nostru), deoarece $\lambda_{tot} > \lambda$:

$$\lambda + r p_o \alpha + \frac{1}{2} H^2 \mu_o \beta + \frac{1}{2} n E^2 \varepsilon_o \gamma > \lambda, \tag{1.14}$$

Unele dintre fenomenele de bază care pot fi descrise cu postulatele Onsager sunt fenomenele de transfer de căldură și de masă ale proceselor de uscare a materialelor umede, inclusiv a produselor agricole oleaginoase. Aceste transferuri cuprind atât mediul intern al materialului umed, cât și cel extern, în care se află materialul propriu-zis.

Uscarea materialelor umede compuse eterogene este un proces tehnologic complex, ale cărui scop este nu numai păstrarea proprietăților calitative înalte ale produsului [160, 56, 120], dar, și, în unele cazuri, ameliorarea lor [77, 130, 221, 277]. La trecerea apei dintr-o fază în alta, procesul de uscare este însoțit de un consum enorm de energie.

În majoritatea cazurilor, intensitatea procesului de uscare este determinată de viteza deplasării umidității din straturile interne ale materialului către cele periferice. Multiple cercetări au demonstrat că procesul în cauză, fiind determinat de structura și compoziția materialului, de energia și forma legăturii umidității cu scheletul materialului etc. este greu de dirijat și modest studiat [56, 130, 190, 195, 211, 214, 216, 267]. De aceea, la alegerea noilor metode de

uscare, de importanță majoră este influența corectă a transferului de masă din interiorul productului.

Conform termodinamicii proceselor ireversibile [297], legea transferului de masă în materialele umede supuse procesului de uscare prin convecție poate fi prezentată ca [217]:

$$J_m = -D_m \rho_0 \nabla u - D_m \rho_0 \delta \nabla t, \quad (1.15)$$

în care Dm – coeficientul difuziei, în m^2/s ;

δ – coeficient al gradientului de temperatură, în $grad^{-1}$;

∇u și ∇t – gradientii de umiditate și de temperatură (forțele motrice);

ρ_0 – densitatea substanței uscate, în kg/m^3 .

Din (1.15) se observă că gradientul de temperatură împiedică deplasarea umidității în direcția straturilor periferice ale produsului.

Studiul savanților Rogov I. A., Jmakin N. P., Lupașco A. S., Musteață V. T., Malejic I. F. ș.a. [111, 161, 221, 233, 273, 277] a arătat că o intensificare suplimentară a procesului de uscare poate fi realizată prin aplicarea metodelor netradiționale ale aportului de energie, cum sunt c câmpurile electromagnetice. La încălzirea în volum, un rol important îi aparține gradientului de presiune (∇P).

Pentru această metodă de încălzire, viteza de aplicare a căldurii în product crește esențial și, conform [133, 160, 216, 273, 299], provoacă o degajare intensivă de abur. Evaporarea aburului are loc în tot volumul materialului, dar cum menționează [221, 273], în centru – mai intensiv, iar la periferie – mai slab. Aceasta se datorează temperaturii mai avansate din centrul produsului. Ca rezultat, apare gradientul de presiune ∇P , care și este forța motrice principală a transferului aburului prin product la aplicarea câmpurilor electromagnetice.

În lucrarea sa, Lîkov A. [216] a lansat ideea că, în câmp electromagnetic, are loc și difuzia electrică, deci (1.5) va obține forma:

$$J_m = -D_m \rho_0 \nabla u - D_m \rho_0 \delta \nabla t - K_p \nabla P - D_m^e \rho_0 \hat{E}, \quad (1.16)$$

în care $K_p \nabla P$ este transferul de masă sub acțiunea gradientului de presiune;

$D_m^e \rho_0 \hat{E}$ este transferul de masă cauzat de către difuzia electrică.

Gradul de influență a fiecărui dintre gradientii indicați în ecuația (1.16) este determinat de metoda de aplicare a energiei, de valoarea fluxului de energie, de structura materialului, de compoziția chimică, de starea termică, de proprietățile termofizice.

După cum s-a menționat anterior și luând în considerație (1.16), la încălzirea materialelor umede în câmp electromagnetic, în zona centrală a produsului, umiditatea se transformă în aburi, formându-se, astfel, gradientul de presiune ∇P . Influența acestui gradient este atât de puternică, încât o parte de umiditate este deplasată prin capilare în straturile periferice în formă lichidă. Evaporarea acestei umidități de pe suprafața materialului poate fi realizată la aplicarea fluxurilor de masă și de căldură prin convecție liberă. Procesul înlăturării umidității de pe suprafața materialului se supune legilor transferului în gaze. Aceste procese sunt descrise în teoria cinetică-moleculară în gaze [9, 93, 155].

La descrierea fluxurilor termodinamice, se admite că în mediu nu au loc perturbații macroscopice și transferul se realizează numai grație mișcării dezordonate a particulelor mediului. Însă, în gazul real și lichid, aceste perturbații, ca regulă, sunt prezente.

Likov A.V., bazându-se pe legile de păstrare a energiei și masei [214, 216], a obținut sistemul de ecuații diferențiale al transferului de masă și de căldură în produsele umede la deplasarea în material a fluxului de lichid și aburi prin convecție (presiunea fiind admisă constantă):

$$c\rho_0 \frac{\partial t}{\partial \tau} = -\text{div} J_q + \varepsilon r \rho_0 \frac{\partial u}{\partial \tau}; \quad (1.17)$$

$$c\rho_0 \frac{\partial t}{\partial \tau} = -\text{div} J_m, \quad (1.18)$$

în care c este capacitatea termică specifică a materialului, în J/kg·K;

r – căldura de vaporizare, în kJ/kg;

ε – criteriul transformărilor de fază.

În ecuația (1.17), al doilea membru prezintă fluxul de masă creat în urma difuziei interne și externe. Difuzia internă se combină din convecția naturală și artificială.

Totodată, este de menționat că, în procesul de uscare a produselor biologice complexe umede, sunt prezente un șir de transferări chimice care acționează suplimentar fluxul de masă și de energie. Aceste fluxuri ar fi de dorit de inclus în ecuațiile diferențiale (1.17) și (1.18).

Fenomenul convecției libere apare în gaze și lichide datorită câmpului forței de greutate și densității. Acțiunea acestui câmp se evidențiază esențial la încălzirea umidității din partea inferioară, și la răcirea din partea superioară. Straturile inferioare se dilată și începe ridicarea lichidului mai cald. Atunci transferul de căldură se va realiza în baza mișcării macroscopice a mediului. Toate aceste fenomene sunt caracteristice transferului de umiditate în materialele capilare poroase cum sunt produsele agroalimentare [132, 215, 332].

Cota-parte a fluxului termodinamic, dictat de convecția naturală, este foarte mică, dar în calculele precise este necesar de a le lua în considerație.

La aplicarea câmpurilor electromagnetice în product, conform [216, 333], se formează o sursă internă de căldură P_V . În acest caz, ecuația transferului de căldură se scrie în forma următoare:

$$c\rho_0 \frac{\partial t}{\partial \tau} = -\text{div}J_q + \varepsilon r\rho_0 \frac{\partial u}{\partial \tau} + P_V. \quad (1.19)$$

Totodată, unii dintre autori [111, 332] menționează că, în teoria transferului de masă și de căldură a lui Lîkov, este necesar de introdus unele precizări și completări.

În particular, în [332] se indică că, pentru cazul uscării materialelor la temperaturi joase, când produsul posedă și umiditate în formă solidă, are loc topirea acesteia. În acest caz, câmpul de umiditate în fiecare zonă, practic, este stabil, deci ecuația (1.6) poate fi prezentată fără sursa de căldură, inclusiv și încălzirea prin convecție, deoarece criteriul transformării de fază pentru zonele în faza de topire (lichidă) $\varepsilon_2 = 0$, iar pentru zonele cu gheață solidă $\varepsilon_1 = 1$.

Deci, după cum indică [111], formulele (1.7) și (1.8), se obține forma ecuației Stefan. Această ecuație diferențială la frontieră va fi:

$$\lambda_2(\partial t_2 / \partial x)_{x=\lambda} - \lambda_1(\partial t_1 / \partial x)_{x=\lambda} = r_G q_2(\tau)_{x=\lambda} = r_G \rho_G (\partial x / \partial \tau), \quad (1.20)$$

în care ρ_G este cantitatea de gheață transferată în apă.

$$\rho_G = \frac{\rho_0(W - W_N)}{100}, \quad (1.21)$$

în care W este cantitatea de umiditate totală în material, în %;
 W_N – cantitatea de umiditate neînghețată în material, în %.

De asemenea, poate fi considerat loc slab [111] și faptul că, în ecuațiile (1.15) și (1.16), au fost luate în considerație corpuri de forme ideale geometrice (placă infinită, cilindru infinit etc.), pe când în practică se întâlnesc figuri de configurații diferite, ca exemplu produsele alimentare. Pentru astfel de figuri este necesar de inclus dimensiuni geometrice echivalente, iar aceasta, la rândul său, modifică ecuațiile diferențiale ale transferului de masă și de căldură.

Dar, cele menționate nici de cum nu diminuează valoarea științifică a lucrărilor academicianului Lîkov și influența acestora asupra dezvoltării continue a teoriei transferului de masă și de căldură.

Este cunoscut că sursa internă de căldură P_V se determină cu formula [2,17]:

$$P_V = 0.555 \cdot 10^{-6} \cdot f \cdot \varepsilon' \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot E^2, \quad (1.22)$$

în care ε' este permitivitatea dielectrică relativă;

- $\operatorname{tg} \delta$ – tangenta unghiului de pierderi dielectrice;
- f – frecvența câmpului electromagnetic, în Hz;
- E – intensitatea câmpului electromagnetic, în V/m.

Coefficienții incluși în ecuațiile (1.17) și (1.18) sunt dependenți atât de variația factorilor interni, cât și de cea a celor externi. De aceea, cu o oarecare eroare ei se consideră constanți și se determină experimental pentru fiecare caz în parte. Determinării acestor coeficienți și-au consacrat lucrările sale Jukov N., Mișcenko S.,

Leaşkov V., Burdo O. I., Malejik I., Musteață V. T., Lupaşco A.S., Ţislinscaia N. I. [56, 81, 132, 163, 173, 220, 232].

Durata, consumul de energie și calitatea oricăruia proces tehnologic, inclusiv de uscare este determinată de valoarea vitezelor fluxurilor implicate în proces (de căldură, de masă etc.). Deci, pentru intensificarea procesului, este necesar de a mări viteza acestor fluxuri. Totodată, conform teoriei Onsanger [59] (formula 1.3), mărirea vitezei fluxului este posibilă numai la mărirea coeficienților cinetici ai forțelor motrice sau la mărirea ambelor componente. Coeficienții cinetici, în majoritatea cazurilor, sunt funcții de temperatură a mediului. Mărirea valorii acestora va provoca și mărirea temperaturii, ceea ce este contraindicat pentru multiple produse agroalimentare, în special cele oleaginoase. În acest caz, intensificarea procesului de uscare este posibilă numai prin mărirea valorii forțelor motrice (∇T , ∇C , ∇P etc.). După părerea noastră, dirijarea cu valorile gradientilor decisivi ai procesului de uscare, în scopul intensificării acestuia și menținerii temperaturii produsului la nivel redus, poate fi realizată prin aplicarea impulsională a energiei.

Temperatura straturilor interne ale materialului, obținută în urma acționării câmpurilor electromagnetice, este funcție dependentă de caracteristicile dielectrice ale acestuia, intensitatea câmpului electromagnetic și durata de aplicare a lui. Totodată, temperatura maximă admisibilă este determinată și de indicii calitativi ai produsului finit care este necesar de menținut, de regulamentul tehnologic al procesului realizat. Deci, pentru a menține temperatura mai jos de cea limită, la încălzirea materialului în câmp electromagnetic este necesar de a crea artificial perioade de relaxare. Acest efect de relaxare și poate fi realizat prin aplicarea impulsională a câmpului electromagnetic.

În urma analizei bibliografice conchidem, că principiile linearității și reversibilității Onzangher sunt actuale și servesc ca bază a teoriei termodinamicii, dar totuși necesită unele precizări și adaptare specifică în cazul studiului proceselor de tratare termică a produselor complexe eterogene cum sunt produsele vegetale oleaginoase. Totodată este de menționat, că ecuațiile diferențiale ale transferului de masă și de căldură în procesul de uscare elaborate de acad. Lâcov sunt adecvate, descriu pe deplin fenomenele menționate,

dar ar bine de luat în considerație și fluxul de masă și de energie cauzat de transformările chimice din product.

1.2. Bazele teoretiei și practicii încălzirii prin impuls în câmp electromagnetic

O direcție puțin studiată, dar de perspectivă, la rezolvarea sarcinii de intensificare a proceselor de uscare, însoțită de consum redus de energie, este aplicarea regimurilor impulsionale de procesare: periodic (încălzire – relaxare), oscilant (încălzire – răcire) ș.a. [17, 86, 120, 130, 161, 162, 180, 214, 233, 273, 277, 325]. Diferite metode ale aportului de energie (razele infraroșii, câmpurile electromagnetice U.H.F. și S.H.F., uscarea în câmp acustic) provoacă acționări diferite asupra evoluției în timp și în spațiu a câmpurilor de potențial de transfer intern. Dar comun pentru toate aceste metode este instabilitatea pronunțată a proceselor.

Avantajele extensive ale regimurilor impulsionale (la aplicarea energiei impulsionale poate fi folosit agent de uscare cu temperatură și viteză sporită, fără a influența calitatea produsului finit; grație aplicării câmpurilor electromagnetice, nu în toată perioada de uscare se obține o reducere considerabilă de energie etc.) contribuie mult la implementarea lor în producție.

Cercetările savanților Lîkov I .L.; Ghinzburg A. S., Musteață V. T. [131, 211, 216, 233] au arătat că principiul încălzirii impulsionale permite schimbarea temperaturii maxime admisibile, asigură păstrarea calității produsului și obținerea indicilor economici înalți ai procesului de uscare.

Încălzirea impulsională este un proces de relaxare, deci impulsul determină procesul de trecere a corpului din starea termică nestaționară în starea termică staționară. De aceea, atenție deosebită merită duratele de încălzire și de relaxare, în parte, și fenomenele termice care au loc în această perioadă.

A. V. Lîkov menționează că, în majoritatea cazurilor, datorită inerției sporite a transferului de masă, în raport cu inerția transferului de temperatură, în procesul de uscare, materialelor umede li se aplică o cantitate de căldură superioară celei necesare pentru asigurarea forței motrice a fluxului de umiditate și pentru evaporarea umidității

de pe suprafața produsului [216]. Deci are loc un consum suplimentar de energie la așa-numitul „mers în gol”. Totodată, la încălziri excesive ale materialului în câmp electromagnetic, umiditatea din product se concentrează în straturile exterioare, schimbând, la un moment dat, direcția gradientului de umiditate ∇U , ceea ce duce la consumuri sporite de energie la deplasarea umidității rămase în product. Totodată, apare supraîncălzirea productului în straturile interne, fapt inacceptabil pentru multiple produse alimentare.

La încălzirea impulsională are loc o distribuire mai uniformă a sarcinilor termice în product și procesul de uscare poate fi asigurat la aceeași temperatură necesară cerințelor tehnologice, dar cu consum redus de energie. Reducerea consumului de energie este argumentată prin prezența perioadelor de relaxare dintre impulsuri. În aceste perioade, datorită energiei acumulate în product și creșterii gradientului de temperatură, procesele de transfer de masă și de căldură se păstrează. Creșterea gradientului de temperatură se obține odată cu reducerea temperaturii straturilor superficiale ale productului în raport cu cele centrale.

Pe parcursul aportului continuu de căldură, în materialele vegetale au loc creșteri locale ale temperaturii, ceea ce este de nedorit din punct de vedere al calității produsului finit. La deconectarea sursei de căldură, în perioada de relaxare, are loc redistribuirea temperaturii în tot volumul și scad atât temperatura medie a productului, cât și tensiunile termice în material. Egalarea câmpului de temperatură în tot volumul, la încălzirea impulsională, conduce la restabilirea proprietăților funcționale biologice și chimice ale productului vegetal. Aceasta influențează pozitiv păstrarea substanțelor biologic active pe parcursul procesului de uscare.

Apariția tensiunilor termice în product în mare măsură depinde de durata și viteza de încălzire a productului. În particular, în procesul de uscare a plantelor medicinale pentru ceai cu raze I.R., Hudonogov I. A. [180] a propus formula de calcul al vitezei de încălzire:

$$\vartheta_{\max.} = \xi \frac{1}{\tau} \frac{P}{F}, \quad (1.23)$$

în care ξ combină un grup de coeficienți, care caracterizează proprietățile emițătorului de unde și ale plantelor medicinale;

τ – durata impulsului, în s;

P/F – densitatea puterii câmpului de căldură, în W/m.

În aceeași lucrare, Hudonogov I. A. [94] studiază și dinamica parametrilor impulsului pe parcursul uscării plantelor medicinale cu raze IR. În urma studiului, sunt propuse două metode de dirijare a temperaturii produsului: variația discretă a duratei de relaxare cu menținerea constantă a duratei de aplicare a energiei I.R. sau variația concomitentă a duratei de relaxare și a duratei impulsului (fig. 1.1). Ambele metode presupun creșterea lentă a temperaturii produsului, astfel încât, la începutul procesului de uscare, când în material predomină apa cu legături mecanice, se aplică o cantitate mai mică de energie, iar în continuare, la înlăturarea umidității cu legături chimice, crește. Aplicarea consecutivă a perioadelor de încălzire intensivă și relaxare a permis de utilizat efectele de transfer de masă și de căldură interne și de finisat procesul la un regim termic relativ mic și consum redus de energie.

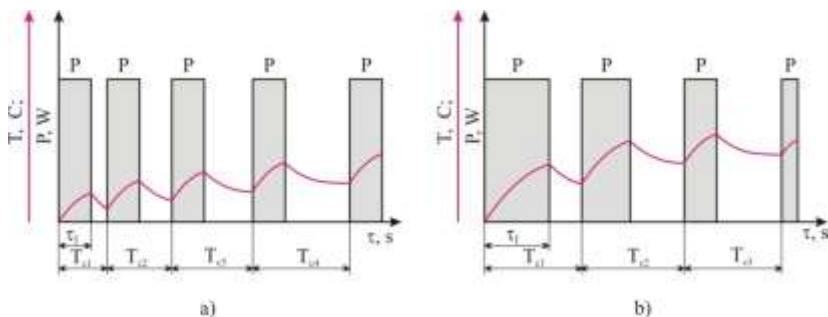


Fig.1.1. Metode de dirijare a aportului de energie IR la uscarea plantelor medicinale: a) variația discretă a duratei de relaxare cu menținerea constantă a duratei impulsului; b) variația concomitentă a duratei de relaxare și a duratei impulsului [180].

Este de menționat că duratele de aplicare a impulsului și de relaxare au fost selectate reieșind din punctul de vedere al menținerii

temperaturii medii a produsului în limitele necesare procesului tehnologic, pe când, după părerea noastră, o reducere suplimentară a duratei de uscare și consumului de energie se poate de obținut la alegerea parametrilor impulsului și din punct de vedere al creării unui gradient de temperatură maxim la temperatura nominală a materialului.

Pentru determinarea regimului de relaxare un șir de autori [28, 125, 180, 197] au inclus durata relativă a impulsului:

$$\tau' = \frac{\tau_i}{\tau_i + \tau_r} \quad (1.24)$$

în care τ_i este durata de aplicare a impulsului (a sursei de căldură), în s;
 τ_r – durata de relaxare (sursa de căldură este deconectată), în s.

Formula (1.24) este acceptabilă pentru descrierea câmpurilor termice impulsionale, dar nu exclude paradoxul despre răspândirea infinită a căldurii.

În lucrările sale, acad. V. Musteață și E. Verlan [234, 235, 236] au demonstrat, că accelerarea transferului de masă, în cazul sursei interne de căldură impulsională, este asigurată de valorile majorate ale gradientelor de temperatură și presiune la finele încălzirii impulsionale și de distribuția oscilantă a potențialului transferului de masă în secțiunea probei. La încălzirea impulsională, gradientul de temperatură în proba de selicagel are o direcție variabilă și, pe parcursul semiperioadei impulsului, contribuie la transferul de masă către suprafața materialului, pe când la încălzirea continuă el înlesnește deplasarea umidității în această direcție.

Totodată, unii autori menționează [130, 213, 299], că în perioada de relaxare, a scăderii temperaturii, în interiorul materialului are loc condensarea aburului, de aceea, pe o perioadă scurtă de timp, se poate crea vid, fenomen nedorit pentru procesul de uscare a produselor capilare poroase. În această perioadă, poate avea loc absorbția aburilor din stratul de frontieră. Deci de importanță majoră este excluderea perioadei de creare a vacuumului în interiorul produsului din durata de relaxare.

Caracteristicile termodinamice, care determină procesul de uscare prin aport impulsional al energiei, depind de corelația dintre temperatură și timp.

Dacă de luat în considerație, că majoritatea produselor alimentare supuse procesului de uscare corespund teoriei simetriei, atunci se poate de admis că lor le este caracteristică o distribuire uniformă a diferitor faze în tot volumul. Deci, cum menționează și [278], în aceste corpuri suma statistică a entropiei este constantă:

$$S_{tot} = \sum_{i=1}^n S_i = const \quad \text{sau} \quad \frac{dS}{dT} = 0 \quad (1.25)$$

în care S_i este valoarea locală a entropiei volumului macroscopic i al sistemului.

În așa mod, se poate de admis că produsele vegetale sunt materiale izotrope.

Luând în considerație că uscarea materialelor este un sistem deschis, se poate de conchis că, pentru condiții externe corespunzătoare, se pot utiliza toate cele opt relații Maxwell. Aceste relații reies din prima lege a termodinamicii:

$$dQ = TdS + PdV ; \quad \text{și a dou-a:} \quad dS = \frac{dQ}{T} \quad (1.26)$$

Relațiile sunt următoarele [257, 270, 271]:

$$\left(\frac{\partial T}{\partial V} \right)_S = - \left(\frac{\partial P}{\partial S} \right)_V ; \quad (1.27)$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V} \right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V ; \quad (1.28)$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial P} \right)_T = - \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P ; \quad (1.29)$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_S = - \left(\frac{\partial V}{\partial S} \right)_P . \quad (1.30)$$

Reieșind din legile mecanicii Newton și Maxwell (echilibrul în statică și dinamică), se poate de admis că sistemul cu proprietăți de simetrie, cum sunt și produsele vegetale oleaginoase, corespund relațiilor Maxwell (1.26 – 1.30).

Din punct de vedere dinamic, este necesar de luat în considerație ambele perioade ale procesului de uscare impulsivă în parte. Perioada de încălzire (de aport de energie termică) și perioada de relaxare (deconectarea de la sursa de energie termică). În prima perioadă, sistemul tinde spre ieșirea din echilibru, iar în a doua perioadă – spre echilibru. Pentru prima perioadă este caracteristică creșterea entropiei:

$$\frac{\partial S}{\partial T} > 0, \quad \text{sau} \quad \frac{\partial T}{\partial \tau} > 0. \quad (1.31)$$

În prima perioadă are loc și formarea gradientelor de temperatură, umiditate și presiune. În acest caz, viteza variației entropiei sistemului format din produsul nostru vegetal se determină cu formula:

$$\frac{ds}{d\tau} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial S}{\partial a_i} \cdot \frac{da_i}{d\tau}, \quad (1.32)$$

în care a_i este valoarea variației locale a parametrului i (temperatura, concentrația etc.);

n – numărul de parametri.

Relația (1.31) corespunde teoriei Onzagher. Și într-adevăr, dacă [93], $\frac{\partial S}{\partial a_i} = X_i$ sunt forțele termodinamice, iar $\frac{da_i}{d\tau} = J_i$ – fluxurile termodinamice, atunci (1.32) se transferă în:

$$\frac{ds}{d\tau} = \sum_{i=1}^n X_i \cdot J_i. \quad (1.33)$$

În perioada de relaxare, sistemul trece în echilibru termodinamic, și cum s-a menționat, entropia este maximă și

$$\left(\frac{\partial S}{\partial \tau}\right)_0 = 0 \text{ sau } \left(\frac{da_i}{\partial \tau}\right)_0 = 0.$$

Conform teoremei Boltzmann, la trecerea sistemului din starea de dezechilibru în cea de echilibru, ceea ce este caracteristic pentru perioada de relaxare, la încălzirea impulsională, entropia crește [278]. Această creștere a entropiei, conform legii a doua a termodinamicii, are loc după o legitate logaritmică [93]:

$$S_{\max} = k \cdot \ln W_{\max}, \quad (1.34)$$

în care k este constanta Boltzmann;

W_{\max} – probabilitatea termodinamică de restructurare a moleculelor sistemului.

Contrar probabilității ordinare, care este mai mică decât unu, dar probabilitatea termodinamică poate fi mai mare și se determină cu formula:

$$W_{\max} = \frac{N!}{N_1! N_2! \dots N_a!} = \frac{N!}{\prod_a N_a!}, \quad (1.35)$$

în care N_i este numărul posibilelor distribuții ale moleculelor.2

Astfel, s-a constatat că intensificarea procesului de uscare a produselor vegetale, în particular oleaginoase cu păstrarea concomitentă a indicilor calitativi și reducerea consumului de energie este posibilă la aplicarea impulsională a surselor interne de căldură. Pentru aceasta, este necesar de determinat parametrii optimi ai impulsului (intensitatea fluxului de căldură, durata de aplicare) și ai perioadei de relaxare în așa mod, încât în orice moment al procesului de uscare să se păstreze valori maxime ale gradientului de temperatură la temperatura stabilită de cerințele tehnologice. Totodată, la determinarea duratei de relaxare este necesar de exclus perioada de creare a vacuumului în product prin menținerea în

interiorul produsului a temperaturilor suficiente pentru evitarea condensării vaporilor formați.

1.3. Bazele teoriei polarizării și a pierderilor dielectrice în sistemele compuse eterogene oleaginoase

Cum menționează [261, 287, 296], încălzirea sub influența câmpurilor electromagnetice este provocată de diferite tipuri de polarizare în material.

Mecanismul de polarizare a produselor alimentare, inclusiv a celor oleaginoase, este destul de complicat, fapt determinat de structura complexă eterogenă a materialului. Totodată, este necesar de luat în considerație și faptul că produsele alimentare, din punct de vedere al proprietăților electrice, pot fi considerate dielectrice sau semiconductoare [213, 237, 286]. În unele componente ale produsului, ca exemplu uleiul vegetal, se manifestă mai pronunțat unele tipuri de polarizare, iar în altele: apă, soluții de săruri, diferite substanțe uscate – alte tipuri de polarizare. De aceea, este rațional de realizat procesul de uscare la aplicarea energiei termice în formă de impulsuri scurte și durate de relaxare între ele mai lungi.

Polarizarea electronică, ionică, dipol, microstructurală și electrolitică sunt principalele mecanisme de polarizare a unui produs alimentar considerat dielectric [245, 262, 288, 296].

Polarizarea electronică și cea atomică are loc, practic, instantaneu și nu provoacă pierderi dielectrice. Durata de stabilire a polarizării electronice este destul de redusă (cca 10^{-15} c) și este comparabilă cu perioada oscilațiilor luminii [249, 287, 309].

Polarizarea electronică nu depinde de temperatură, în schimb funcție de temperatură este permitivitatea dielectrică ϵ , care, odată cu creșterea temperaturii, ca regulă, scade [86]. Aceasta se explică prin dilatarea termică a dielectricului și prin micșorarea numărului de particule într-o unitate de volum.

Teoria polarizării electronice și ionice este redată destul de bine în literatură [86, 116, 296].

Încălzirea produselor alimentare sub acțiunea câmpurilor electromagnetice este influențată ponderabil de celelalte tipuri de polarizare.

La aplicarea câmpului extern se stabilește o oarecare orientare direcționată a dipolilor în direcția câmpului. Deoarece orientarea dipolilor, în acest caz, este dependentă și de fluxurile de căldură, polarizarea se mai numește și polarizare dipolară termică.

Polarizarea dipolară a_d poate fi determinată în urma analizei următorului model (fig. 2.3). Sub acțiunea câmpului exterior de intensitatea \vec{E} , orientat sub un unghi β , în raport cu câmpul electric intern \vec{E}_{in} , dipolul se rotește sub un unghi mic γ [227, 245].

La abaterea dipolului de la echilibru, apare o forță cvazielastică de reîntoarcere. Admitem $E < E_{in}$ și considerăm că schimbarea momentului electric al sistemului este proporțională cu intensitatea câmpului:

$$P = a_d E. \tag{1.36}$$

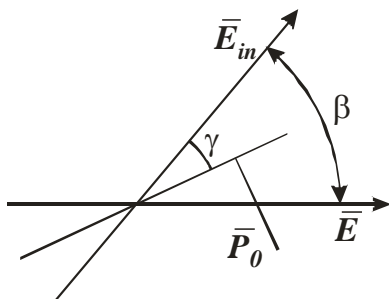


Fig.1.3. Rotația elastică a dipolului P_0 sub acțiunea câmpului electromagnetic extern E .

În stare de echilibru, momentul forțelor de rotație și de reîntoarcere va fi următoarea (fig.1.3):

$$P = P_0 E \sin(\beta - \gamma) - P_0 E_{in} \sin \gamma \tag{1.37}$$

Luând în considerație 1.36 polarizarea de relaxare dipolară, cu unele modificări, obținem:

$$a_d = \frac{P_0^2 \sin^2 \beta}{|U_0|}. \quad (1.38)$$

Din 1.38 se observă că polarizarea este dependentă de direcția câmpului electromagnetic. Ea este maximă pentru $\beta = \frac{\pi}{2}$ și $\beta = \frac{3\pi}{4}$ când $E \perp E_{in}$ și se egalează cu „zero” când $E \parallel E_{in}$. Polarizarea moleculelor polare legate elastic depinde și de valoarea momentului fiecărei molecule și de energia legăturilor intermoleculare $|U_0|$ [245]

Durata de stabilire a polarizării elastice dipole poate fi determinată cu formula [105, 124, 218]:

$$\tau = \frac{\varepsilon_s + 2}{\varepsilon_o + 2} \tau_v, \quad (1.39)$$

în care ε_s și ε_o sunt permitivitatea dielectrică statică și optică;

τ_v – durata de viață sedentară a moleculei.

Durata de stabilire a polarizării elastice dipole conform [185, 218, 296] constituie $10^{-7} \dots 10^{-12}$ s.

Polarizarea elastică dipolară provoacă dispersarea energiei electrice, și, drept consecință, în dielectric ea se transformă în căldură. Deci ea conduce la apariția pierderilor dielectrice.

Polarizările de orientare (relaxare) apar în gaze, lichide și corpuri solide în cazurile, în care ele sunt compuse din molecule polare sau din dipoli cu moment electric propriu.

În funcție de particularitățile structurale ale dielectricului, durata de stabilire a polarizării de orientare la temperatura mediului ambiant variază în limitele $10^{-8} \dots 10^{-4}$ s.

Dacă câmpul electric extern acționează destul de îndelungat ($t \rightarrow \infty$), se stabilește o polarizare constantă [262]:

$$a_{iT} = \frac{e^2 \delta^2}{12k_B T}, \quad (1.40)$$

în care δ este distanța la care se deplasează ionul pentru a trece dintr-o stare de echilibru în alta;

T – temperatura corpului, în °K.

Fluxurile termice împiedică distribuirea ordonată a ionilor, de aceea, odată cu creșterea temperaturii, polarizarea ionică de orientare se reduce.

În dielectricul în care sunt prezente molecule polare cu legătură slabă, sub acțiunea câmpului electric ele se pot roti relativ ușor. Orientarea dipolilor în câmp electric, ca și în cazul polarizării ionice de orientare, este împiedicată de fluxurile termice. Diferența de polarizare termică ionică este numai aceea că ionul trece dintr-o stare de echilibru în alta datorită deplasării rectilinii, iar molecula polară – datorită mișcării de rotație [291].

$$a_{dT} = \frac{P_0^2}{3k_B T}, \quad (1.41)$$

în care P_0 este momentul dipol al moleculei.

Un calcul mai precis al polarizării termice dipole a fost propus de P. Debye [123, 156], conform căruia:

$$a_{dT} = \frac{P_0^2 E}{3k_B T}. \quad (1.42)$$

Este de menționat, că polarizarea dielectricilor reali poartă un caracter complex. Ea prezintă suma diferitor tipuri de polarizări simple. La general, momentul dipol rezultat al unei unități de volum este egal cu:

$$\vec{P} = \left(\sum_m n_m a_m \right) \vec{E}, \quad (1.43)$$

în care a_m este gradul de polarizare a tipului m de polarizare;

n_m – concentrația de particule implicate în polarizarea de tipul m .

1.3.1. Pierderile dielectrice

Pierderi dielectrice se consideră energia câmpului electromagnetic, consumată la încălzirea dielectricului.

Aceste pierderi de energie sunt caracteristice atât pentru câmpul continuu, cât și pentru cel alternativ, drept consecință a prezenței conductibilității directe. La aplicarea câmpului continuu, căldura de încălzire se determină cu formula Joule-Lenz [288]. În practica inginerescă, pentru aprecierea proprietății dielectricului de a dispersa energia în câmp electromagnetic se folosește tangenta unghiului pierderilor dielectrice ($tg \delta$). Cu cât este mai mare dispersia în dielectric, cu atât este mai mare valoarea funcției $tg \delta$.

Pierderile dielectrice raportate la o unitate de volum a dielectricului poartă denumirea de pierderi dielectrice specifice [240]:

$$p = \omega \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot tg \delta \cdot E^2. \quad (1.44)$$

Produsul $\varepsilon \cdot tg \delta = k$ mai poartă denumirea de coeficient al pierderilor dielectrice.

La descrierea interacțiunii dintre câmpul electromagnetic și dielectric, în electrodinamică se folosesc frecvent de așa noțiune ca permitivitatea dielectrică complexă [54, 103, 152, 195, 208, 326]:

$$\tilde{\varepsilon} = \varepsilon' - j\varepsilon'', \quad (1.45)$$

în care ε' și ε'' sunt componenta reală și componenta ideală a permitivității dielectrice relative.

1.3.2. Parametrii electrofizici ai dielectricilor eterogeni complecși.

Produsele agricole oleaginoase prezintă o structură eterogenă complexă. În ele sunt prezente, practic, toate tipurile de polarizare. Ponderea acestor pierderi dielectrice este diferită și depinde de multipli factori (tipul de polarizare caracteristic componente date,

gradul de purificare, densitatea, viscozitatea, temperatura etc.). În produsele oleaginoase sunt bine determinate zone de substanțe uscate umede și insulițe de ulei. Admitem că ponderea majoră a pierderilor dielectrice în produsele oleaginoase revine acestor componente: substanțelor uscate umede (în cătina albă umiditatea ajunge până la 85 %, în semințe de floarea-soarelui și de bostan – până la 35 %) și uleiului (în cătina albă – până la 6..8 %, în semințe de floarea-soarelui și de bostan – până la 30..35 %). Totodată, este de menționat că aceste componente sunt distribuite aleatoriu, formând circuite atât paralele, cât și în serie.

Descrierea proprietăților dielectrice ale unor atare obiecte eterogene poate fi realizată în baza teoriei Maxwell. Permitivitatea dielectrică complexă $\tilde{\epsilon} = \epsilon' - j\epsilon''$ poate fi prezentată ca [243, 288]:

$$\epsilon' = \frac{(\mu_1 \tau_1 + \mu_2 \tau_2) - \tau(1 - \omega^2 \tau_1 \tau_2)}{C_0 (R_1 + R_2)(1 + \omega^2 \tau^2)}; \quad (1.46)$$

$$\epsilon'' = \frac{1 - \omega^2 \tau_1 \tau_2 + \omega^2 \tau(\mu_1 \tau_1 + \mu_2 \tau_2)}{\omega C_0 (R_1 + R_2)(1 + \omega^2 \tau^2)} \quad (1.47)$$

în care: μ_1 este concentrația umidității în product;

μ_2 – concentrația uleiului în product;

$$\tau_1 = R_1 C_1 = \frac{\epsilon_1 \epsilon_0}{\sigma_1}; \quad \tau_2 = R_2 C_2 = \frac{\epsilon_2 \epsilon_0}{\sigma_2} \quad (1.48)$$

R_1, R_2 – rezistența activă a componentelor dielectricului (umiditate, ulei, substanțe uscate), în Ω ;

σ_1, σ_2 – conductibilitatea umidității, uleiului și substanțelor uscate, în $1/\Omega$;

C_1, C_2 – capacitatea electrică a umidității, uleiului și substanțelor uscate, în F;

ϵ_1, ϵ_2 – permitivitatea dielectrică a umidității, uleiului și substanțelor uscate;

ϵ_0 – constanta dielectrică;

$$\tau = \frac{R_1 \tau_2 + R_2 \tau_1}{R_1 + R_2} = \frac{(d_1 \varepsilon_2 + d_2 \varepsilon_1) \varepsilon_0}{d_1 \sigma_2 + d_2 \sigma_1} \quad (1.49)$$

d_1, d_2 – diametrul echivalent al componentei umidității, uleiului și substanțelor uscate, în m;
 ω – frecvența unghiulară, în rad.

$$C_0 = \varepsilon_0 \frac{S}{d}$$

S – aria suprafeței dielectricului îndreptată perpendicular câmpului electromagnetic, în m²;
 d – grosimea stratului de product, în m.

Tangenta unghiului de pierderi dielectrice pentru produsele oleaginoase poate fi determinată ca:

$$tg\delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} = \frac{1 - \omega^2 \tau_1 \tau_2 + \omega^2 \tau (\mu_1 \tau_1 + \mu_2 \tau_2)}{\omega [(\mu_1 \tau_1 + \mu_2 \tau_2) - \tau (1 - \omega^2 \tau_1 \tau_2)]} \quad (1.51)$$

Pentru cazul, în care semințele se consideră alcătuite din trei componente aranjate consecutiv: coajă — miez — coajă, parametrii electrofizici ai semințelor pot fi determinați reieșind din modelele matematice propuse în [82, 261, 272, 296]:

Tangenta unghiului de pierderi dielectrice ale semințelor formate din coajă și miez este:

$$tg\delta_s = \frac{2tg\delta_c}{2 + \mu\eta \frac{1 + tg^2\delta_c}{1 + tg^2\delta_M}} + \frac{tg\delta_M}{1 + \frac{2}{\mu\eta} \cdot \frac{1 + tg^2\delta_c}{1 + tg^2\delta_M}}, \quad (1.52)$$

în care $tg\delta_c$ este tangenta unghiului de pierderi dielectrice a cojii;

$tg\delta_M$ – tangenta unghiului de pierderi dielectrice ale miezului;

μ – raportul dintre concentrația volumetrică a miezului și cojii;

$$\eta = \frac{\varepsilon'_C}{\varepsilon'_M} \quad (1.53)$$

$\varepsilon'_C, \varepsilon'_M$ – permitivitatea dielectrică relativă a cojii și respectiv a miezului.

Permitivitatea dielectrică relativă a semințelor este:

$$\varepsilon'_S = \frac{\varepsilon'_C \cdot \varepsilon'_M}{2a \cdot \varepsilon'_C + b \cdot \varepsilon'_M}, \quad (1.54)$$

în care a este volumul cojii raportat la volumul seminței;

b – volumul miezului raportat la volumul seminței.

Conform ecuației distribuirii uniforme a câmpului electromagnetic, adâncimea de pătrundere Δ la care puterea sursei interne de căldură se va reduce de două ori este [272]:

$$\Delta = \frac{2c}{\omega \sqrt{\varepsilon' tg \delta}}, \text{ sau } \Delta = \frac{9.55 \cdot 10^{11}}{f \sqrt{\varepsilon' tg \delta}}, \quad (1.55)$$

în care c este viteza luminii în vid, în m/s.

Din ecuația 1.70 se observă că la frecvențe constante ale câmpului electromagnetic, adâncimea pătrunderii câmpului electromagnetic în product este dependentă numai de proprietățile electrofizice ale acestuia.

1.4. Tehnica și tehnologia modernă de uscare a produselor oleaginoase.

Deshidratarea prin uscare a produselor oleaginoase, în special posesoare de acizi grași, este un proces strict necesar atât pentru pregătirea acestora către procesul de extragere a uleiului, cât și pentru crearea condițiilor optime de păstrare [52, 68, 90, 117, 190, 223, 248, 258, 259]. Produsele oleaginoase, pe lângă un conținut bogat de uleiuri vegetale, în stare proaspătă conțin și cantități considerabile de umiditate (cătina albă – până la 90 %, semințele de

floarea-soarelui – 30...35 %, migdalul – 20...25 % etc.) [95, 154, 190, 246, 302].

În procesul de dezvoltare, în plante au loc procese biochimice de sinteză complexe. După recoltare, viteza acestor procese scade. Însă, ca regulă, în produsele recoltate se conțin fermenți activi care, în unele condiții favorabile (umiditate și temperatură ale produsului și mediului) sporesc descompunerea țesutului plantelor. Una din metodele de a reduce activitatea fermenților este conservarea produselor prin uscare. Mai mult ca atât, alegerea corectă a regimului de tratare termică în procesul de uscare poate conduce la distrugerea a înșiși fermenților [12, 96, 104, 126, 294].

Regimul și durata de uscare a produselor oleaginoase, în mare măsură, depinde de scopul utilizării acestor produse în continuare.

Pentru o păstrare temporară este suficient de redus umiditatea produselor cu o structură bine determinată a pulpei (ca exemplu cățina albă) până la umiditatea produselor date – 15...17 %, produsele semincioase (semințele de floarea-soarelui, de bostan etc.) și sămburoase (sâmburii de migdal, caise, piersici etc.) până la cca 12 %. Produsele semincioase și sămburoase oleaginoase, pentru o păstrare mai îndelungată se usucă până la umiditatea de 6...7 %, iar pentru procesare nemijlocită – până la umiditatea de 7...8 % [96, 294].

Extragerea uleiurilor din semințe se realizează prin două metode: prin presare (la rece și la cald) și prin extracție.

Conform [68, 104, 248, 318], pentru optimizarea procesului de extracție a uleiului prin metoda „la rece”, se recomandă prelucrarea hidrotermică a semințelor. S-a determinat că, la prelucrarea hidrotermică a semințelor, conținutul de acid linoleic și triacilglicerolul în ulei crește cca de două ori în comparație cu cele neprelucrate. Mai mult ca atât, acționările termice favorizează îmbogățirea uleiului cu astfel de grupe ale substanțelor proteice active ca tocoferoli, carotenoizi, fosfolipizi ș.a. Aceasta se explică prin faptul că, la tratare termică, se observă distrugerea legăturilor acestor substanțe cu componenta proteică și trecerea lor în uleiul lichid.

În aceleași surse bibliografice, se recomandă de a prelucra semințele hidrotermic în două etape. La prima etapă, produsele se umectează până la umiditatea de 12...14 % și se prelucrează termic

pe o perioadă scurtă la temperatura de 80...90 °C. La o astfel de umectare, uleiul este eliminat la suprafața particulelor datorită umezirii selective a proteinelor miezului și gomflării lor. Distrugerea fermentului lipoxigenazei exclude oxidarea acizilor grași triacilgliceroli, astfel, se evită creșterea indicelui de aciditate al uleiului. Se distruge și legătura dintre fosfatide și alte substanțe ale semințelor, deci crește solubilitatea fosfatidelor în ulei.

La următoarea etapă umiditatea semințelor se reduce la 3% într-un regim termic de temperaturi reduse. În acest stadiu, miezul semințelor obține duritatea necesară pentru presare. Are loc distrugerea finală a structurii miezului, se formează multipli pori, are loc dizolvarea completă a fosfatidelor în ulei. Același studiu a demonstrat că depășirea temperaturii de 90 °C, la prima etapă, influențează negativ calitatea uleiului, deoarece are loc distrugerea substanțelor proteice active. Reducerea temperaturii tratării termice mai jos de 80 °C diminuează efectul distrugerii structurilor celulare, deci mărește cota lipidelor greu de extras, ceea ce, de asemenea, conduce la micșorarea ieșirii uleiului.

La moment, toate metodele de uscare pot fi divizate în trei grupe:

- fără surse speciale de căldură (fără aportul de căldură către produsul supus uscării);
- cu aplicarea surselor de căldură naturale (uscarea naturală);
- cu aplicarea surselor de căldură artificiale (uscarea artificială).

1.4.1. Uscarea produselor oleaginoase fără aport de căldură

Metodele de uscare din grupa I se bazează pe contactul direct al masei de product cu absorbantți de umiditate de structură solidă (lemn uscat, cărbune activat, sulfat de sodiu ș.a.).

Uscarea cu sulfat de sodiu este recomandată pentru produsele stmincioase și sâmburoase. Mineralul natural de mirabilit sau sulfatul de sodiu tehnic posedă proprietăți de absorbție înalte. Uscarea se realizează prin amestecarea periodică și uniformă a agentului de uscare cu produsul. La umiditatea de 20...24 %, amestecarea se face

de două ori în 24 h., iar la umidități mai avansate – de 3...4 ori. Durata de uscare, în funcție de umiditatea inițială a produsului, parametrii aerului înconjurător și alți factori este de 5...10 zile. Debitul agentului absorbant pentru uscarea produselor umede până la umiditatea de 7...8 % este de: pentru umiditatea inițială a semințelor de 20% – 60 kg/t; de 25% –120 kg/t; de 30% –180 kg/t; de 35 % – 240 kg/t. Umiditatea inițială a sulfatului de sodiu fiind de 1...5% [194].

Amestecarea are loc la aer liber, sub un acoperiș de protecție. Procesul de amestecare periodică este strict necesar din două considerente: primul – absorbția umidității de către absorbant este însoțită de degajări de căldură și produsul din straturile interioare se poate supraîncălzi; al doilea – la umectare, sulfatul de sodiu se cristalizează și poate forma împreună cu semințele un monolit greu de separat în continuare.

La uscarea produselor fără aport de căldură, în ele se păstrează, practic, toate substanțele biologic active inițiale. În schimb, durata îndelungată de uscare, este suficientă pentru dezvoltarea activă a microorganismelor etc., care vor influența în continuare la diminuarea calității produselor respective. Totodată, deși, practic, lipsesc cheltuieli pentru obținerea agenților termici de temperaturi înalte, totuși metoda rămâne costisitoare prin necesitatea de regenerare a absorbantilor, prin necesitatea de suprafețe de producție mari și prin folosirea forțelor de muncă considerabile la amestecare.

Procedeul tehnologic de uscare cu absorbantți lasă de dorit și din punct de vedere al protecției muncii. La uscare, sulfatul de sodiu provoacă colb și personalul este nevoit să lucreze cu măști protectoare.

1.4.2. Uscarea naturală

Această metodă nu și-a pierdut valoarea la uscarea produselor oleaginoase de partide mici în zonele cu mult soare. Ea este caracteristică zonelor amplasate în raioanele cu condiții climatice temperate. Acestea sunt Moldova, Ucraina, Rusia, China, Mongolia etc.

Uscarea heleo la aer

Uscarea heleo la aer se realizează drept consecință a interacțiunii produsului cu fluxul de aer din atmosferă și a razelor solare. Durata de uscare în astfel de uscătorii constituie de la 7 până la 20 de zile [53, 88, 174]. Umiditatea în aceste uscătorii se evaporă numai prin stratul de produs aflat în vrac. Deci, cu cât este mai subțire stratul de produs, cu atât mai intensiv se desfășoară procesul de uscare, dar reducerea grosimii stratului de product necesită suprafețe considerabile de producție ce este dificil de realizat. Grosimile recomandate ale straturilor de product pentru produsele cerealiere este de 0,1...0,2 m, pentru semincioase și sâmburoase – de 0,1...0,15 m, pentru cătină albă de 0,02...0,05 m [21, 166].

Un factor important în procesul de uscare heleo la aer este construcția vetrei pe care se plasează masa de produs. Nu se recomandă de a efectua procesul de uscare pe platforme din beton (în cazul în care acestea nu sunt izolate de la sol), direct pe sol sau pe pânză de cort[98]. Pentru a asigura o bună protecție a produsului de umiditatea solului și pentru a evita decalaje mari de temperatură este de dorit de a folosi podine din lemn sau asfalt. Ca regulă, aceste suprafețe se amenajează între depozite sau în apropierea livezilor cu o mică înclinație spre sud. Tot aici, lângă aceste suprafețe, se rezervă loc cu acoperiș pentru sortarea și prelucrarea fructelor înainte de uscare.

Sortarea produsului are loc pe transportoare sau mese de sortat. Pentru a asigura condiții normale de lucru, viteza transportorului se admite nu mai mare de 0,05 m/s. [98].

În scopul intensificării procesului de uscare, după sortare, fructele cu pulpă (cătina albă) sunt prelucrate cu soluție fierbinte de sodă caustică de concentrația 0,5 % pe parcursul a 15...30 sec. până când pe pericarp apar fisuri în formă de plasă subțire. În continuare, fructele se spală cu apă curată rece, se plasează pe talere și se îndreaptă la uscare.

Pe parcursul uscării prin metoda heleo la aer, materia primă este spusă acțiunii razelor solare, ceea ce se reflectă negativ asupra calității produsului uscat, de aceea, se recomandă de a realiza uscarea la umbră cu curenți de aer. În schimb, uscarea la umbră este

îndelungată și provoacă pierderi de materie primă, necesită suprafețe considerabile, este dependentă de condițiile climaterice și sunt greu de respectat condițiile de igienă.

Schimbul de căldură în uscătoriile heleo la aer poate se realizează cu curenți naturali de aer sau prin convecție forțată, ambele fiind dependente de construcția încăperii uscătoriei.

Calculul acestor încăperi și suprafețe se efectuează în funcție de forța motrice gazodinamică. Forța motrice a ventilației naturale apare datorită diferenței de presiune termică și a curenților de aer.

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

$$\Delta P_{tot} = \frac{(\rho_e - \rho_{med}) \cdot v^2}{2} \quad (1.56)$$

în care ρ_e este densitatea aerului din exteriorul încăperii, în kg/m^3 ;

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

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

h – înălțimea dintre centrele fisurilor de aspirație și de refulare, în m;

ρ_{zl} – densitatea aerului în zona de lucru a camerei, în kg/m^3 ;

ρ_{ev} – densitatea aerului evacuat din camera de lucru, în kg/m^3 .

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

$$\Delta P_{tot} = [(\rho_e - \rho_{med})h_f + (\rho_e - \rho_{ev})h_c]g \quad (1.57)$$

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

h_c – înălțimea de aspirație, în m.

Valoarea presiunii vântului pentru ambele cazuri se determină din relația [319]:

$$\rho_{med} = (A_1 + A_2) \frac{v_B^2 \rho_n}{2} - \rho_e g h, \quad (1.58)$$

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

Valoarea coeficienților aerodinamici A_1 și A_2 pentru fisurile de aspirație și de refulare se determină conform [303].

Uscarea heleo

Una din direcțiile perspective de uscare a produselor oleaginoase în condițiile gospodăriilor individuale rurale și de fermieri este folosirea energiei radiației solare. Aceste uscătorii permit de a înlătura, într-o oarecare măsură, unele lacune ale uscătorilor heleo la aer. Durata de uscare se reduce de 3–5 ori în comparație cu cea heleo la aer; la umbră, produsele sunt protejate de insecte, praf, umiditate etc. [99], mai eficient se păstrează substanțele biologic active. În afară de aceasta, uscarea fructelor în uscătorii heleo posedă un șir de avantaje economice, deoarece se folosește o sursă ieftină de energie [57, 83, 285, 295, 314].

În uscătorii heleo produsul se plasează în dulapuri de uscare, în care se vehiculează aerul încălzit preventiv în sistemul heleo de încălzire a aerului.

Regimul termic de încălzire diferă în funcție de cultură și destinație. Astfel, temperatura agentului de uscare din uscătorii heleo pentru cățina albă destinată necesităților tehnice se recomandă [212], de a fi 60...70 °C; semințele de floarea-soarelui și sâmburii de migdal de aceeași destinație [108] – 60...65 °C; aceleași produse, dar destinate pentru semințe – nu trebuie să depășească 43 °C [270].

În funcție de rezolvarea constructivă a instalațiilor se deosebesc instalații tip „cameră”, în care dulapul (camera) de uscare este divizată de sistemul heleo de încălzire a aerului și instalații de uscare la soare și cu radiație (I.U.S.R.), în care camera de uscare și

sistemul de încălzire sunt combinate într-o cameră [14, 254, 255, 303, 314].

Instalația tip cameră, prezentată în [303], este constituită din sistemul heleo cu cazane de încălzire a aerului, amplasate în două rânduri paralele. Între rânduri este plasată conducta centrală a agentului termic, conectată la cazane. Capătul opus al conductei se unește cu camera de uscare. Aerul încălzit în cazane se vehiculează cu ajutorul ventilatorului centrifugal prin conducte în camera de uscare. Suprafața sumară de absorbție a razelor solare în această instalație este de 120 m².

Pentru reducerea consumului de energie a ventilatorului, în rețeaua de vehiculare a aerului cald, în unele instalații se folosește tirajul artificial [314]. În acest caz, încălzitoarele heleo la aer sunt proiectate în formă de cutie monobloc, a căreia căptușeala superioară este confecționată dintr-un material transparent pentru razele solare, iar cea inferioară din material absorbant. Placa de încălzire se află sub un unghi oarecare față de orizont, astfel încât înăuntru să se creeze presiune termică care vehiculează aerul de la straturile inferioare către cele superioare și mai apoi în camera de uscare. Diferite construcții ale uscătorilor analogice sunt prezentate și în [14].

Unul dintre elementele cele mai importante ale uscătorului heleo cu cameră este încălzitorul de aer (cazanul). Aneume de alegerea corectă a cazanului și depinde eficiența funcționării întregii instalații. În [222, 303] se menționează că cele mai eficiente sunt cazanele cu suprafața de absorbție a energiei razelor solare gofrată și cu perforații. În ele, coeficientul de acumulare a căldurii de la soare este cu mult mai mare decât al celor cu suprafața netedă. Avansarea coeficientului de acumulare a căldurii se datorează, în primul rând, gradului înalt de turbulență al aerului care trece prin suprafața perforată și, în al doilea rând, temperaturii mai înalte a cazanului. Ca rezultat, randamentul acestor cazane crește cu 20...30 % în comparație cu cele cu suprafața plată.

Uscătoriiile cu cameră de regulă, se utilizează în perioada caldă a anului, de aceea, în calitate de material transparent, se utilizează un strat sau mai multe straturi de sticlă sau de peliculă polimeră. În

calitate de cameră de uscare (de lucru) pot fi folosite toate instalațiile de uscare industriale, dar fără elementele de încălzire artificială.

Productivitatea instalațiilor de acest tip nu este mare și constituie 0,6...1,2 kg de produs finit în 24 ore la 1 m² de suprafață [303], dar totuși aproximativ de două ori mai mare ca la cele pe suprafețe deschise.

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

În calitate de cea mai simplă I.U.S.R. cu ventilare naturală sau forțată poate servi așa-numita “ladă fierbinte”, care prezintă o ramă de lemn, a cărei parte inferioară este confecționată din scânduri de lemn. Rama superioară se închide cu un rând de sticlă. În partea de sus și în cea de jos a lăzii sunt atașate orificii, necesare pentru organizarea tirajului de aer. În partea laterală sunt montate uși pentru încărcarea – descărcarea platourilor.

În [98, 303] este demonstrat că pentru intensificarea procesului de uscare a fructelor în I.U.S.R., amplasarea cea mai rațională a suprafeței absorbante de raze solare este de 25–30⁰ față de orizont. Anume acest unghi de înclinare a suprafeței absorbante creează condițiile cele mai favorabile de apariție a presiunii termice.

În scopul folosirii mai eficiente a energiei razelor solare, în [295] se propune ca platourile cu produs să se plaseze în interiorul I.U.S.R., paralel cu suprafețele de absorbție a razelor.

În [98] este prezentată și descrisă I.U.S.R. experimentală pentru uscarea fructelor și legumelor de tip “carusel” Această instalație constă dintr-o cameră cu volumul 25 m³. Suprafața transparentă a uscătoriei este îndreptată în direcția sudică cu un unghi de înclinare față de orizont de 30⁰. În interiorul uscătoriei este amplasat un carusel care prezintă o carcasă metalică rotativă cu două trepte și care dispune de platouri de aluminiu.

Datorită deplasării continue a produsului, în instalația tip „carusel” se obține o uscare mai uniformă a produsului. Cercetările [98] au demonstrat că durata de uscare în regim de carusel, în comparație cu cel cu cameră radiantă, se reduce pentru diferite produse de cca 1,5 ori.

În instalațiile de uscare la soare cu radiație, produsul este încălzit datorită influenței nemijlocite a radiației solare și contactului direct cu fluxurile de aer cald. Însă, luând în considerație că gradul de iradiere este instabil în timp, calculul cantității de căldură, aplicată instantaneu produsului, este destul de dificil.

O procedură de calcul al schimbului de căldură și de masă este propusă în lucrările [130, 174, 303, 314].

Uscarea combinată

Pentru alegerea variantei optime constructive a instalațiilor de uscare la soare, la umbră și cu curenți, este necesar de prezentat corect imaginea fizică a procesului de uscare a materiei prime. Procesul de uscare propriu-zis se referă la procesele nestaționare. În afară de aceasta, la uscarea în instalațiile heleo, pentru schimbul de masă și de căldură în materia primă, un rol hotărâtor îl aparține periodicității pătrunderii energiei solare. Aceasta din urmă influențează mult calitatea produsului finit și durata procesului de uscare. Pentru micșorarea costului de producție a produsului finit se folosesc uscătoriile heleo combinate. În uscătoriile heleo combinate procesul de uscare are loc în două etape. La prima etapă, se înfăptuiește uscarea în instalație la soare cu ajutorul aerului, iar la etapă a II – în I.U.S.R. [167, 303].

Drept exemplu de uscătorie combinată, poate servi instalația descrisă în lucrarea [167]. Ea este alcătuită din două elemente montate consecutiv unul cu altul prin ventilatorul centrifugal al I.U.S.R., conducta de aer și dulapul de uscare. În partea superioară a instalației, sunt montate plăci de sticlă, iar părțile laterale sunt izolate cu peliculă de polietilen. Platformele gofrate cu produs se așază în două etaje sub un unghi de cca 25° față de orizont. Realizarea primei perioade de uscare are loc în dulapul de uscare. După prima perioadă platourile se transferă în I.U.S.R., unde are loc eliminarea umidității remanente.

Pentru micșorarea pierderilor de căldură prin vehicularea continuă a aerului este necesar de a folosi uscătorii heleo cu suflare discretă [295, 314]. Acestea din urmă permit de a intensifica procesul de uscare și de a îmbunătăți calitatea produselor finite.

1.4.3. Uscarea artificială

Proceselor de uscare a produselor oleaginoase permanent li s-a acordat o mare atenție. Reducerea consumului de energie și intensificarea procesului de uscare pentru aceste produse este destul de dificil de realizat din simplul motiv că ele nu suportă temperaturi avansate. Sporirea temperaturii materiei prime în procesul de uscare, de regulă, este însoțită de diminuarea produsului finit, de apariția proceselor ireversibile de oxidare a uleiului etc. Anume aceasta a provocat elaborarea diverselor metode și utilaje de uscare a produselor oleaginoase, fiecare în parte înlăturând parțial unele din lacunele menționate.

La moment, o largă răspândire în acest domeniu îl au uscătorile cu aport de energie artificial de tipul: prin convecție, conductiv, prin sublimare, în câmpuri electromagnetice de frecvență înaltă (UHF) și supraînaltă (SHF), cu raze infraroșii (IR).

Uscarea prin convecție

Uscătorile prin convecție se întâlnesc cel mai frecvent datorită construcției simple. În calitate de agent termic, în aceste uscătorii, de regulă, se folosește aerul cald, mai rar diferite gaze inerte și gaze ale produselor de ardere. Problemelor uscării prin convecție au fost consacrate multiple lucrări atât în țară, cât și peste hotare.

Potențialul științific înalt în domeniul procesului de uscare prin convecție se datorează lucrărilor fundamentale ale savanților Lîkov A., Ghinzburg A., Lebedev P., Krasnikov V., Planovski A., Fedorov I., Shubin Gh., Rudobasta S., Ricardson J. Anderson J., Botteril J., Foster J., Musteață V., Lupașco A., Țisinscaia N. ș.a [116, 131, 135, 190, 216, 221, 223, 249, 291, 309].

În baza cercetărilor posibilităților și metodelor de intensificare a proceselor de uscare prin convecție, efectuate de Kuț P., Liuboșit I., Juravleov A., Iukiș A., Atanazevici V., Aleinikov V., Avdeev A., Okuni G., Popov H., Verbiški V., Maratov B. ș.a. au fost determinate legitățile de bază ale proceselor de uscare și de ventilare activă, au fost elaborate tehnologiile de uscare prin reciclarea agentului termic,

au fost elaborate construcții noi de uscătorii prin convecție, inclusiv pentru produsele oleaginoase. [4, 96, 143, 165, 190, 219]

Uscarea prin convecție este comparabilă cu uscarea în strat dens fluidizat.

Uscarea produselor oleaginoase în strat dens în condiții de producție, conform clasificării A. S. Ghinzburg [130] se realizează în uscătorii tip tunel cu conveier sau cu camere. Calitatea produselor uscate în aceste uscătorii, în majoritatea cazurilor, este determinată de regimul termic al agentului de uscare, de durata de uscare și de înălțimea stratului de produs în celula lucrătoare. Aprecierea influenței grosimii stratului de product asupra calității procesului se determină conform coeficientului de presiune pe suprafața de lucru.

Pentru straturi dense, acest coeficient este [290] de cca 18,5 kg/m², iar pentru cele de erupție –150 kg/m². Asupra procesului de uscare a fructelor influențează considerabil și unii indici morfologici, cum sunt: masa substanței uscate, volumul, raportul dintre pulpă și sâmbure, dintre coajă și miez, gradul de maturizare ș.a. Dependența cineticii procesului de uscare a produselor cu aer cald de indicii morfologici este bine studiată în [7].

Influența vitezei, temperaturii inițiale și finale a agentului termic asupra calității de parcurgere a procesului este foarte greu de determinat analitic, de aceea, în majoritatea cazurilor, se folosesc metode experimentale.

D. M. Levin a propus o corelație, conform căreia, în calculele ingineresti, parametrii aerului prelucrat se determină în funcție de diferența temperaturilor agentului termic la intrare și la ieșire [130]. Variația umidității aerului prelucrat (g/kg) se determină din formula:

$$\Delta d = \frac{1}{2,6(t_0 - t_{ct})}, \quad (1.59)$$

în care, t_0 , t_{ct} sunt temperaturile agentului de uscare la intrare și la ieșire din el, °C.

Pentru uscarea produselor oleaginoase în flux de aer cald, în statele CSI se folosesc cu succes uscătoriiile Г4-KCK-90, Г4-KCK-45, Г4-KCK-30, Г4-KCK-15 [52, 90, 311], care se deosebesc numai

prin suprafețele benzilor lucrătoare (corespunzător 90, 45, 30 și 15 m²).

Uscătoriiile menționate sunt construite în formă de carcasă, în interiorul căreia se află 5 conveiere suprapuse cu banda din plasă inoxidabilă. Conveierele se deplasează contrasens. Pentru o rostogolire mai eficientă a produsului de pe o bandă pe alta, axele tamburelor de transmitere și de tensionare ale tuturor conveierelor sunt deplasate una relativ de alta. Între benzi sunt amplasate calorifere.

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

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

Unul dintre dezavantajele caracteristice acestor uscătorii este lipsa sistemului de răcire a produsului finit după uscare, ceea ce înlesnește procesul tehnologic de prelucrare a acestora în continuare. Un sistem de răcire a produsului finit după uscare este prevăzut în uscătorii prezentată în [87].

În țările zonei de Vest, pentru uscarea produselor vegetale, de asemenea, se folosesc multiple modificări de uscătorii tip conveier. Caracteristicile tehnice ale unora din ele sunt descrise în [37, 42, 137].

Compania “Hans Binder Mashinenfabric” (Germania) [42] produce uscătorii cu 5 benzi tip HBM pentru uscarea produselor agricole, inclusiv a celor oleaginoase. Agentul de uscare se încălzește într-un focar special, în care se arde combustibil lichid sau gazos. El este înzestrat cu un sistem de reglare a debitului aerului cald în funcție de regimul de uscare. Aerul preluat este eliminat din uscător prin partea superioară cu ajutorul unui ventilator centrifugal. Viteza benzilor se reglează cu ajutorul unui variator lent. Productivitatea acestei uscătorii poate varia de la 3,5 tone până la 35 tone de materie

în 24 ore, durata de uscare de la 1,5 până la 9 ore, în funcție de umiditatea inițială și proprietățile termofizice ale produsului.

În Franța, se propun diferite variante de uscătorii de tip conveier, destinate pentru uscarea fructelor. Astfel, în [37] este descrisă uscătoria cu bandă în 3 nivele. O deosebită importanță pentru astfel de uscătorii este prezența sistemului de ventilare naturală, în care fluxurile de gaze își măresc viteza cu ajutorul unor ventilatoare axiale. În scopul de a reduce suprafețele de lucru, acest uscător a fost modificat prin montarea benzilor în 6 nivele, cu utilizarea regimului oscilant de convecție pe toată lungimea fiecărui conveier. Această modificare a fost ușor de realizat datorită amplasării mecanismului de încălzire sub banda lucrătoare a conveierului.

Compania franceză “Sermatec” [42] pentru uscarea fructelor și legumelor produce conveiere cu 5 benzi, sursa de energie fiind aburii. Spre deosebire de alte uscătorii de tip conveier, benzile uscătorilor firmei “Sermatec” se compun din plăci inoxidabile cu dimensiunile în secțiune de 1,5*14 mm amplasate în rânduri înclinate. Variatorul de viteză permite de a schimba viteza de la 0,3 până la 1,5 m/min. Curățarea benzilor de reziduurile lipicioase se efectuează cu ajutorul periiilor de nailon.

În Ungaria, se exploatează cu succes uscătorii de tip conveier cu abur, în 5 nivele “Samum-5” [42]. Această instalație se deosebește de celelalte prin aceea că ventilatoarele pentru predarea aerului în uscătorii sunt instalate în partea superioară a uscătoriei și se pun în funcțiune de un motor electric.

Merită atenție, de asemenea, și uscătoria de tip conveier în 5 nivele din România [5]. O caracteristică deosebită a ei constă în aceea că procesului uscării sunt supuse fructele de diferite calități fără calibrarea lor prealabilă.

În prezent, este elaborată instalația de uscare cu 2 dulapuri de tip P3-KCK [137], care poate fi folosită pentru uscarea fructelor. Productivitatea instalației – 2000 kg/24h după produs uscat.

La întreprinderi sunt instalate uscătorii ale Companiei iugoslave “Чачак” CER și a țărilor fostei URSS Б6-КФА, МНННПП-1М. Toate aceste uscătorii, cum se explică în [90], sunt identice după instalare. Deosebirea de bază constă în sistemul de

aport de aer. Astfel, în uscătoriile CER și Б6-КФА [58, 90], în calitate de agent al uscării se folosește amestecul de aer cu produsele de ardere a combustibilului lichid sau gazos, dar în МНИИПП-1М – aer curat încălzit [90,311].

O răspândire mai largă în țările CSI o are și uscătoria tunel МНИИПП-2 (Moldova).

După construcția și organizarea procesului de uscare a fructelor, uscătoria moldavă este asemănătoare cu uscătoriile tip tunel din Franța. Canalul de lucru al uscătoriei este divizat în două zone: zona de uscare și zona de răcire. Aceasta permite de a micșora consumul de energie pentru prelucrarea produsului finit.

Merită atenție construcția uscătoriei de tip tunel pentru fructele cătinii albe a Companiei japoneze “Iamoto” [5]. Uscătoria este înființată în rezultatul unor experiențe aprofundate și este optimă pentru produsele oleaginoase.

Compania din Federația Rusă "Ингредиент" propune construcția unei uscătorii prin convecție "Кратер-2", înzestrată cu un sistem de amestecare continuă [30]. Uscătoria este destinată pentru deshidratarea produselor în vrac cum ar fi: semințele de floarea-soarelui, de bostan, diferite nucușoare de dimensiuni medii, ca arahidele, migdalul, etc.

Instalația prezintă două vase izolate termic, alimentate cu aer cald de temperatura necesară procesului tehnologic. Aerul, trecând printr-un sistem de distribuție, încălzește uniform toată masa de product și antrenează cu sine umiditatea evaporată. În instalație, parțial, se formează straturi fluidizate. Sistemele de amestecare instalate în fiecare vas în parte amestecă productul, asigurând încălzire uniformă în tot volumul.

Instalația poate funcționa în regim periodic sau continuu. Pentru primul caz, poate fi organizată și răcirea produsului după uscare.

Totodată, nivelul tehnic al uscătoriilor prin convecție și al sistemelor lor de ventilație lasă de dorit. Creșterea capacităților instalațiilor de uscare, în ultimul timp, a fost obținută prin mărirea productivității și puterii de consum ale aparatelor unitare. Deci folosirea acestor instalații pentru uscarea partidelor mici de materie primă reduc și randamentul lor. Instalațiile actuale intensive sunt

lipsite de un sistem flexibil, care ar permite trecerea ușoară de la un regim tehnologic la altul în funcție de cerințele materiei prime, parametrii acesteia etc.

Uscarea prin conducție

Uscarea prin conducție se bazează pe transmiterea căldurii produsului supus uscării prin contact nemijlocit de la o suprafață încălzită.

Cantitatea de căldură acumulată de către produs de la suprafața fierbinte se consumă la evaporarea umidității și la pierderi în mediul înconjurător de la suprafața produsului prin radiație și prin convecție. Cota-parte a pierderilor de căldură este mică, de cca 3...5 %, ce caracterizează utilajul ca destul de eficient. Însă, datorită calității reduse a producției finite, uscătorii prin conducție se folosesc destul de rar.

Uscarea prin conducție a produselor oleaginoase de tipul semințelor de floarea-soarelui se realizează în cuptoare de prăjit. Procesul de prăjire se realizează la temperaturi mult mai înalte în comparație cu prăjirea. Dar aceste aparate asigură ieșirea maximă a substanțelor aromatice, ceea ce îmbunătățește calitatea organoleptică a producției finite.

Construcția dulapurilor de prăjit este diferită, de obicei acestea sunt aparate cu acțiune periodică. Camera de lucru prezintă un taler metalic de formă dreptunghiulară sau rotundă cu bordururi la margini sau în formă de tambururi. Talerele rotunde, de regulă, sunt înzestrate cu amestecătoare axiale.

Firma ucraineană „Вивас” propune dulapuri de prăjit seria „ZSL” cu 5, 6 sau 7 talere (cuve) amplasate vertical [159]. Instalația este destinată pentru prelucrarea hidrotermică a miezului (prăjire), în scopul reducerii forțelor de interacțiune moleculară dintre ulei și scheletul produsului.

Construcția acestui aparat este alcătuită din mecanismul de încărcare, cazanul de abur, talerele în care are loc prăjirea,

mecanismul de descărcare, armătura de dirijare, control și protecție și sistemul de transmisie.

Diametrul interior al dulapului, în funcție de model și productivitate, variază de la 1500 până la 3600 mm. Fiecare taler este înzestrat cu câte o paletă pentru amestecarea continuă și uniformă a semințelor. Paletele se pun în funcțiune de la un arbore vertical. Sistemul de pulverizare a vaporilor se află sub fiecare taler și se rotește împreună cu talerul. Aceasta asigură o umectare uniformă a produsului în tot volumul. Mecanismul de descărcare se află în partea inferioară a ultimului taler. Cazanul de abur este înzestrat cu armătura necesară pentru eliminarea surplusului de umiditate, pentru controlul procesului de alimentare cu material.

Prăjirea în dulapul tip ZSL are loc în felul următor: materialul se umectează și se încălzește, apoi se aburește până la atingerea temperaturii și a umidității corespunzătoare regimului tehnologic. În continuare, are loc uscarea. În rezultat, se obțin condiții optime pentru realizarea procesului de presare.

Pentru prăjirea semințelor de floarea-soarelui, un șir de întreprinderi prezintă instalații cu acțiune periodică în formă de tambur rotativ. Tamburul, de regulă este dublu. Pe suprafața exterioară a tamburului interior este amplasat elementul electric de încălzire, obținând astfel o încălzire a suprafeței tamburului pe o durată necesară de timp. În interiorul tamburului se încarcă o porție stabilă de semințe, care se prăjește prin conducție în urma contactului direct dintre semințe și suprafața încălzită a tamburului.

Astfel, în [257] se propune o gamă întregă de așa instalații. Deosebirea dintre ele prezintă doar dimensiunile de gabarit și productivitatea. Tot aici sunt prezentate și unele instalații cu acțiune continuă.

Cuptorul de prăjire prezentat în [300] permite utilizarea în calitate de agent termic și gazul natural. Productivitatea acestui cuptor este de 30 kg/h.

În [94] se propune o instalație de uscare prin conducție în vacuum cu acțiune periodică și productivitatea ciclului de 400 kg. Instalația prezintă un tambur rotativ amplasat orizontal. În interiorul tamburului sunt fixate calorifere cu țevi cu puterea de 30 kW. După încărcarea tamburului cu floarea-soarelui, se conectează caloriferele,

se creează vacuum și se începe uscarea. Turația tamburului este 1 rot/min, durata unui ciclu – 2 ore. În procesul de uscare, temperatura produsului variază în limitele de la 30 la 80 °C.

Unul dintre aparatele de prelucrare termică a semințelor de floarea-soarelui pe larg răspândite prezintă soba de tip taler. Această sobă este dotată cu sursă de căldură amplasată în partea inferioară a sobei. În scopul prevenirii supraîncălzirii semințelor de floarea-soarelui, în interiorul sobei este amplasat un amestecător vertical. În calitate de agent termic poate fi combustibil solid, gazos sau energie electrică.

Într-un singur aparat, numărul de sobe poate varia de la două până la șase. Pe orizontală pot fi amplasate două sobe, iar pe verticală, cu arbore de transmisie comun – șase sobe. La întreprinderi mari de prelucrare a semințelor de floarea-soarelui, se utilizează așa-numitele uscătoare rotative cu tambure amplasate orizontal. Exemple pot fi ПБ 1,8-12HY-01, ПБ 1,6-10HY-01 – cu productivitatea corespunzătoare (după produs uscat) – 500 și 300 kg/h [301].

Dulapuri de prăjit, identice după construcție, sunt prezentate și în [256] – Compania de producție MCD (Ucraina), dulapuri tip T11-Ж (cu 4 cuve), T10-Ж (cu 3 cuve) – ООО ПО «ЮРМАШ» (Federația Rusă) [265], de tipul Б6-МЖА, Е-8-МЖБ, produse de uzina constructoare de mașini din or. Rostov [241], tip ZCGP-110 (Moscova) [158] ș.a.

Pe lângă metodele de uscare menționate, se folosesc și altele, dar ele nu au găsit largă răspândire în producție.

2. MATERIALE ȘI METODE DE CERCETARE

2.1. Produsele oleaginoase ca obiect de cercetare

2.1.1. Cătina albă

Cătina albă este folosită ca materie primă pentru fabricarea produselor alimentare și a preparatelor medicinale încă din timpuri îndepărtate.

Cătina albă (*Hippophaë rhamnoides* L.) – denumirea generică. Denumirea greacă a plantei este „*hippophæes*”: de la „*hippos*” – cal și „*phaoës*” – luciu; latinescul *hamnoides*: de la *hamnos* – denumirea tufișului ghimpat și *oides* – similar.

În Grecia Antică, crengile tinere și frunzele cătinii albe se foloseau pentru tratarea cailor. Animalele se însănătoșeau, blana le lucea. Aceasta și a servit drept exemplu pentru denumirea generică a cătinii [164, 246].

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

După cum au constatat mulți autori [95, 154, 157, 164, 207, 246, 315, 327, 328], în scopuri alimentare și medico-biologice, din cătină, preponderent, se folosesc fructele.

Cătina albă are rădăcini dezvoltate. La tufișurile cu vârsta de 5 ani, rădăcinile se extind pe o rază de 5–6 m și dau până la 20 de lăstari. Frunzele sunt alterne, simple, liniare sau liniar-lanceolate, contrare, cu peduncule scurte, cu lungimea de 2–8 cm, lățimea – de 0,3–0,8 cm. Limbul frunzei, în partea de sus, este de culoare albă cu nuanță sur-argintie. Florile sunt unisexuate, mărunte, neatractive [157].

Fructele proaspete de cătină albă posedă culoarea de la galben la oranj închis, gustul dulce-acriu de ananas, miros slab. Culoarea cătinii și determină conținutul de carotină. Cu cât ea este mai aprinsă, cu atât mai multă carotină se conține în fruct. La recoltare, fructele

necoapte nu trebuie să depășească 1%; vătămate de dăunători – nu mai mult de 2%; crengi și alte părți ale plantei – nu mai mult de 1%; substanțe minerale – nu mai mult de 0,5%; fructe strivite în condițiile de păstrare a sucului să nu fie mai mult de 35%. Aciditatea fructelor nu trebuie să fie mai înaltă de 5%, conținutul în ele al carotinoizilor – nu mai mult de 10 mg-%.

Fructul este o grupă suculentă cu un pericarp suculent și aromat. Rodește bogat și regulat. Sâmburele este neted, din ambele părți este lucios, cu brazda longitudinală de culoare cafeniu-deschis sau închis, uneori aproape neagră, în formă de ou – alungită, cu lungimea de 4–7 mm, lățimea și grosimea 4–5mm. Fructele amplasate fascicular, care acoperă dens baza lăstarilor tineri scurtați pe creșcăturile anului trecut. Forma fructelor este diferită: rotundă, ovală, în formă de ou, alungită, cilindrică, în formă de nap. Dimensiunile și masa fructelor și a semințelor sunt variate chiar și în condițiile aceleiași populații. De obicei, masa medie a 100 de pomușoare de cătină albă sălbatică este de 25–45 g, a cătinii de calitate – de 40–60 g. Masa medie a 100 de pomușoare de cătină albă de soiul „crușinovidnaia” utilizate în studiul cineticii procesului de uscare a fost de 51,5 g. Este diferită și culoarea fructelor [91, 246, 302].

Masa de rambleu a fructelor de soiul „crușinovidnaia”, selectate pentru experiențe, a fost de 500 kg/m³, densitatea – de 833,3 kg/m³ și porozitatea – de 0,4. Diametrul mediu convențional al unui fruct a fost de 0,011 m și are medie convențională de $5,286 \cdot 10^{-3} m^2$.

Fructele cătinii se colectează doar coapte, atunci când ele obțin dimensiunile și culoarea caracteristică fructelor de acest tip și când acumulează conținutul maximal de ulei și alte substanțe biologice active. Se recomandă de a usca fructele în zile cu soare, când ele nu sunt umede, deoarece, în acest caz, ele se murdăresc și se deteriorează mai puțin [207, 212, 230].

Fructele cătinii se strâng prin smulgere, scuturări, tăierea crengilor roditoare și cu ajutorul diferitor dispozitive și mecanisme [207, 212, 230].

Cătina albă se consideră una dintre cele mai de preț plante cu o cantitate mare de diverse vitamine. Datorită conținutului de vitamina

C, cătina ocupă locul III [154, 170] după măceș și actinide (de la 100 până la 700 mg.%), este bogată, de asemenea, în vitamine B₁, B₂, B₉, K₁, P, substanțe active (50–100 mg%), pectină. În stare congelată și mărunțită ea nu-și pierde conținutul în vitamine chiar și până la primăvară. De aceea, ea este comercializată la sfârșitul iernii, când se termină resursele de fructe și legume și se observă o insuficiență de vitamine [168, 327]. Unii autori [268, 323], datorită conținutului sporit în vitamine numesc cătinile „bombe de vitamine, surse lecuitoare, dulciuri apetisante”, și „anasas siberian” [229].

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

Unele state (Rusia, China ș.a.) folosesc cătina pentru a întări malurile contra prăbușirii și contra alunecărilor straturilor terestre [157, 184, 329], deoarece rădăcinile ei se extind aproape de suprafață.

Cătina albă și semifabricatele ei se folosesc și pentru obținerea unor produse, cum ar fi diferite tipuri de pișcot, biscuiți, înghețate, creme, magiunuri și pastile, sufleuri, piureuri, gemuri și altele. De asemenea, din sucul stabilizat de cătină [178] se obțin diferite băuturi – de mere, de mere cu morcov și diferite combinații ale sucurilor de fructe și legume cu suc de cătină. De asemenea, din cătină se produc diferite tipuri de băuturi alcoolice și nealcoolice – lichioruri, rachiuri, balsamuri [184], vinuri [250] cocteiluri alcoolice și concentrate [253]; diferite gustări – cătină cu dovleac și mere; cu hrean, cu mere și morcov și altele; diferite tipuri de paste, budinci, pâine [177], plăcinte și alte tipuri de produse.

Compoziția sucului de cătină și a altor adaosuri alimentare a permis de a obține un produs granulat care are o activitate biologică ridicată [89, 164, 168, 242].

Diferite produse culinare pot fi obținute și din reziduurile de prelucrare a cătinii [146, 298]. În [323] este descrisă metoda de obținere a adaosurilor alimentare din șrot de cătină.

Sucul de cătină are o influență bactericidă în ceea ce privește stafilococii, agenții febrei tifoide [275], dizenteria, salmoneloza. El stimulează digestia [108], măbind secreția fermenților digestivi și a bilei, mărește rezistența animalelor la infecții, exercită o influență biostimulatoare (acelerează creșterea animalelor; mărește numărul

eritrocitelor; mărește cantitatea de hemoglobină, de proteine ale sângelui, de fosfolipide; crește coeficientul albumină/globulină). În condițiile hepatitei toxice, sub influența sucului la animale, se micșorează intensificarea proceselor distrofice și necrotice în celulele ficatului. Cătina albă este cea mai bogată sursă de vitamine naturale; după conținutul în vitamina E ea întrece toate fructele și pomușoarele cunoscute din Rusia.

Cătina este recunoscută, în primul rând, prin uleiul pe care îl conține. Uleiul de cătină are o consistență densă, de culoare oranj-aprinsă, cu gust și miros specific [108]. Uleiul de cătină albă, obținut din pulpele fructelor este un preparat universal cu un conținut mărit de vitamine și curativ. Pentru obținerea 1 kg de ulei este necesar de prelucrat 25 kg de fructe. Dar cel mai prețuit ulei este acel obținut din semințele de cătină (de culoare galbenă). Efectul terapeutic al uleiului se datorează substanțelor biologic-active, care se conțin în el: carotinoide, tocoferoli, acizi grași și fitosterini, fosfolipide, vitaminele A, C, K, P, vitaminele grupei B și altele.

Cercetările bacteriologice au arătat [275] că uleiului de cătină albă îi sunt caracteristice proprietăți antibacteriale. El are o activitate biologic-activă înaltă, contribuie la accelerarea epitelizării și exercită o influență stimuloare la vindecarea ulcerului trofic și a rănilor. Uleiul de cătină se folosește cu succes în practica oncologică, chirurgicală, ginecologică și dermatologică pentru tratarea diferitor disfuncții trofice – decubitului, eroziei, arsurilor, dermatitelor solare, eczemelor și altele. Astfel de maladii ale pielii ca heilita, eczema, psoriazul, boala ulceroasă, boala lui Darie, se vindecă cu succes cu ajutorul uleiului de cătină, care se administrează în cantitate de 2 ml pe zi aplicând extern unguent de 5%.

Uleiul de cătină contribuie la resorbirea rapidă a infiltratelor, scoate eritema, edemele, bolile și arsurile, încetează cojirea, contribuie la epitelizarea și la dispariția piruritei (mâncărimei). El ajută, de asemenea, la leziunile mucoasei cavității bucale, la fisuri, la apariții de pete, la alte defecte ale pielii și la maladii oculare. Uleiul de cătină se folosește în cazul colpitei, endocervicitei, eroziei colului uterin [203, 275].

El are acțiune sedativă, stopează dezvoltarea aterosclerozei și a schimbărilor de vârstă la persoanele în etate. Preparatele din cătină

albă au proprietăți antiinfarctice, antiaterosclerotice, îmbunătățesc văzul, previn formarea trombelor.

Tratamentul cu ajutorul uleiului de cătină a bolnavilor cu ulcer stomacal și duodenal contribuie la îmbunătățirea stării lor. Pe lângă aceasta aciditatea sucului gastric nu se schimbă considerabil. Este efectiv de folosit, de asemenea, uleiul de cătină în cazul proctitei ulcero-erozive, sfincteritei ulcero-erozive, proctitei catarale și atroifice, hemoroizilor interni la bolnavii de enterocolită cronică.

În afară de aceasta, uleiul de cătină se folosește în caz de haimorită, în perioada postoperațională după tonzilactomie, în cazul tonzilitei cronice, la tratarea pulpitei și a periodontitei. Uleiul de cătină intră în componența preparatului combinat „Olazol”. Preparatele din cătină nu provoacă efecte secundare [92].

Extragerea uleiului de cătină se realizează prin două metode de bază: „fierbinte” și „rece”. Metoda fierbinte constă în extragerea uleiului prin procedeul încălzirii din materialul încălzit până la temperatura 80 – 100°C. Acest ulei poate fi folosit cu succes în scopuri alimentare și tehnice [189, 302, 328]. Metoda rece de extragere se realizează fără încălzire [189, 224, 302]. Din pomușoare se stoarce sucul și se limpezește în loc rece. Pe parcursul limpezirii, se ridică la suprafață și apoi se strânge. Uleiul obținut prin metoda rece se consideră cel mai calitativ. Tescovina rămasă după stoarcerea sucului se mărunțește adăugător, se acoperă cu ulei vegetal (de floarea-soarelui [302], de măsline [327]), se lasă și se separă prin presare. Acest ulei este mai deschis la culoare și nu se prețuiește atât de mult.

Există și alte metode de obținere a uleiului de cătină. Astfel, fructele coapte de cătină se trec prin sită. Semințele împreună cu pericarpul rămas se usucă și se păstrează separat. Masa obținută la presare se încălzește până la 80–90°C, se toarnă în vase de sticlă și se închide ermetic. În procesul de păstrare (2–3 luni), masa obținută la presare se separă în două straturi. Stratul superior cu un conținut de 25% ulei se separă atent și se toarnă în cratiță smălțuită, se adaugă semințele și pericarpul, obținute la trecerea prin sită a cătinii. Uleiul de floarea-soarelui (0,5 l la 1 kg de pastă de cătină) se fierbe și se toarnă fierbinte în pasta cu pericarp. Masa obținută se topește la temperatura de 60–70°C timp de 2 zile. Această procedură poate fi

realizată pe baia de apă. La încălzire, uleiul de cătină se extrage prin intermediul uleiului de floarea-soarelui. Peste două zile, uleiul se filtrează prin săculeț de tifon, care se suspendă pentru scurgerea uleiului.

Diferite metode de extragere a uleiului din cătină sunt descrise și în [88, 189, 302].

Cum se menționează în [230], uleiul se păstrează în vase de sticlă astupate, la loc rece și la întuneric nu mai mult de 1,5 ani.

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

În [251] se propune, de asemenea, linia tehnologică, care asigură prelucrarea pomușoarelor de cătină albă în condițiile mediului gazos biologic-inert, care exclude oxidarea substanțelor biologic active și schimbarea structurii și a proprietăților, care permit de a accelera vitezele și adâncimea de prelucrare a pomușoarelor de cătină.

Din pericarpul de cătină [230] se extrage 5-oxitriptomina, care are acțiune contra tumorilor. În aceeași sursă bibliografică se menționează că, fructele, frunzele și pericarpul cătinii au o largă răspândire în medicina din Tibet pentru tratarea maladiilor de plămâni și rinichi, ulcerului stomacal și duodenal ș.a.

Unii autori [154, 327] menționează că cătina albă a găsit o largă aplicare și în cosmetică. Ea se utilizează cu succes la îngrijirea pielii, părului și a unghiilor.

2.1.2. Semințele de floarea-soarelui

Floarea-soarelui – *Helianthus annuus L.* este o plantă erbacee anuală. Inflorescența prezintă o coroană cu diametrul de 0,08–0,4 m, plasată pe o tulpină de până la 4 m. În inflorescență se află semințele – *Semen Helianthi*.

Morfologic, semințele de floarea-soarelui sunt formate din miez și coajă. Miezul reprezintă 73–86 % din greutatea totală a seminței. El este format din embrionul compus din gemulă și două cotiledoane și din endosperm.

Semințele de floarea-soarelui sunt recunoscute prin conținutul sporit de ulei gras – până la 60 %. Totodată, în ele se mai găsesc și hidrați de carbon (până la 26 %); substanțe proteice (20 %), fitină (2 %), carotenoide, fibre alimentare etc.

În lume, floarea-soarelui ocupă locul trei, după soia și fructele de palmier, între plantele producătoare de uleiuri vegetale [8].

Ca regulă, din semințele de floarea-soarelui se extrage uleiul care poartă aceeași denumire – ulei de floarea-soarelui. La baza uleiului de floarea-soarelui stau gliceridele acizilor oleic, linoleic și linolenic. El, după cum se menționează și în [142, 260], posedă proprietatea de solidificare.

Uleiul de floarea-soarelui este considerat ca un produs de destinație atât alimentară, cât și medico-biologică. În alimentație, el se folosește în calitate de condiment pentru prepararea diferitor salate și ca produs intermediar, necesar pentru asigurarea proceselor de prăjire. În farmaceutică, uleiul de floarea-soarelui servește pentru prepararea diferitor unguente medicinale, soluții uleioase s.a. [142, 258, 259, 260].

Sămânța de floarea-soarelui, numită fruct, are formă alungită-rombică (fig. 2.1), ascuțită la bază, fiind inserată în alveolele dispuse elicoidal sau concentric pe un calatidiu. Coeficientul formei (K_f), care este raportul dintre aria suprafeței reale a semințelor și aria suprafeței unei sfere de același volum, variază în limitele 1,29 și 1,34.

Dimensiunile pot varia în funcție de soi și se află în limitele: în lungime – 8,0...25,0 mm.; în lățime – până la 5,4 mm.; în grosime – 1,7...6,0 mm. [95, 96, 111].

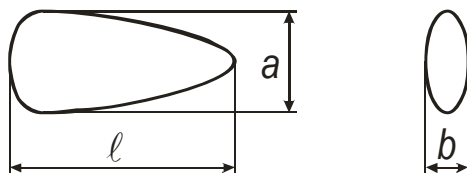


Fig. 2.1. Dimensiunile semințelor de floarea-soarelui.

Masa absolută a 1000 de semințe cu umiditatea de 0 % de floarea-soarelui este de 45–100 gr. [324]. Masa absolută a 1000 de semințe cu umiditatea de 26,89 % de floarea-soarelui de soiul „Luceafărul”, folosite în continuare în studiul procesului de uscare, a fost de 160 gr.

O caracteristică importantă fizico-mecanică a semințelor de floarea-soarelui, ca obiect de păstrare și de uscare, este și unghiul de taluz. El variază în funcție de forma, umiditatea semințelor și de cantitatea de impurități. Unghiul de taluz al semințelor de floarea-soarelui uscate se află în limitele 27-35^o, iar al celor umede (cu o umiditate de până la 45 %) – de 40-55^o.

Cantitatea de căldură degajată în material în urma aplicării câmpurilor electromagnetice este funcție dependentă atât de densitatea produsului, cât și de masa de rambleu a lui. Masa de rambleu a semințelor de floarea-soarelui în dependență de umiditate și de cantitatea de impurități din ele este de 326 – 440 kg/m³ [6]. Masa de rambleu a semințelor de floarea-soarelui de soiul „Luceafărul”, folosite în experiențe, a fost de 433,3 kg/m³, iar densitatea – de 684,2 kg/m³. Conform [194, 223], masa volumetrică relativă a semințelor de floarea-soarelui este de 0,65 – 0,84 g/cm³.

Porozitatea semințelor reprezintă spațiul cu aer dintre semințe. Porozitatea influențează procesul de aerare a semințelor la păstrare și modalitatea de înlăturare a umidității la uscare. Ea se determină ca funcție de masa volumetrică [223]:

$$\rho_s = \frac{\rho_v}{1 - k_A}, \quad (2.1)$$

în care ρ_s și ρ_v sunt densitățile volumetrică și absolută ale semințelor de floarea-soarelui, în kg/m³.

k_A – partea componentă a volumului de aer în masa totală de semințe.

Semințele de floarea-soarelui de soiul „Luceafărul” posedă o porozitate de 0,367. Diametrul mediu convențional al unei semințe este de $7,683 \cdot 10^{-3} m$, aria medie convențională – de $1,855 \cdot 10^{-4} m^2$.

Indicii organoleptici prin care se caracterizează calitatea semințelor de floarea-soarelui sunt culoarea și mirosul. Acești indici variază în funcție de condițiile de maturizare, recoltare și păstrare, de metodele și regimurile de uscare.

Unul dintre factorii principali care provoacă reducerea indicilor organoleptici este influența activă a microflorei de pe suprafața lor. Prezența microflorei conduce la pierderea luciului și la apariția semințelor de culoare mată, cu pete, la dezvoltarea coloniilor de bacterii și ciuperci. Odată cu modificarea culorii, scad și valorile proprietăților tehnologice, ai indicilor de calitate.

Umiditatea, fiind un factor decisiv, care influențează intensitatea parcurgerii proceselor biochimice, și un mediu favorabil pentru dezvoltarea microflorei, de asemenea, este un indice important la alegerea condițiilor de păstrare și a procedeele de prelucrare a semințelor de floarea-soarelui.

Umiditatea poate fi determinată la aparate speciale sau prin uscare la un regim leger până la o masă constantă [148].

La umidități reduse, toată apa din semințe posedă legături chimice cu proteinele și granulele de amidon. De aceea, ea nu poate migra ușor dintr-o celulă în alta și aproape că nu participă în procesul de schimb de masă. În semințele cu umiditate avansată, apare o cantitate suplimentară neimplicată în legăturile chimice. Această apă „liberă” și asigură procesele hidrolitice din celule. La apariția apei libere, crește și activitatea fermentilor.

Umiditatea semințelor, la care apare umiditatea liberă, se numește umiditate critică. Valoarea umidității critice depinde de soiul semințelor, de structura anatomică și de compoziția chimică a lor. Umiditatea critică a produselor oleaginoase este mai redusă în comparație cu produsele cerealiere cu conținut redus de ulei. În semințele de floarea-soarelui, ca produs oleaginos, apa nu este acceptată în tot volumul, dar numai în straturile cu conținut în substanțe hidrofile, ca exemplu proteine. Anume umiditatea critică și determină proprietățile hidroscoapice ale semințelor care, la rândul său, influențează regimurile de uscare și de păstrare a lor.

Umiditatea critică poate fi determinată cu formula [129]:

$$W_C = \frac{W_h(100 - M)}{100}, \quad (2.2)$$

în care W_h este umiditatea componentelor hidrofile, în %;

M – conținutul real de ulei, în %.

Nu mai puțin importantă este și umiditatea de echilibru a semințelor, la care, în lipsa acționărilor externe, procesele de deshidratare și de absorbție se stopează. Ea depinde de temperatura produsului, de umiditatea relativă și de presiunea aerului din mediul înconjurător și în conținutul de ulei. Variația umidității de echilibru în funcție de umiditatea relativă a aerului este prezentată în [129] și poate fi calculată cu formula:

$$W_e = 0,623\varphi^{1,14}. \quad (2.3)$$

Formula (2.3) este adecvată pentru limitele umidității relative ale aerului de 45 ... 85 %.

În lucrările sale, A.N. Sikov și V. M. Kopeikovski [129, 318] au stabilit corelația dintre temperatură și umiditatea de echilibru a semințelor de floarea-soarelui cu conținutul în ulei de până la 50 % la temperatura aerului de 14...30 °C și umiditatea relativă de 19...82 %:

$$W_e = 2,133\varphi^{0,0017549}. \quad (2.4)$$

Umiditatea de echilibru a semințelor de floarea-soarelui este dependentă și de componența chimică a lor. Astfel, în semințele cu un conținut sporit în amidon și proteine, umiditatea de echilibru este mai mare în comparație cu cea a semințelor cu conținut sporit în ulei [190,194].

Umiditatea relativă a părților componente ale semințelor este diferită, fiind mai avansată la coajă și mai redusă la miez.

Viscozitatea cinematică a uleiului de floarea-soarelui la temperatura 20 °C este de $60,6 \times 10^{-6} m^2/s$.

Alegerea, determinarea și argumentarea metodelor și regimurilor de uscare, studiul și analiza fenomenelor de transfer în procesul deshidratării produsului și elaborarea calculelor termice și mecanice ale instalațiilor de uscare nu pot fi realizate fără un studiu amplu al proprietăților termofizice ale produsului supus uscării.

Capacitatea termică specifică a produselor, în mare măsură, este funcție de componența chimică și structurală a acestora și de temperatură. Astfel, în [128] este menționat că capacitatea termică specifică a substanțelor absolut uscate ale semințelor de floarea-soarelui este diferită. La temperatura de 293 K, capacitatea termică specifică a uleiului este de 2051 J/kg·K, iar a șrotului – de 1340 J/kg·K. Această variație a lui c în funcție de conținutul în ulei este confirmată și de savanții Gogolev F.T. [135], Gherjoi A.P [118], care indică că la aceeași temperatură ($T = 293$ K), capacitatea termică specifică variază de la 1520 J/kg·K pentru semințele cu un conținut în ulei de 31,4 % până la 2260 J/kg·K pentru semințele cu un conținut în ulei de 46,7 %. Dependența matematică a capacității termice specifice a semințelor de floarea-soarelui ca funcție de conținutul în ulei ($c_{s.u.}^M$) este reprezentată cu formula:

$$c_{m.u.}^M = 1098 + 13,6 \cdot M, \text{ J/kg}\cdot\text{K}, \quad (2.5)$$

în care M este conținutul în ulei, în %.

Pentru același conținut în ulei, capacitatea termică specifică a semințelor de floarea-soarelui este și funcție de temperatură. Astfel, capacitatea termică specifică a semințelor cu $M = 31,4$ % crește de la 1520 J/kg·K la temperatura 293 K până la 1624 J/kg·K la temperatura 358 K. Dependența matematică a capacității termice specifice în funcție de temperatură ($c_{s.u.}^T$) este prezentată în [128]:

$$c_{s.u.}^T = c_{s.u.}^M + a(T - 291), \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K}), \quad (2.6)$$

în care a este coeficientul difuziei termice, în m^2/s .

Rezultatele experimentale realizate de Gogolev F.T. [135] au demonstrat că coeficientul difuziei termice al produselor oleaginoase este funcție de conținutul în ulei:

$$a = 0,95 + 0,019 \cdot M, \text{ m}^2/\text{s}. \quad (2.7)$$

Influență majoră asupra capacității termice specifice are și umiditatea, ca parte componentă a produsului. Pentru semințele de

floarea-soarelui, funcția $c = f(W)$ are formă liniară numai în sectoare aparte, fiind prezente între ele puncte de trecere:

$$c = c_0 + tgN \cdot W, J/(kg \cdot K) \quad (2.8)$$

în care c_0 este capacitatea termică specifică calculată a semințelor de floarea-soarelui

Astfel, pentru semințele de floarea-soarelui cu umiditatea în limitele $7,5\% < W < 33,3\%$ dependența lui c în funcție de W este:

$$c = 1675 + 18,7 \cdot W, J/(kg \cdot K). \quad (2.9)$$

Pentru $5,0\% < W < 22,0\%$:

$$c = 2260 + 19,5 \cdot W, J/(kg \cdot K). \quad (2.10)$$

Umiditatea influențează și așa indici ai semințelor de floarea-soarelui ca densitatea (ρ) și masa volumetrică (ρ_v). În intervalul de umidități $6,4...21,7\%$, ele cresc și pot fi determinate cu formulele [135]:

$$\rho = 684,1 + 4,05 \cdot W, \text{ kg/m}^3; \quad (2.11)$$

$$\rho_v = 342,9 + 1,91 \cdot W, \text{ kg/m}^3. \quad (2.12)$$

Conform aceleiași surse literare, în limitele de temperaturi $273...313\text{ K}$, densitatea și masa volumetrică a semințelor de floarea-soarelui nu depind esențial de temperatură.

Conductibilitatea termică a semințelor de floarea-soarelui este funcție atât de umiditatea produsului, cât și de temperatura lui. Astfel, Kirievski B. N. [182] a determinat formula de calcul a conductibilității semințelor de floarea-soarelui în limitele conținutului în ulei $38,0...50,4\%$:

$$\lambda = 1,16(0,007W + 0,86)[0,42 \cdot 10^{-6} \rho_v(273 + T) + 0,0254], \text{ W/(m} \cdot \text{K)}. \quad (2.13)$$

Interes prezintă și influența uleiului asupra coeficientului conductibilității termice și de difuzie termică. Cercetările experimentale [128] indică că proprietățile termofizice reduse ale uleiului reduc într-o oarecare măsură și proprietățile analogice ale semințelor de floarea-soarelui.

Uleiul de floarea-soarelui este compus, în principal, din acid linoleic, un acid gras cu 18 carbon și cu două legături duble. Acidul linoleic mai este numit și esențial, deoarece nu poate fi sintetizat de către organismul uman și necesitățile în acest acid gras sunt aduse prin intermediul alimentației [324].

O mare importanță în componența uleiului din semințe de floarea-soarelui prezintă fosfolipidele, al căror conținut, cărora în mare măsură, este dependent de metoda de extragere a uleiului (tabelul 2.1).

Tabelul 2.1 Conținutul de fosfolipide și glicolipide în semințele de floarea-soarelui și derivatele ei [324]

Produsele prelucrate din semințele de floarea-soarelui	Unitate de masă, % totalul lipidelor			Unitatea de masă, % lipide polare	
	Lipide polare	Fosfolipide	Glicolipide	Fosfolipide	Glicolipide
Miezul seminței	1,95	1,26	0,69	64,62	35,38
Ulei forpres	1,14	0,68	0,46	59,65	40,35
Ulei extras	1,28	0,98	0,30	76,56	23,44
Șrot după extras	3,03	2,89	0,05	98,35	1,65
Ulei după hidratație	0,53	0,17	0,36	32,08	67,92
Concentrat fosfatidic	52,92	40,95	11,97	77,38	22,62

Pentru semințele oleaginoase este caracteristică prezența vitaminelor liposolubile, care au o mare valoare biologică. Sterinele produse în semințe sunt vitaminele grupei D, care în organism reglează schimbul de Ca și P. Vitaminele grupei E sau tocoferolul în semințele uleiurilor se găsesc în formă activă din amestec de tocoferoli. Tocoferolii se deosebesc prin cantitatea și locul grupelor metalice cu activitatea antioxidantă diferită. În prezent, sunt cunoscuți: α -, β -, γ -, ϵ -, η -, ξ -tocoferoli. Proprietăți puternice antioxidante le au γ și δ tocoferolul.

Tocoferolii prezintă lipide oxidante cu radicali liberi. Partea de masă în uleiuri este mică și depinde de tipul uleiului. În uleiul de floarea-soarelui se conține cca 48,8...51,0 mg tocoferoli, din care

conținutul fracționar în tocoferoli din masa totală se distribuie în modul următor: $\alpha = 92,2\%$ și $\delta = 7,8\%$.

Masa macroelementelor în semințele oleaginoase constituie până la 90 % din substanțele uscate și sunt prezentate prin P_2O_5 ; K_2O ; CaO , MgO ș.a. (tab. 2.2).

Tabelul 2.2 Conținutul macroelementelor în semințe de floarea-soarelui, mg la 1 kg masa uscată [324]

Cultura	P_2O_5	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Fe_2O_3
Floarea-soarelui	35,4...41,1	24,5...28,4	7,4	7,6...17,0	12,3...17,9	1,6

În cantități mici se conține fosfor, pe al doilea loc se află potasiul, oxizii de diferită natură și componență. Celelalte elemente minerale prezente în cenușa semințelor oleaginoase sunt prezente în cantități mult mai mici.

Microelementele din floarea-soarelui sunt prezentate prin: B, Mg, Zn, Cu ș.a. Conținutul lor în semințele oleaginoase este prezentat în tabelul 2.3.

Tabelul 2.3 Conținutul microelementelor în semințe, mg la 1 kg masa uscată [324]

Cultura	B	Mg	Cu	Zn
Floarea-soarelui	21,0	18,0	8,1	52,5

Rolul microelementelor atât în plante, cât și în organismul uman, e destul de important. Ele intră în componența diferitor enzime sau sunt activatori ai acestora. Importanța microelementelor în viața plantelor este determinată prin influența la formarea substanțelor organice.

2.1.3. Migdalul

În comparație cu alte specii pomicele oleaginoase, migdalul este mai puțin răspândit în Republica Moldova. În calitate de cultură, migdalul, la noi în țară, se numără de câteva decenii, dar nu a

fost recunoscut până în 2002, pentru că lipseau soiurile adaptate la condițiile mediului. Anume în acel an, în Registrul soiurilor de plante al Republicii Moldova au fost înregistrate două soiuri ”Pervenet Hramova” și ”Victoria”, obținute prin selecție la Institutul de Cercetări pentru Pomicultură. În momentul de față, în țară sunt omologate șapte soiuri, dintre care cinci sunt autohtone și două introduse din selecția mondială.

În legătură cu cererea sporită a produsului finit pe piața mondială și a prețului de vânzări, începând cu anul 2004, în Republică s-au înființat plantații de peste 500 ha. Cele mai mari plantații de migdal sunt în: Anenii-Noi, „Vlasov” – 47 ha; Comrat, GȚ „AIDÎN” – 80 ha; Hîncești, SRL „Agrolina” – 54 ha; Ștefan-Vodă, „Iudmila” – 12 ha; ș.a.

Totodată, conform Programului Național Pentru Dezvoltarea Culturilor Nucifere până în anul 2020, adoptat prin Hotărârea de Guvern nr. 8 din 03.01.06 [66] pentru perioada 2006–2020 se preconizează înființarea a 10,1 mii hectare livezi de migdal cu soiuri autohtone omologate, care posedă un grad înalt de adaptivitate la condițiile din centrul și sudul țării și în perioada de fructificare deplină asigură recolte de 2,0–2,5 tone fructe uscate la hectar.

O deosebită importanță pentru economia națională constituie prelucrarea aprofundată a producției de nuci, migdale sau alune, producerea cărbunelui activ, prepararea diferitelor produse de cofetărie, extragerea uleiului comestibil și tehnic, care este folosit în tehnică, pictură, la fabricarea cernelei tipografice, săpunului de lux, lacurilor, pentru extragerea uleiurilor eterice.

Modernizarea sortimentului de migdal prevede obținerea unor noi soiuri cu un grad de adaptivitate mai înalt la condițiile climaterice din centrul și sudul țării, cu fructe mari, coajă moale, miez mare și plăcut la gust.

Pentru sporirea potențialului producător al plantațiilor existente de nuc și înființarea de noi plantații de specii nucifere sînt necesare resurse financiare considerabile, în sumă de circa 40 mil. lei anual, iar pentru dezvoltarea bazei tehnico-materiale și a cercetărilor științifice în nucicultură - de 10–15 milioane de lei.

Îndeplinirea măsurilor prevăzute de prezentul Program va contribui la sporirea considerabilă a volumului producției nucifere, care, în anul 2020, va atinge cifra de 67,3 mii tone, inclusiv migdale

– 9,6 mii tone. În anul 2025, volumul producției de nuci și migdale va atinge cifra de 86,3 mii tone, inclusiv migdale – 16,3 mii tone.

Migdalul se referă la familia *Rosaceae*, subfamilia *Prunoidae*. Denumirea latină – *Prunus dulcis*.

La moment, sunt cunoscute peste 40 sorturi care sunt cultivate în Europa, Asia și America de Nord. Migdalul prezintă niște arbori mici (3–8 m înălțime) cu ramuri roșietice și frunze alterne, eliptice-lanceolate. Florile au petale de culoare roz-roșietică sau albe și apar înaintea frunzelor în martie–aprilie pe o durată de 2...3 săptămâni. Fructul se recoltă în lunile iulie–august. Pomul începe a da roadă după al 3-lea sau al 4-lea an pe o perioadă de 30...50 ani [16].

Fructul este de culoare verde, cu endocarp foarte dur și conține o singură sămânță. Se deosebesc două varietăți ale migdalului, amar și dulce. Între aceste varietăți nu există diferențe semnificative, diferențierea lor fiind dificilă. Fructele de la migdalul amar sunt puțin mai mici decât cele de la migdalul dulce.

Masa absolută a 100 miezuri de sămbure de migdal de soiul „Victoria” folosite în studiul cineticii procesului de uscare a fost de 120,5 gr. Masa de rambleu a miezului de sămbure de migdal a constituit 598,8 kg/m³ iar densitatea – 1010,0 kg/m³.

Migdalul amar (var. amara) conține glicozid cianogenetic (amigdalină), care se descompune ușor în zahăr, benzaldehidă și acid cianhidric foarte otrăvitor. De aceea, consumul de semințe de migdal amar crude în care conținutul în glicozid cianogenetic depășește 3,5 % nu se recomandă. Consumul a 10 semințe de migdal amar poate avea efect letal pentru un copil, iar pentru adulți – 50 semințe. În procesul tratării termice cianura de hidrogen se evaporă și dispare [169].

Din punct de vedere farmaceutic, cele mai importante sunt migdalele amare. Se obțin prin spargerea părții dure a fructului, apoi se tratează și se usucă. Prin macerarea în apă a migdalelor amare și apoi distilarea maceratului se obține esența de migdale amare (Aqua amygdalarum amarum), bogată în aldehydă benzoică, cu efect calmant al tusei și antivomitiv. Este utilizată ca și corector al gustului. Extern poate fi folosită la prepararea unor unguente, ruji contra reumatismului.

Migdalul dulce (var. *dulcis*) este dulce la gust și conține amidalina în cantități neînsemnate. Din migdalele dulci se obține, prin presare, uleiul de migdale dulci (*Oleum amygdalarum*). Acesta se poate folosi ca laxativ ușor, în dermatologie și cosmetologie ca excipient sau pentru proprietățile sale antiinflamatorii și cicatrizante. Turtele rezultate după obținerea uleiului pot fi folosite în terapeutică și cosmetică pentru prepararea de cataplasme și măști.

Conform informației Ministerului Agriculturii al Statelor Unite ale Americii referitor la valoarea nutritivă a migdalului [63, 175] el, pe drept, poate fi numit rege al nucilor. Aceasta se explică prin gama mare a elementelor nutritive pe care le conține și prin raportul procentual benefic dintre ele.

Migdalele nu numai că sunt bogate în substanțe nutritive, dar și reduc riscul de boli cronice. Ele sunt o bună sursă de proteine, de acizi grași esențiali, de fibre și minerale, de potasiu, magneziu, zinc și de cupru. Migdalele sunt, de asemenea, una dintre cele mai bune surse alimentare de vitamina E în formă de δ - α -tocoferol. Deși migdalul, ca și toate nucile, conține o varietate mare de uleiuri, totuși majoritatea sunt mononesaturați. În tabelul 2.4. sunt prezentate substanțele nutritive de bază conținute în 100 g de migdal.

Datorită cantității sporite de minerale, unele alcătuiesc norma zilnică de consum numai în 100 gr de migdal. Conținutul de substanțe minerale este prezentat în tabelul 2.5.

Studiul bibliografic indică, că migdalul conține un șir de fitosterine, care contribuie la prevenirea maladiilor cronice, inclusiv a bolilor oncologice și cardiace.

Componența acizilor grași ai uleiului de migdal este destul de variată, predominând acizii monosaturați și polisaturați. Conținutul cantitativ a acestora în 100 g de migdal este prezentată în tabelul 2.6.

Migdalul dulce și cel amar se folosesc în medicină, cosmetică, alimentație. În industria farmaceutică, din ele se prepară droguri galucinante. În alimentație, se folosesc la prepararea produselor de patiserie, de cofetărie, în calitate de condimente în lichioruri. Din șrotul care rămâne în urma extracției uleiului de la semințe, se prepară făina utilizată pentru a prepara medicamente și produse de cofetărie.

Tabelul 2.4. Substanțele nutritive de bază conținute în 100 g migdal (conform informației Ministerului Agriculturii a Statelor Unite ale Americi)

nr. d/o	Substanțe nutritive	Unit. de măsură	Migdal natural	Migdal curățit
1	Valoarea energetică	kkal	578	581
2	Proteine	g	21,26	21,94
3	Lipide	g	50,64	50,62
4	Glucide	g	19,74	19,94
5	Celuloză (total)	g	11,8	10,4
6	Zahăr (total)	g	4,8	4,96
7	Zaharoză	g	4,54	4,78
8	Glucoză	g	0,12	0,04
9	Amidon	g	0,73	1,03
10	Cenușă	g	3,11	3,02

Tabelul 2.5. Substanțele minerale conținute în 100 g migdal (conform informației Ministerului Agriculturii a Statelor Unite ale Americii), în mg

	Ca	Fe	Mg	P	K	Na	Zn	Cu	Mn
Migdal natural	248	4,3	275	474	728	1	3,36	1,11	2,53
Migdal curățit	216	3,27	275	480	687	28	3,12	1,17	2,24

Uleiul de bază (nearomatizat) se obține prin presare atât din migdalul dulce, cât și din cel aromatizat. În contrast cu cel aromatizat, în el lipsește benzaldehida și este utilizat pe scară largă în medicină și în cosmetologie. Este recomandat în calitate de laxativ și ca un medicament contra bronșitei, tusei, arsurilor la stomac, la tratarea rinichilor, a vezicii urinare. El ajută la reducerea durerilor

musculare și face pielea mai moale. Uleiul de migdale amare nu este utilizat pentru scopuri medicinale. În industria alimentară se folosește uleiul de migdale rectificat.

**Tabelul 2.6. Lipidele conținute în 100 g migdal
(conform informației Ministerului Agriculturii a Statelor Unite
ale Americii)**

nr. d/o	Substanțe nutritive	Unit. de măsură	migdal natural	Migdal curățit
1	Acizi grași saturați (total)	g	3,881	3,89
2	16:0 Palmitic	g	3,198	3,255
3	18:0 Ctearic	g	0,683	0,635
4	Acizi grași monosaturați (total)	g	32,155	32,287
5	16:1 Palmitoleic	g	0,234	0,241
6	18:1 Oleic	g	31,921	32,046
7	Acizi grași polisaturați (total)	g	12,214	12,054
8	18:2 Linoleic	g	12,214	12,054
9	Fitosterine (total)	mg	120	115
10	Stigmasterol	mg	4	1
11	Kampesterol	mg	5	6
12	β -sitosterol	mg	111	109

Uleiul are o culoare gălbuie, posedă miros plăcut și, datorită conținutului sporit în vitamina E, durata de păstrare este mare.

Datorită conținutului sporit în acid oleic, uleiul este ușor absorbit în piele. Dar, folosirea în stare pură poate fi comedogenă (astupă porii), de aceea, pentru folosirea în calitate de unguent se recomandă a-l dilua cu unele uleiuri mai „ușoare” (de exemplu, uleiul din semințe de struguri).

Migdalul, ca și toate nucile, este bogat în uleiuri mononesaturate. Anume prin prezența acestor tipuri de uleiuri în migdal la persoanele care îl folosesc în alimentație se observă o reducere a riscului de boli cardiace [43, 70].

Migdalului îi aparține un mare rol la elaborarea rețetelor dietetice indicate pentru reducerea colesterolului. La folosirea zilnică în alimentație a cca 30 g de migdal, nivelul de colesterol se poate reduce până la 9,4 %. Migdalul, de asemenea, este unul dintre cele mai bune surse în vitamina E în forma δ - α -tocoferol [70].

2.2. Standul experimental de înregistrare a parametrilor electrofizici a produselor oleaginoase

2.2.1. Argumentarea metodelor de măsurare a parametrilor electrofizici

Determinarea proprietăților electrofizice este o etapă importantă de proiectare și elaborare a procedeelelor, tehnologiilor și utilajului respectiv de prelucrare termică a produselor alimentare în câmpuri electromagnetice.

În principiu, variația oricărui parametru al materialului, cauzată de influența câmpului electromagnetic, poate servi pentru determinarea ε' și $\tan \delta$ ale acestuia.

La frecvențe reduse ale câmpului electromagnetic, cea mai simplă este și mai evidentă este interacțiunea câmpului electromagnetic al condensatorului cu materialul cu care este umplut acest condensator. De aceea, ca regulă, toate metodele de măsurare a proprietăților electrofizice ale dielectricului la frecvențe joase se reduce la evidența variației capacității electrice la umplerea condensatorului cu product. Metodele de înregistrare a variației capacității condensatorului cu material și determină metodele de măsurare a proprietăților electrofizice. Cele mai răspândite metode sunt metodele punții, metodele de rezonanță, metodele ghidului de unde etc. [19, 106, 138, 273, 282, 304].

Folosirea acestor metode permite de a efectua măsurările parametrilor dielectrici ai produselor cu un grad de precizie destul de înaltă. Astfel, pentru dielectricii neconductorii la determinarea ε' ,

metoda de rezonanță permite de a obține o precizie de cca 0,01%. Odată cu creșterea conductibilității electrice a produsului, eroarea măsurărilor, de asemenea crește.

În domeniul câmpurilor SHF, datorită specificului distribuției câmpului electromagnetic în material, se modifică și metodele de măsurare a parametrilor electrofizici. În unele cazuri, rămân aceleași metode de rezonanță, dar se folosesc și metode, la a căror bază se află interacțiunea dintre undele electromagnetice direcționate și material.

Este cunoscut că alegerea unei sau altei metode de măsurare a parametrilor electrofizici ai dielectricilor (pentru cazul nostru ai produselor vegetale oleaginoase), în mare măsură, depinde de frecvența câmpului electromagnetic. [218, 287, 296, 326]. Astfel, în limitele de frecvențe $10^2 \dots 10^7$ Hz se folosesc pe larg metodele punții, în limitele de frecvențe $10^5 \dots 10^{10}$ Hz – metoda rezonanței prin contur și în limitele $10^9 \dots 10^{11}$ – metoda undelor.

Studiul procesului de uscare a produselor oleaginoase s-a realizat pentru cazul aplicării câmpurilor electromagnetice de frecvență înaltă (UHF). De aceea, pentru cercetarea parametrilor electrofizici ai acestor produse pentru diapazonul de frecvențe menționat s-a folosit metoda de rezonanță prin contur.

Metodele de rezonanță se bazează pe conversia capacității celulei (condensatorului) măsurătoare conectate în conturul LC în valoarea corespunzătoare a factorului de calitate și a frecvenței de rezonanță. Aceste metode permit de a obține rezultate de o precizie destul de înaltă [133, 225, 286, 291].

Circuitele rezonante cu parametri concentrați (care includ bobine de inducție, condensatoare și rezistențe electrice) se folosesc pentru diapazonul de frecvențe 10 kHz ... 200 MHz. Una dintre metodele de rezonanță, folosită pe larg este metoda variației conductibilității reactive. Variația conductibilității reactive, în acest caz, se realizează la schimbarea capacității circuitului oscilant (fig. 2.2). Generatorul lucrează într-un regim al intensității constante a curentului, de aceea, la schimbarea conductibilității reactive, tensiunea conturului oscilant paralel trece printr-o valoare maximă, iar apoi scade. Valoarea maximă a tensiunii conturului corespunde stării de rezonanță.

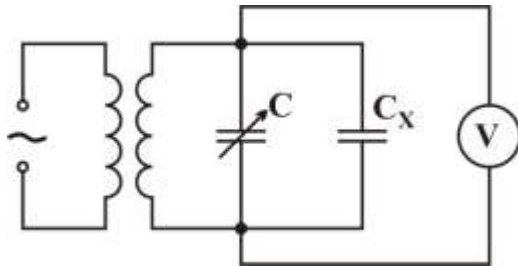


Fig. 2.2. Schema metodei de variație a conductibilității reactive.

De obicei, metoda de rezonanță se axează pe două înregistrări consecutive ale parametrilor conturului oscilant. La prima înregistrare, în circuitul conturului se conectează condensatorul (celula de lucru) fără de product. În acest caz se înregistrează capacitatea electrică a condensatorului gol C_1 și factorul de calitate al acestuia Q_1 . La a doua înregistrare, se conectează condensatorul electric, între ale cărei plăci se află productul studiat și se determină capacitatea electrică a condensatorului cu product C_2 și factorul de calitate al acestuia Q_2 [171, 172].

În baza rezultatelor obținute, capacitatea dielectricului studiat se determină cu formula:

$$C_x = C_1 - C_2, \quad (2.13)$$

iar tangenta unghiului de pierderi dielectrice – cu formula [110, 152]:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{(Q_1 - Q_2) \cdot C_1}{Q_1 \cdot Q_2 (C_1 - C_2)}. \quad (2.14)$$

Determinarea permitivității dielectrice relative se reduce la măsurarea capacității condensatorului măsurător (celulei măsurătoare) umplut cu dielectricul studiat:

$$\varepsilon' = \frac{C_x - C_p}{C_0}, \quad (2.15)$$

în care C_0 este capacitatea condensatorului măsurător gol, în pF;

C_p – capacitatea parazitară (capacitatea firelor de conexiune), în pF.

Pentru determinarea proprietăților electrofizice ale dielectricilor, în particular ale produselor vegetale, o largă răspândire au găsit schemele echivalente ale conturilor de rezonanță paralele și consecutive. Conform surselor literare, primele, datorită gradului înalt de precizie și simplității efectuării măsurărilor, se folosesc mai frecvent.

Reieșind din cele menționate, la studierea parametrilor electrofizici ai produselor oleaginoase, în intervalul de frecvențe cercetat, a fost utilizată metoda de rezonanță.

Metodele menționate nu exclud influența rezultatelor obținute de către parametri electrofizici ai liniilor de conexiune. În [237, 304, 325] este prezentată o metodă nouă, elaborată de prof. A. Lupașco, care reduce la minim influența liniilor de conexiune. Metoda se bazează pe trei circuite oscilante [221].

Aplicând schema paralelă echivalentă, considerăm că condensatorul de măsurat este înlocuit cu două condensatoare conectate în paralel. Unul dintre ei este condensatorul de măsurat fără de product, altul, convențional, reprezintă materialul supus studiului. În acest caz, este necesar de examinat trei circuite oscilante (fig.2.3 și 2.4).

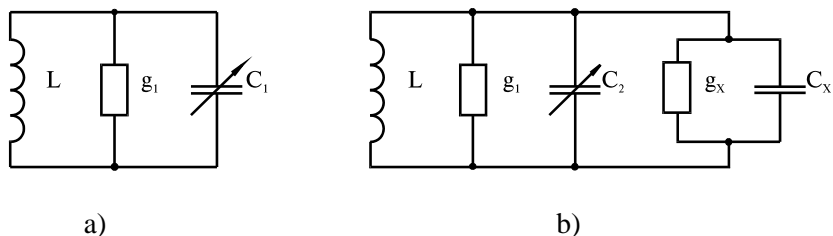


Fig. 2.3. Schema circuitului oscilant pentru măsurarea parametrilor bobinei a); și condensatorului de măsurat fără de product b).

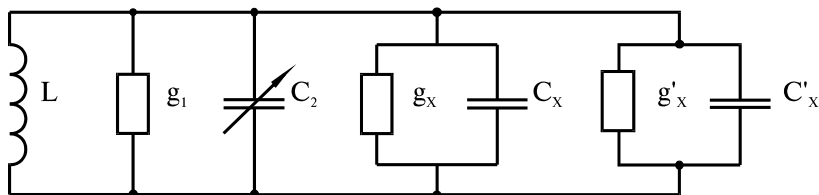


Fig. 2.4. Schema circuitului oscilant pentru măsurarea parametrilor produsului.

Determinarea parametrilor condensatorului de măsurat cu variația frecvențelor se efectuează cu trei înregistrări. Prima constă în conectarea bobinei de inducție la Q-metru și schimbând capacitatea condensatorului de reglare, se pune circuitul în rezonanță și se determină factorul calității Q_1 și capacitatea de rezonanță C_1 . La a doua, conectând în contur condensatorul de măsurat fără de produs, se determină folosind aceeași 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 .

Calculul tangentei unghiului de pierderi dielectrice $\operatorname{tg} \delta$ și al permeabilității dielectrice relative ε' a ardeului iute se efectuează utilizând relațiile [20]:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{(Q_2 - Q_3) \cdot C_1}{Q_2 \cdot Q_3 (C_2 - C_3)}; \quad (2.17)$$

$$\varepsilon' = \frac{C_2 - C_3}{C_0}, \quad (2.18)$$

în care Q_1 , C_1 sunt factorul calitativ și, respectiv, capacitatea circuitului în rezonanță fără condensatorul de măsurat;

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

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

C_0 – capacitatea condensatorului de măsurat în stare de vid. În cazul măsurării C se utilizează formula [141]:

$$C_0 = 6.95 \frac{D^2}{d}, \quad (2.19)$$

în care D este diametrul plăcii condensatorului, în m;
 d – distanța dintre plăcile condensatorului.

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

2.2.2. Descrierea construcției instalației de laborator pentru determinarea proprietăților electrofizice ale produselor oleaginoase

Cercetările parametrilor electrofizici ai produselor oleaginoase au fost efectuate în instalația de laborator, prezentată în fig. 2.5.

Instalația este alcătuită din Q-metrul E4-5A 6 la care se conectează condensatorul de măsurat 2, umplut cu product, și bobina de inducție 3. Parametrii electrofizici au fost determinați la diferite temperaturi și umidități ale produsului pentru diferite frecvențe ale câmpului electromagnetic. Încălzirea produsului din condensator se efectua cu aer cald. Temperatura probei de produs s-a măsurat cu termocuplul ”cupru și constantaniu” 3 conectat la puntea de măsurare ”P-4833 4”, sudura rece a termocuplului fiind lăsată în termostatul cu gheață de tipul vasului ”Dewar” 5.

Condensatorul de măsurat prezintă două plăci rotunde cu diametrul de 0,04 m și grosimea 0,003 m despărțite una de alta prin intermediul unui inel izolator, confecționat din teflon-4. O placă a condensatorului este unită la pământ.

Dimensiunile geometrice ale condensatorului au fost alese, conducându-se de reducerea efectelor marginale negative la minimum. Pentru aceasta, diametrul inferior al inelului izolator a fost acceptat de a fi mai mic cu 0.001 m de cât cât cel al plăcii rotunde.

Condensatorul de măsurat s-a instalat într-o cutie metalică pentru micșorarea acțiunii capacităților și inducțiilor parazitare.

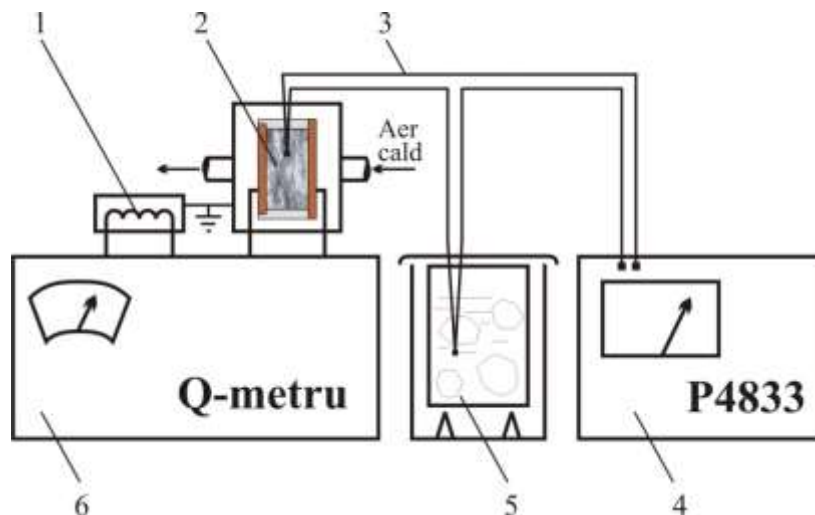


Fig.2.8. Schema instalației pentru determinarea parametrilor electrofizici ai ardeiului iute. 1 - bobina de inducție; 2 - condensatorul de măsurare umplut cu produs; 3 - termocuplu Cupru și Constantaniu; 4 - puntea de măsurare P-4833; 5 - termostat tip Dewar cu gheață; 6 - Q-metru E4-5A.

Temperatura produsului 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 diferența de potențial la capetele termocuplului. Diferența de potențial a fost convertită în °C cu ajutorul diagramei, construită în prealabil.

În experiențele destinate studierii parametrilor electrofizici ai produselor oleaginoase, au fost folosite semințe de migdal, de floarea-soarelui și fructe de cătină albă, cultivate în condițiile Republicii Moldova. Pentru experiențe au fost acceptate numai semințele și fructele întregi fără de impurități defecte mecanice.

Inițial, s-au pregătit probe de diferite umidități. Umiditatea probelor s-a determinat prin metoda uscării până la o masă constantă. Astfel, au fost obținute probe cu următoarele umidități: fructe de cătină albă – 3,93; 9,2; 12,1 și 19,62 %; semințe de floarea-soarelui – 4,05; 10,48; 15,06; 20,15 % și semințe de migdal – 3,96; 10,12; 14,87; 19,96 %;

Pentru obținerea probelor de diversă umiditate, ele au fost supuse unui procedeu de uscare la un regim lent. Temperatura agentului de uscare nu depășea 60°C. Determinarea umidității finale a probelor se calcula, în prealabil, conform relației [277]:

$$W_2 = 100 - \frac{M_1}{M_2} (100 - W_1), \quad (2.20)$$

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

M_2 – masa finală a probei, în kg;

W_1 – umiditatea inițială a probei (raportul dintre umiditatea din product și masa totală), în %;

W_2 – umiditatea finală a probei, în %;

Probele uscate până la umiditățile finale calculate, 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.

2.3. Standul experimental de cercetare a câmpului de temperaturi în stratul de produse oleaginoase

2.3.1. Descrierea instalației de laborator pentru cercetarea câmpului de temperaturi

Una dintre problemele cele mai complicate apărute la studiul procesului de încălzire a produselor umede în câmp electromagnetic este înregistrarea temperaturii. Conform studiului bibliografic, s-a determinat că una dintre metodele cele mai eficiente de măsurare a temperaturii este folosirea termocupurilor. Dar, în acest caz, este necesar de luat în considerație creșterea temperaturii în nemijlocita

apropiere a termocuplului datorită curenților capacitivi suplimentari [239]. Dar, conform aceleiași surse literare, pentru cazul instalării simetrice a termocuplurilor în raport cu plăcile condensatorului, temperatura termocuplului va fi:

$$t_T = t_n + \frac{\sigma'}{2\lambda_q} \left(\frac{1}{4} E^2 L^2 + \Delta\varphi^2 \right), \quad (2.21)$$

în care t_n este temperatura nominală a produsului în punctul studiat, în K;

σ' – conductibilitatea specifică, în Ω/m ;

λ_q – conductibilitatea termică, în $W/m \cdot K$

E – intensitatea câmpului electromagnetic, în W/m ;

L – lungimea termocuplului, în m.

Creșterea potențialului termocuplului $\Delta\varphi$ este cauzat de potențialul punctului în care el a fost montat și se determină cu formula:

$$\Delta\varphi = \varphi_0 \frac{C_2}{C_2 + 2C_1}, \quad (2.22)$$

în care C_1 este capacitatea electrică a celulei de lucru, în F;

C_2 – capacitatea electrică dintre termocuplu și unirea la pământ, în F.

Creșterea suplimentară a temperaturii, cauzată de curenții capacitivi este [239]:

$$\Delta t = \frac{\sigma' \Delta\varphi^2}{2\lambda_q}. \quad (2.23)$$

Pentru cazul produselor oleaginoase studiate, Δt a variat în limitele de 0,18...0,26 K, ceea ce nu depășește precizia de măsurare a aparatului secundar.

Totodată, curenții capacitivi pot fi reduși prin limitarea lungimii termocuplurilor, ele fiind nu mai lungi de 0,2 m. În scopul reducerii erorii, măsurările s-au realizat numai în momentul deconectării câmpului electromagnetic.

Pentru cercetarea distribuției câmpului de temperaturi în produsele oleaginoase la tratarea termică a acestora prin convecție și în câmp UHF, a fost elaborat un stand experimental (fig. 2.9) alcătuit din aparatul de măsurat temperatura cu opt intrări „TRM138” 3 de firma ”OBEH” (Rusia) la care se conectau 4 termocupluri „cromel-copel,, 2 cu diametrul firelor de 0,1 mm, celula de lucru 1 în care au fost montate sudurile termocuplurilor, blocul de interfață 4 al aparatului de măsurat temperatura, computerul 5 și comutatorul 6.

Sudurile termocuplurilor au fost montate în celula de lucru la distanța de 0,01 m una de alta pe verticală, astfel încât prima să înregistreze temperatura stratului central al produsului, ultima – temperatura stratului superficial și cele intermediare – temperatura straturilor intermediare dintre cel central și cel superficial. Unul dintre termocupluri înregistrează temperatura mediului înconjurător.

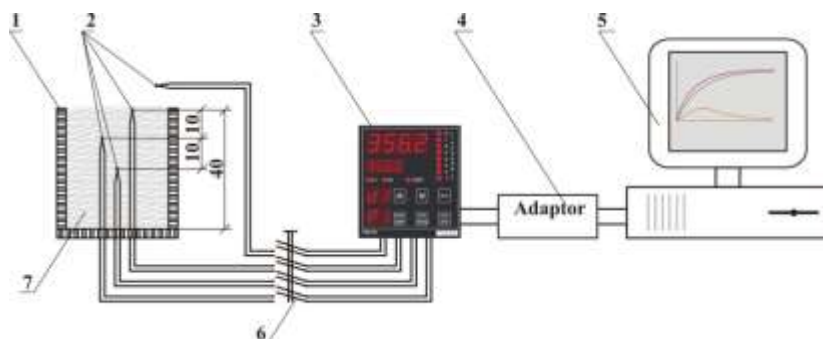


Fig.2.9. Schema standului pentru studiul câmpului de temperaturi la tratarea termică a produselor oleaginoase. 1 – celula de lucru; 2 – termocupluri cromel-copel; 3 – aparat de măsurat temperatura cu opt intrări ”OBEH TRM138”; 4 – adaptor; 5 – computer; 6 – comutator; 7 – materialul studiat.

Toate termocuplurile sunt conectate la aparatul de măsurat temperatura ”OBEH TRM138” cu eroarea admisibilă de $\pm 0,5\%$ și frecvența înregistrărilor de 1 s^{-1} . Interfața dintre aparatul de măsurat și computer a fost asigurată de adaptorul 4.

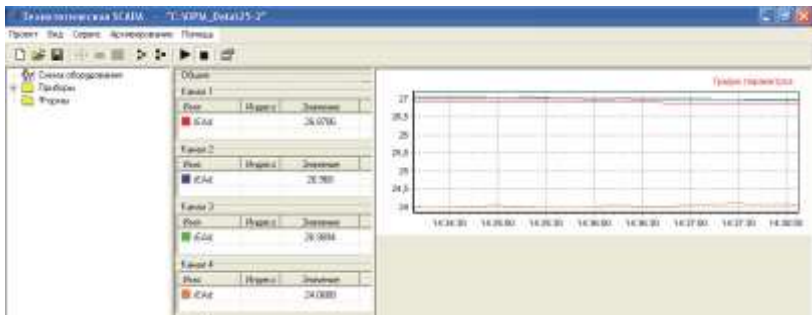


Fig.2.10. Vizualizarea online cu ajutorul softului SCADA pe ecranul computerului a variației temperaturii produsului în diferite puncte spațiale.

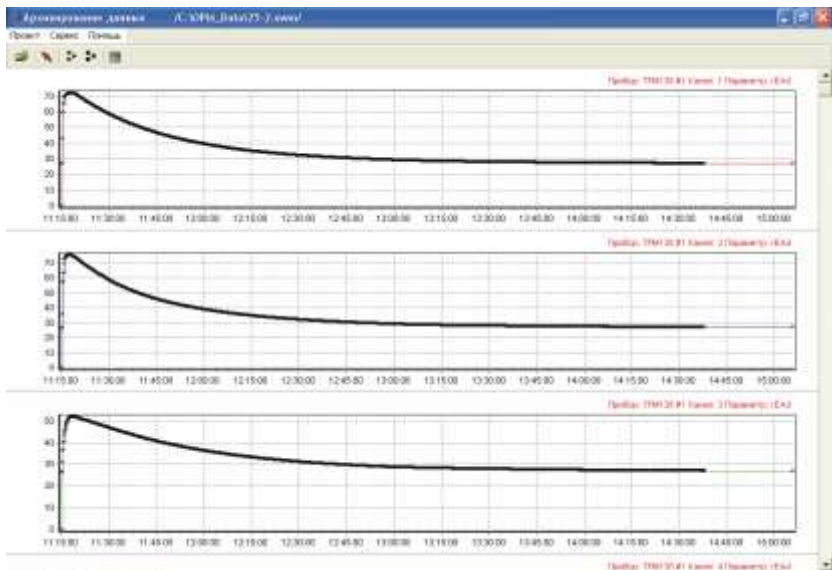


Fig.2.11. Vizualizarea finală pe ecranul computerului a variației temperaturii produsului în diferite puncte spațiale.

În funcție de grosimea stratului de product studiat, au fost confecționate celule de lucru de înălțimea 0,06 m și 0,04 m cu trei și, corespunzător, patru termocupluri montate în interior. Camera de lucru prezintă un cub cu pereții confecționați din polietilenă perforată cu grosimea de 0,001 m și diametrul orificiilor – de 0,004 m. Coeficientul secțiunii vii a suprafețelor perforate a fost de 0,75.

Indicațiile aparatului de măsurare ”OBEH TRM138” prin intermediul adaptorului au fost transmise la computer și prelucrate cu ajutorul softului SCADA (fig.2.10 și 2.11). Softul SCADA permite atât vizualizarea grafică online a temperaturii înregistrate pentru toate cele opt intrări (fig. 2.10), vizualizarea grafică finală a înregistrărilor (fig. 2.11), cât și înregistrarea valorilor numerice ale temperaturii cu o periodicitate de până la 1 s.

Prelucrarea statistică și matematică a datelor înregistrate a fost realizată cu ajutorul softului MATHCAD 14.

2.3.2. Metodica înregistrării câmpului de temperaturii în produsele oleaginoase

Determinarea câmpului de temperaturi în stratul de produse oleaginoase supus tratării termice s-a realizat prin înregistrarea concomitentă a temperaturii produsului în centru, la periferie și în una sau două puncte intermediare dintre centru și periferie în funcție de grosimea stratului de product studiat. Înregistrările temperaturii în punctele menționate aveau loc atât la încălzirea prin convecție sau în câmp de frecvență înaltă, cât și în perioada de repaus, după aplicarea energiei termice.

Pentru studiul câmpului de temperaturi au fost pregătite probe de semințe de floarea-soarelui, cătină albă și miez de sămbure de migdal de umiditatea 4,0; 5,0; 10; 15 și 20 %.

Pentru studiul câmpului de temperaturi, la încălzirea prin convecție, celula de lucru cu product au fost plasate în camera de lucru al uscătorului, în care era asigurat un flux de aer cu viteză constantă de 1,1 m/s. Temperatura fluxului de aer a fost de 60,0; 70,0; 80,0; 90,0 și 100 °C. Din momentul plasării celei de lucru cu termocuplurile în acest flux de aer cald, aparatul de măsurat OBEH TMP138 s-a conectat la computer și s-au înregistrat în continuu

indicațiile aparatului. După atingerea temperaturii maxime a produsului sau a celei necesare conform cerințelor experienței, camera de lucru se deconectează de la alimentarea cu aer cald și se conectează la un flux de aer cu temperatura mediului înconjurător (20 °C) de aceeași viteză – 1,1 m/s. La această etapă avea loc înregistrarea online a scăderii temperaturii produsului în punctele studiate. Comutatorul 6, pe tot parcursul efectuării înregistrărilor, se afla în poziție conectată.

La încălzirea în câmp UHF, celula de lucru se plasa între două plăci din cupru ale unui condensator la care se conecta ghidul de unde UHF. Câmpul de temperaturi a fost studiat pentru diferite intensități ale câmpului electromagnetic, și anume: pentru cățina albă – 17,8; 22,0; 24,2 și 28,2 kV/m; pentru semințele de floarea-soarelui și miezul de sâmbure de migdal – 25,6; 31,0; 38,0 și 44 kV/m. La intensități mai mari ale câmpului electromagnetic decât cele indicate, apăreau arsuri locale ale produsului, cauzate de creșterea curenților electrici direcți.

Pe parcursul înregistrării încălzirii în câmp U.H.F., celula cu produs era suflată cu un flux de aer cu viteza de 1,1 m/s și temperatura de 20 °C. În scopul evitării influenței câmpului electromagnetic asupra indicațiilor termocuplurilor, la momentul acțiunii câmpului electromagnetic, termocuplurile 2 erau deconectate de la aparatul de măsurat cu ajutorul comutatorului 6. Înregistrarea temperaturii produsului se efectua odată în 10 s. La momentul înregistrării, condensatorul se deconecta de la sursa U.H.F., iar termocuplurile se conectau la aparatul de măsurat 3. Durata măsurării temperaturii era de 2 s.

Prelucrarea statistică a rezultatelor experimentale obținute a fost efectuată conform criteriului Student [147, 151].

2.4. Standul experimental pentru studiul cineticii procesului de uscare a produselor oleaginoase

2.4.1. Descrierea instalației de laborator pentru studiul cineticii procesului de uscare prin diferite metode ale aportului de energie

În scopul studiului cineticii procesului de uscare a produselor oleaginoase prin diferite metode ale aportului de energie, a fost proiectată și construită o instalație de laborator. Instalația permite aportul de energie prin convecție și a sursei interne de căldură – a curenților de frecvență înaltă (U.H.F.). Aceste metode de aport de energie pot fi realizate în parte sau combinat – convecția + U.H.F. Câmpul electromagnetic U.H.F. poate fi aplicat continuu sau în formă de impulsuri.

Instalația este alcătuită din camera de uscare 1 (fig.2.12), în al cărei interior se află condensatorul coaxial 2, executat în formă de cilindru. Plăcile condensatorului coaxial sunt executate din alamă perforată. Fundul perforat este executat din dielectric de tipul Φ 4. Placa interioară este conectată la fiderul de alimentare cu unde de frecvență înaltă, iar cea externă – la corpul instalație.

Condensatorul coaxial este unit cu cântarul electronic 3 de tip "SC 132", capacitatea 0,3 kg; div: 0,01g. La cameră sunt anexate două conducte de aer 4 și 5 pentru alimentarea cu agent de uscare și pentru evacuarea acestuia.

Alimentarea instalației cu unde de frecvență înaltă de la generatorul "GD – 6000A" este realizată prin intermediul ghidului de unde coaxial 6. În cazul aportului de căldură prin convecție, agentul de uscare, încălzit în caloriferul 7, este vehiculat cu ventilatorul 8 prin conductele de aer 4 și 5 în camera de uscare 1. La uscarea pur prin convecție, alimentarea plăcilor condensatorului coaxial cu curent de frecvență înaltă nu se efectuează.

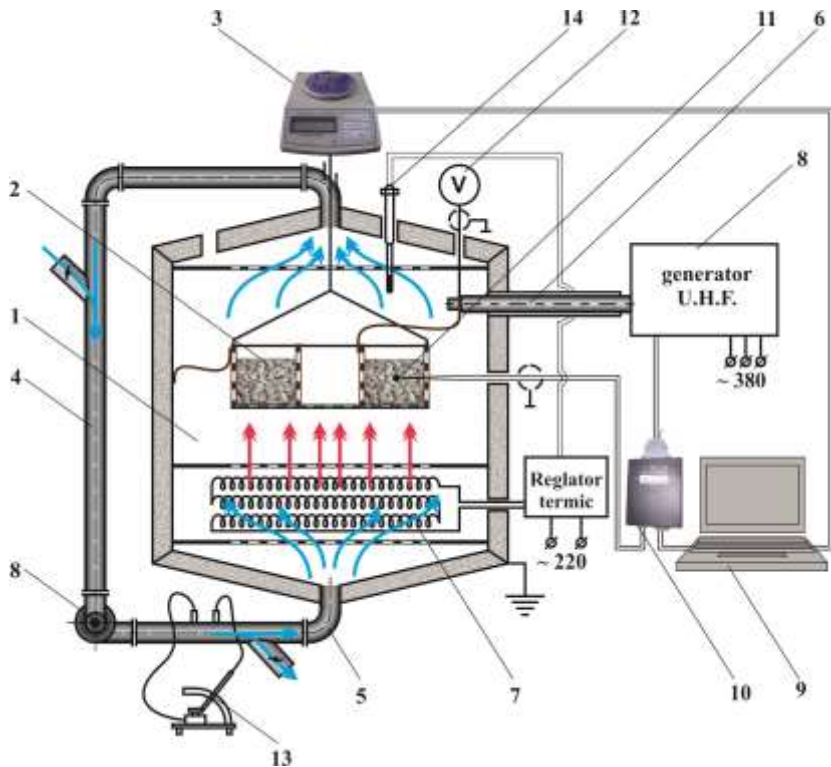


Fig. 2.12. Instalația experimentală pentru cercetarea cineticii procesului de uscare a produselor oleaginoase prin convecție și în câmp SHF: 1 – camera de lucru; 2 – celula măsurătoare; 3 – cântar electronic; 4,5 – conducte de aer; 6 – ghidaj de unde electromagnetice; 7 – elemente electrice de încălzire; 8 – generator de câmp U.H.F.; 9 – computer; 10 – convertor analog-digital; 11 – termometru cu rezistență; 12 – voltmetru electronic; 13 – micromanometru; 14 – termometru de contact.

La aplicarea sursei interne de căldură (încălzirea produsului în câmp U.H.F.) plăcile condensatorului, între care se află produsul, se alimentează cu curenți de frecvență înaltă. Înlăturarea aburilor formați se realizează cu un flux de aer de temperatura mediului

înconjurător. Combinarea aportului de căldură prin convecție cu cel în câmp U.H.F. are loc la aplicarea concomitentă a sursei interne de căldură și aerului cald, încălzit în caloriferul 7.

Aplicarea energiei U.H.F. prin impuls se realizează prin conectarea și deconectarea periodică a generatorului UHF 8. Periodicitatea conectărilor și duratele de aport de energie U.H.F. sunt funcție de scăderea de masă a produsului și calculate online la computer 9. Dirijarea de la calculator cu funcționarea generatorului 8 are loc prin intermediul convertorului analog-digital 10 de tip ZET 210.

În procesul de uscare s-a înregistrat scăderea de masă a produsului cu cântarul electronic 3, variația temperaturii produsului – cu termometrul cu rezistență 11 tip NC W=1,667 prin intermediul convertorului analog-digital 10 de tip ZET 210, tensiunea dintre plăcile condensatorului cu voltmetrul electronic 12 tip C-196, viteza agentului de uscare cu micromanometrul 13 tip MMN-1 și temperatura agentului de uscare cu termometrul cu mercur de contact 14 și consumul de energie. La atingerea umidității finale necesare, procesul de uscare se finisa, iar produsul uscat se descărca din condensator.

2.4.2. Metodica înregistrare concomitentă a scăderii de masă și de temperatură

Pentru măsurarea scăderii de masă a probei cercetat s-a folosit cântarul electronic de tip SC 132 cu capacitatea maximă de măsurare 0,3 kg, sensibilitatea cântarului a constituit 0,01g și precizia de măsurare – 5%. Cântarul electronic este conectat la computer, la care înregistrările pot fi vizualizate online cu ajutorul unui Soft elaborat special (fig. 2.13 a). Softul permite vizualizarea atât a valorilor numerice ale masei probei, cât și a graficului variației umidității în funcție de timp ($W = f(\tau)$). Înregistrarea masei probei supuse procesului de uscare a avut loc cu o periodicitate de 0,5 s.

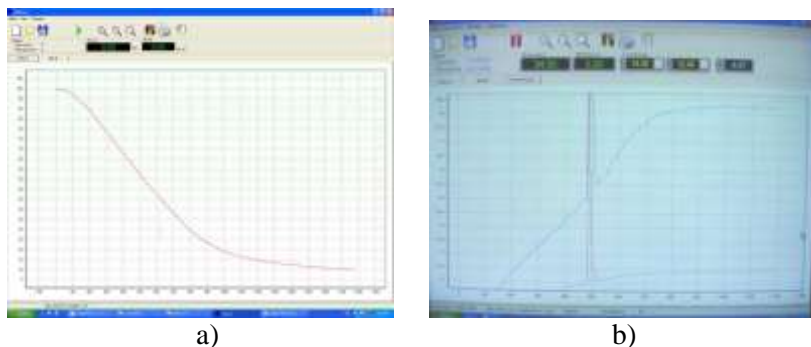


Fig. 2.13. Vizualizarea pe ecranul computerului a variației scăderii de masă a) și a temperaturii produsului b) în funcție de durata procesului de uscare.

Pe parcursul uscării, temperatura probei era înregistrată cu două termometre cu rezistență de tip NC $W=1,617$, sensibilitatea fiind de $0,01^{\circ}\text{C}$ și precizia de măsurare – 5%. Termometrele cu rezistență au fost amplasate în capsule metalice, iar firele electrice ecranate și unite la pământ astfel, încât influența câmpului electromagnetic asupra captorului s-a redus la „zero”. Primul termocuplu a fost introdus la centrul stratului de product, iar al doilea – la suprafața acestuia. Semnalul analogic, obținut de la termometrul cu rezistență, a fost transferat în formă digitală cu convertorul analog-digital ZET 210 și mai apoi transmis la computer.

Vizualizarea valorilor numerice ale temperaturii produsului și a graficului variației acesteia în funcție de timp avea loc cu ajutorul aceluiași Soft ca și în cazul scăderii de masă (fig. 2.13 b).

Softul menționat a permis stocarea valorilor numerice ale masei și temperaturii produsului, care, în continuare, au putut fi ușor transferate în programele Excel 2007 și Mathcad 14 pentru prelucrare statistică și matematică.

2.4.3. Metodica de înregistrare a intensității câmpului electromagnetic

Intensitatea câmpului electromagnetic obținut între plăcile condensatorului coaxial s-a determinat conform formulei [320]:

$$E = \frac{2 \cdot U}{(D - d) \cdot \ln \frac{D}{d}}, \quad (2.24)$$

în care U este tensiunea la plăcile condensatorului coaxial, în V;

D, d – diametrele exterior și, respectiv, interior al condensatorului coaxial, în m.

Tensiunea U la plăcile condensatorului coaxial se măsoară cu voltmetrul electric 12 (fig. 2.12) de tipul C – 196 cu clasa de precizie 0,2.

2.4.4. Pregătirea produselor oleaginoase către experiențe și metodică realizării acestora

Pentru cercetarea cineticii procesului de uscare a produselor oleaginoase, s-au folosit fructele de cătină albă de soiul „Krușinovidnaia” cu umiditatea inițială de 89,0 %, miezul de sâmbure de migdal de soiul „Victoria” cu umiditatea inițială de 26,89 % și semințele de floarea-soarelui de soiul „Lucaefărul” cu umiditatea inițială de 24,11 %, cultivate în condițiile Republicii Moldova.

Materia primă a fost selectată pentru studiu conform cerințelor Reglementării Tehnice „Fructe și legume proaspete destinate consumului uman ca atare” nr. 957 din 21.08.2007. Ele au fost supuse calibrării, pentru a obține particule de dimensiuni relativ egale. Astfel, s-au folosit cătina albă de diametrul convențional $4,0 \pm 0,5$ mm, miezul de sâmbure de migdal de lungimea de $25,0 \pm 2,0$ mm și grosimea de $10,0 \pm 1,0$ mm și semințele de floarea-soarelui cu dimensiunile: lungimea de $15,0 \pm 1,0$ mm și lățimea de $4,0 \pm 0,5$ mm.

Fiecare probă supusă procesului inițial a fost de 200 g.

În cazul uscării prin metoda convectivă, agentul de uscare se vehicula prin stratul de product. Din acest motiv, cântarul electronic se regla luând în considerație și presiunea creată de fluxul de aer asupra celei de lucru – condensatorului coaxial.

Uscarea convectivă s-a efectuat cu aer încălzit. La toate experiențele, viteza agentului de uscare a fost egală cu 1,1 m/c. În procesul de uscare, s-a urmărit online scăderea de masă a probelor ca funcție de timp, pe baza cărora au fost construite curbele vitezei de uscare.

Cunoscând umiditatea inițială a produsului, umiditatea instantanee a fost determinată cu formula [130, 216]:

$$W = \frac{G_{ap\grave{a}}}{G} \cdot 100, \quad (2.25)$$

în care $G_{ap\grave{a}}$ este masa apei din product, în kg;

G – masa inițială a produsului, în kg.

În baza datelor obținute, au fost construite curbele de uscare $W = f(\tau)$.

Curbele vitezei de uscare $\frac{dW}{d\tau} = f(W)$ s-au obținut prin diferențierea funcției tabulare $W = f(\tau)$ conform formulei [321]:

$$\frac{dW}{d\tau}(\overline{W}_o) = \frac{\sum_{m=-p}^p m \cdot \overline{W}_m}{\sum_{m=-p}^p m^2}, \quad (2.27)$$

în care $\frac{dW}{d\tau}(\overline{W}_o)$ este valoarea vitezei de uscare pentru conținutul în umiditate medie \overline{W}_o , %/ s;

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

$$M = -2; -1; 0; 1; 2$$

2.5. Studiul indicilor calitativi a produselor oleaginoase

2.5.1. Determinarea conținutului de vitamina C.

Vitamina C în probele de cătină albă uscată prin diferite metode ale aportului de energie a fost determinată conform GOST 24556-89 prin metoda titrimetrică.

Metoda se bazează pe extragerea vitaminei C din proba de produs uscat cu soluție de acid clorhidric 2% și titrarea potențiometrică ulterioară cu soluție de sare 2,6-diclorofenol-indofenolat de sodiu până la o culoare roz-deschis.

2.5.2. Determinarea conținutului de ulei

Conținutul în ulei din probele de cătină albă uscată prin diferite metode ale aportului de energie a fost determinată conform GOST 26183-84. Metoda s-a bazat pe extragerea uleiului din probe în aparatul Sokslet cu solvenți organici, evaporarea solvenților și determinarea masei de ulei extras sau a șrotului.

3. CERCETAREA PARAMETRILOR ELECTROFIZICI A PRODUSELOR OLEAGINOASE

Cum este menționat în subcapitolul 1.3, produsele oleaginoase, acționate de câmpuri electromagnetice, se încălzesc datorită pierderilor dielectrice, determinate de permitivitatea dielectrică relativă ϵ' și tangenta unghiului de pierderi dielectrice $tg\delta$. Produsul acestor doi parametri poartă denumirea de factorul de pierderi dielectrice și se notează prin k .

Căldura specifică degajată în material sub acțiunea câmpurilor electromagnetice se determină cu formula (1.22). După cum se observă din formulă, cantitatea de căldură obținută este direct proporțională cu frecvența câmpului electromagnetic, cu pătratul intensității acestui câmp și proprietățile electrofizice ale produsului ca $tg\delta$ și ϵ' .

Deci, în scopul determinării parametrilor optimi ai procesului de uscare a produselor, în particular a celor oleaginoase, și pentru asigurarea automatizării complexe a acestor procese este necesar de cunoscut valoarea parametrilor electrofizici ai produselor supuse uscării și dependența acestora de parametrii principali ai procesului de uscare și anume: frecvența câmpului electromagnetic, umiditatea și temperatura produselor.

Cercetările parametrilor electrofizici s-au efectuat în baza probelor de cătină albă cu un conținut în ulei în stare proaspătă de 9,8 %, semințe de floarea-soarelui – 42,3 % și migdal – 48,5.

Probele produselor oleaginoase studiate au fost de umiditatea: $0,3 \pm 0,041$; $4,0 \pm 0,214$; $10,0 \pm 431$; $15,0 \pm 645$; și $20,0 \pm 862$ %.

Temperatura probelor la care s-au înregistrat parametrii electrofizici a fost de: 20,0; 40,0; 60,0; 80,0 și 100,0 °C. Variația temperaturii probelor de la valoarea nominală a fost de $\pm 2,0$ °C

Valorile $tg\delta$, ϵ' și k au fost înregistrate în limita de frecvențe 13–45 MHz din acele considerente că ea include cele trei frecvențe acceptate pentru generatoarele industriale: 13,5 MHz ($\lambda \approx 30$ m); 27,0 MHz ($\lambda \approx 17$ m) și 40,0 MHz ($\lambda \approx 12$ m) [6].

Rezultatele cercetărilor experimentale ale parametrilor electrofizici ai produselor oleaginoase și studiul corelației acestora cu

frecvența câmpului electromagnetic, temperatura și umiditatea produsului au fost prelucrate grafic și matematic cu ajutorul programele „Mathcad 14” și „Microsoft Office Excel 2003”.

3.1. Studiul corelației dintre frecvența câmpului electromagnetic și parametrii electrofizici ai produselor oleaginoase

În baza studiului dependenței parametrilor electrofizici ai produselor oleaginoase ca $tg\delta$, ϵ' și k de frecvența câmpului electromagnetic s-a pus ca scop determinarea frecvenței optime a câmpului electromagnetic, care va fi propusă pentru încălzirea acestor produse în câmp UHF în procesul de uscare.

Analiza surselor bibliografice [81, 186, 201, 249, 273] a demonstrat că influența frecvenței câmpului electromagnetic asupra $tg\delta$ și ϵ' a produselor eterogene, cum sunt și cele oleaginoase, poartă un caracter destul de complex. În fig.3.1 - 3.8 sunt prezentate dependențele $tg\delta$ de frecvența câmpului electromagnetic al cătinii albe, al miezului de sâmbure de migdal și al semințelor de floarea-soarelui.

Examinând graficele dependenței $f = \varphi(tg\delta)$ a produselor menționate cu umiditatea de cca 4,0 % (fig. 3.1-3.3) putem conchide că, în limitele 13 – 45 MHz, curbele prezintă formă concavă, astfel încât la frecvențe reduse $tg\delta$ scade până la o oarecare extremă minimă, ca mai apoi să crească. Astfel, pe curbe persistă o extremă care împarte corelația în două etape. Pentru cătina albă cu umiditatea 3,93 % (fig. 3.1), valorile acestor extreme se află în limitele de frecvențe ale câmpului electromagnetic 27...36 MHz și variază de la 0,051, la temperatura de 20 °C, până la 0,158, la temperatura de 100 °C. Extrema curbei dependenței miezului sâmburelui de migdal cu umiditatea 4,05 % de frecvență (fig. 3.2) se află în limitele 28...38 MHz și variază de la 0,021, la temperatura de 40 °C, până la 0,076, la temperatura de 20 °C. La semințele de floarea-soarelui cu umiditatea 3,96 % (fig. 3.3) valorile extreme se află în limitele 31...41 MHz și variază de la 0,012, la temperatura de 40 °C, până la 0,024, la temperatura de 20 °C.

Această dependență a tangentei unghiului de pierderi dielectrice $tg\delta$ în funcție de frecvența câmpului electromagnetic f (frecvența unghiulară ω) aplicat dielectricului poate fi argumentată în baza relației propuse de Skanavi [120]:

$$tg\delta = \frac{\frac{4\pi\gamma_{dir}}{\omega\epsilon_{\infty}}(1 + \omega^2\tau^2) + \omega\tau_{rel}\frac{\Delta_0\epsilon'}{\epsilon_{\infty}}}{1 + \frac{\Delta_0\epsilon'}{\epsilon_{\infty}} + \omega^2\tau_{rel}^2}, \quad (3.1)$$

în care γ_{dir} este conductibilitatea directă, în $1/(\Omega \cdot m)$;

τ_{rel} – durata de relaxare, în s.

Conform relației (3.1), la umidități reduse ale produsului, proprietățile dielectrice și electrofizice sunt determinate mai mult de uleiul din acesta, decât de umiditate, deci conductibilitatea directă a

produselor este mică și se poate de admis că raportul $\frac{4\pi\gamma_{dir}}{\omega\epsilon_{\infty}} \ll 1$.

Totodată, este de menționat că durata de relaxare a uleiului, datorită masei molare mari ale sale, este îndelungată și se reduce odată cu creșterea frecvenței câmpului electromagnetic.

Deci, conform relației (3.1), pentru umidități reduse ale produselor oleaginoase $tg\delta$, în funcție de frecvența câmpului electromagnetic diminuează fiind influențată mai mult de durata de relaxare, iar la frecvențe înalte începe să crească fiind influențată ponderabil de creșterea frecvenței unghiulare a câmpului electromagnetic. Această tendință este confirmată și experimental prin curbele graficelor din fig. (3.1 – 3.3).

Deși curbele variației $tg\delta$ a produselor oleaginoase cu umiditatea de cca 4,0 % în funcție de f , în limitele de frecvență ale câmpului electromagnetic 13–45 MHz, trasează o legitate bine determinată, menționată anterior, totuși variația medie a valorilor numerice este redusă. Astfel, variația medie a $tg\delta$ în funcție de f pentru cățina albă a fost de $0,078 \pm 0,047$, ceea ce a constituit 27,2% din valoarea medie; variația medie pentru miezul sâmburelui de

migdal – $0,056 \pm 0,038$, sau 39,2% din valoarea medie; pentru floarea-soarelui – $0,031 \pm 0,019$, sau 35,2% din valoarea medie.

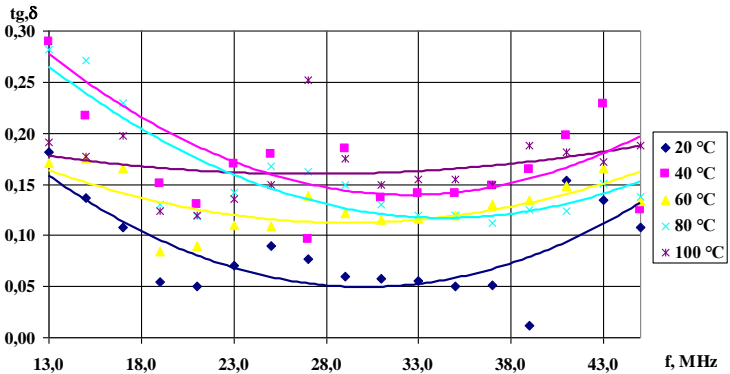


Fig.3.1. Tangenta unghiului de pierderi dielectrice ale cătinii albe în funcție de frecvența câmpului electromagnetic pentru diferite temperaturi ale produsului, $W=3,93\%$.

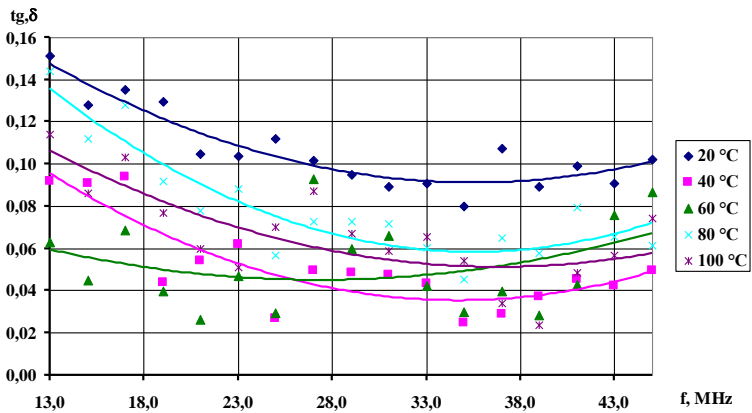


Fig.3.2. Tangenta unghiului de pierderi dielectrice ale migdalului în funcție de frecvența câmpului electromagnetic pentru diferite temperaturi ale produsului, $W=3,96\%$.

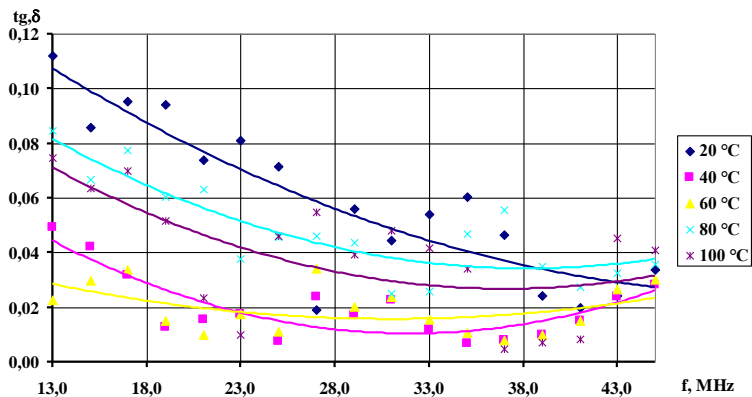


Fig.3.3. Tangenta unghiului de pierderi dielectrice ale semințelor de floarea-soarelui în funcție de frecvența câmpului electromagnetic pentru diferite temperaturi ale produsului, $W=4,05\%$.

Analiza variației $tg\delta$ a produselor oleaginoase de umiditatea cca 4% în funcție de f ne permite să conchidem că, la umidități reduse ale produselor, $tg\delta$ este funcție dependentă mai mult de proprietățile de polarizare a uleiului din produs decât a apei,

În tabelul 3.1. sunt prezentate valorile numerice medii ale $tg\delta$ a cătinii albe, a miezului sâmburelui de migdal și a semințelor de floarea-soarelui la frecvențele câmpului electromagnetic 13,5; 27,0 și 40,0 MHz.

Tabelul 3.1. Valorile numerice medii ale $tg\delta$ a cătinii albe, miezului sâmburelui de migdal și semințelor de floarea-soarelui

f , MHz	Cătină albă		Miez de sâmbure de migdal		Semințe de floarea-soarelui	
	W=3,93%	W=19,62%	W=3,96%	W=19,96%	W=4,05%	W=20,15%
13,5	0,189 ±0,026	0.303 ±0,030	0,100 ±0,015	0.201 ± 0,023	0,060 ±0,014	0.112 ± 0,026
27,0	0,123 ±0,019	0.354 ±0,017	0,064 ±0,009	0.210 ±0,021	0,031 ±0,008	0.119 ± 0,025
40,0	0,136 ±0,015	0.332 ±0,019	0,073 ±0,009	0.172 ±0,019	0,026 ±0,004	0.091 ± 0,022

Conform valorilor numerice prezentate în tabelul 3.1, conchidem că, la aceste frecvențe ale câmpului electromagnetic, devierea valorilor $tg\delta$ la umidități mici ale produsului este redusă. Astfel, la 27 MHz, valoarea $tg\delta$ a cătinii albe cu umiditatea 3,93 % s-a redus în comparație cu 13,5 MHz cu 30%, iar la 40 MHz – cu 9%, valoarea $tg\delta$ a miezului sâmburelui de migdal cu umiditatea 3,96 la 27 MHz s-a redus, în comparație cu 13,5 MHz, cu 36 %, iar în comparație cu 40 MHz – cu 12% și $tg\delta$ a semințelor de floarea-soarelui de umiditatea 4,05 % la frecvența 27 MHz s-a redus în comparație cu frecvența 13,5 MHz cu 48 % și, în comparație cu 40 %, a crescut cu 16%.

Totodată, din tabelul 3.1, observăm că valorile $tg\delta$ ale cătinii albe cu umiditatea 3,93 % și conținutul în ulei 9,8% sunt mai mari în comparație cu $tg\delta$ a miezului de sâmbure cu umiditatea 3,96 % și conținutul în ulei 48,5 % și semințele de floarea-soarelui cu umiditatea 4,05% și conținutul de ulei 42,3 %. Aceasta ne permite să confirmăm că, la umidități reduse ale produselor oleaginoase și conținut sporit în ulei, în mare măsură $tg\delta$ este determinată de conductibilitatea electrică a uleiului și de aceea prezintă valori reduse, iar în produsele cu un conținut relativ echilibrat dintre umiditate și ulei (exemplu: cătina albă cu umiditatea 3,93%), influența conductibilității electrice a apei se manifestă mai pronunțat asupra $tg\delta$.

Alegerea corectă a frecvenței optime a câmpului electromagnetic pentru a fi recomandată la uscare depinde nu numai de valorile numerice ale $tg\delta$, dar și de gradul de stabilitate a acestei valori în limitele frecvenței studiate. Stabilitatea procesului sau variația degajărilor de căldură la o oarecare frecvență este funcție dependentă de variația parametrilor electrofizici în limitele frecvenței date. În calitate de indice al stabilității procesului de degajare de căldură sub acțiunea câmpului electromagnetic poate servi și viteza variației parametrilor electrofizici ai produsului în funcție de frecvență.

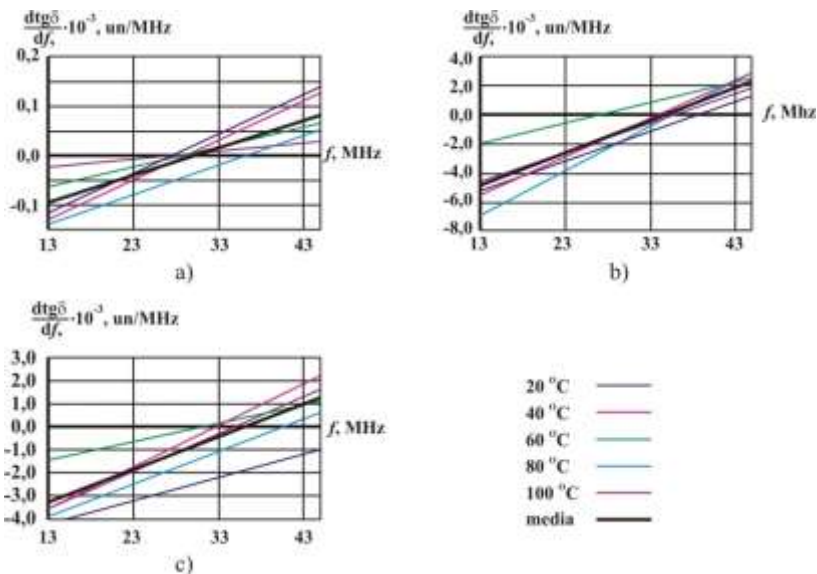


Fig.3.4. Viteza variației $tg\delta$ în funcție de f : a) cătină albă $W=3,93$ %; b) migdal $W=3,96$; c) semințe de floarea-soarelui $W=4,05$ %.

În fig. 3.4. este prezentată viteza variației $tg\delta$ în funcție de frecvența câmpului electromagnetic pentru cătină albă cu umiditatea de 3,93%, pentru miez de sâmbure de migdal cu – 3,96% și semințe de floarea-soarelui – 4,05%. Analiza curbelor ne indică că viteza variației $tg\delta$ în funcție de frecvența câmpului electromagnetic poartă un caracter linear, valorile negative maxime fiind în limitele frecvenței de 13 MHz, iar valorile pozitive maxime în limitele frecvenței de 45 MHz. În limitele frecvenței 27 MHz, se observă o valoare minimă după modul a vitezei variației $tg\delta$ ca funcție de f în comparație cu celelalte două frecvențe ale generatoarelor industriale. Aceasta ne permitem să conchidem că, la frecvența 27 MHz, procesul de degajare de căldură sub acțiunea câmpurilor electromagnetice este cel mai stabil.

Analiza graficelor dependenței $tg\delta$ a produselor oleaginoase studiate cu umiditatea de cca 20% în funcție de variația f (fig. 3.5 – 3.7) a demonstrat o corelație diametral opusă celei a produselor cu

umiditatea redusă. Graficele prezintă niște parabole convexe, al căror valoare extremă maximă variază în funcție de temperatura produsului și se află în limitele: cătină albă ($W = 19,62\%$) – $0.311 \pm 0,399$; miez de sămbure de migdal ($W = 19,96\%$) – $0.148 \pm 0,277$; semințe de floarea-soarelui ($W = 20,15\%$) – $0.068 \pm 0,214$. Considerăm că extremele funcțiilor dependenței $tg\delta$ de frecvența câmpului electromagnetic sunt cauzate de efectul de rezonanță dintre frecvențele oscilației libere a moleculelor de apă și de ulei.

Frecvența câmpului electromagnetic, la care are loc maximumul valorilor $tg\delta$, este diferită la diferite produse și temperaturi ale acestora, se află în limitele 26 – 33 MHz pentru cătină albă, 21 – 25 MHz pentru miez de sămbure de migdal și 21 – 27 MHz pentru semințele de floarea-soarelui.

Variația frecvenței câmpului electromagnetic, la care se înregistrează extrema curbelor în funcție de temperatură este, relativ mică și constituie cca 5...6 MHz pentru fiecare produs în parte, ceea ce demonstrează stabilitatea frecvenței oscilațiilor libere ale moleculelor care predomină în produs, în cazul nostru ale moleculelor de apă și de ulei. Totodată, se observă că extrema maximă a $tg\delta$ pentru miezul sămburelui de migdal și pentru semințele de floarea-soarelui se află în aceleași limite ale frecvenței câmpului electromagnetic, iar extrema maximă a $tg\delta$ a cătinii albe este deplasată cu cca 4,0 MHz în direcția de creștere a frecvenței. Aceasta se datorează faptului că valorile pierderilor dielectrice sunt influențate atât de umiditatea din produs care, în acest caz este egală în toate probele (cca 20 %), cât și de conținutul în ulei (valorile conținutului în ulei în miezul de sămbure de migdal și în semințele de floarea-soarelui sunt relativ egale și constituiau, corespunzător, 48,5% și 42,3%, iar în cătina albă sunt mai reduse – 9,8%).

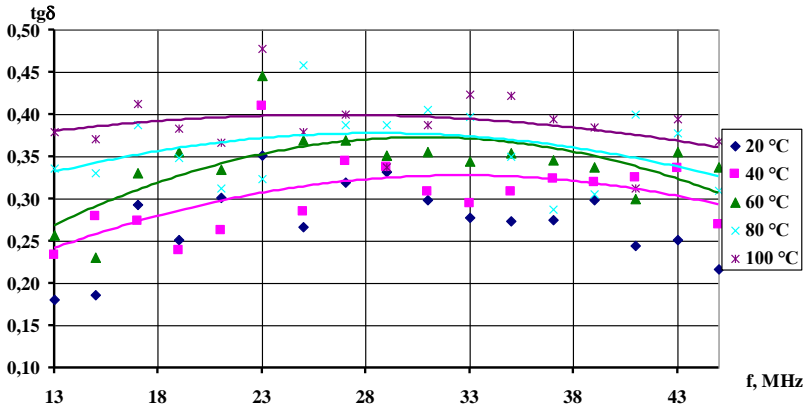


Fig.3.5. Tangenta unghiului de pierderi dielectrice ale cătinii albe în funcție de frecvența câmpului electromagnetic pentru diferite temperaturi ale produsului, $W=19,62\%$.

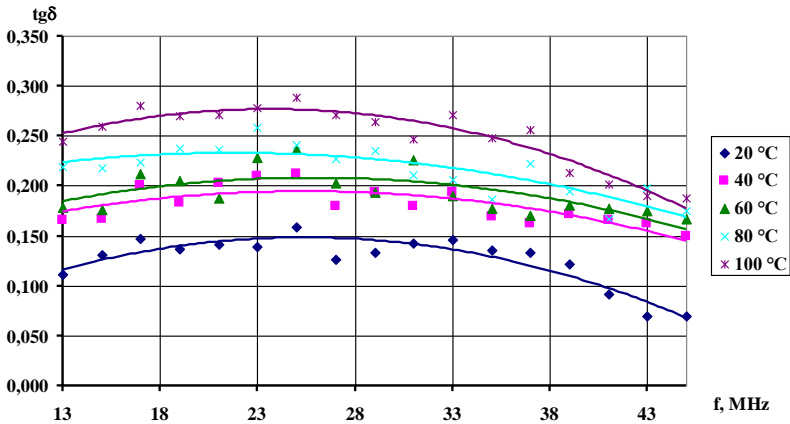


Fig.3.6. Tangenta unghiului de pierderi dielectrice ale migdalului în funcție de frecvența câmpului electromagnetic pentru diferite temperaturi ale produsului, $W=19,96\%$.

Valorile numerice medii ale $tg\delta$ a cătinii albe la umiditatea de 19,62%, miezului sâmburelui de migdal la umiditatea de 19,96% și semințelor de floarea-soarelui la umiditatea 20,15% la frecvențele câmpului electromagnetic a generatoarelor industriale 13,5; 27,0 și 40,0 MHz sunt prezentate în tabelul 3.1.

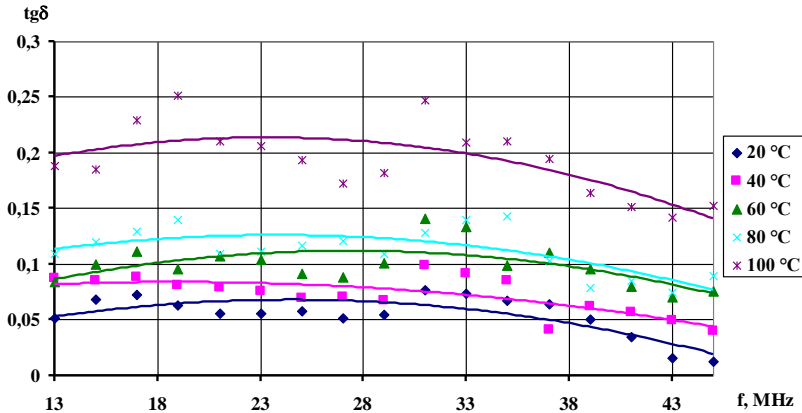


Fig.3.7. Tangenta unghiului de pierderi dielectrice ale semințelor de floarea-soarelui în funcție de frecvența câmpului electromagnetic pentru diferite temperaturi ale produsului, W=20,15%.

Totodată, din graficele din fig. 3.8, se observă o viteză minimă după modul a variației $tg\delta$ la 27 MHz, în comparație cu 13,5 și 40,0 MHz. Astfel, la 27 MHz, variația $tg\delta$ a cătinii albe cu umiditatea 19,62 % în funcție de f are loc cu o viteză medie de $+2,7 \cdot 10^{-3}$ un/MHz, pe când la 13,5 și 40,0 MHz, cu viteza corespunzător de $-3,6 \cdot 10^{-3}$ și $+9,4 \cdot 10^{-3}$ un/MHz, variația $tg\delta$ a miezului din sâmbure de migdal cu umiditatea 19,96 % la 27 MHz a fost de $-3,0 \cdot 10^{-3}$ un/MHz, pe când la 13,5 și 40,0 MHz corespunzător de $-3,9 \cdot 10^{-3}$ și $+3,6 \cdot 10^{-3}$ un/MHz și variația $tg\delta$ a semințelor de floarea-soarelui cu umiditatea 20,15 % la 27 MHz a fost de

+ $6,4 \cdot 10^{-5}$ un/MHz, pe când la 13,5 și 40,0 MHz, corespunzător, de $-2,4 \cdot 10^{-3}$ și $+2,7 \cdot 10^{-3}$ un/MHz.

Analiza valorilor numerice ale $tg\delta$ și a vitezei variației acestora (fig. 3.8), la frecvențele câmpului electromagnetic al generatoarelor industriale, permite de a conchide că, la umiditatea produselor oleaginoase de cca 20%, la frecvența câmpului electromagnetic 27 MHz, $tg\delta$ obține valori maxime în comparație cu cele de la frecvența de 13,5 și 40,0 MHz și procesul de polarizare, deci și de degajare de căldură, este mai stabil datorită vitezelor reduse ale $tg\delta$ în funcție de variația frecvenței câmpului electromagnetic.

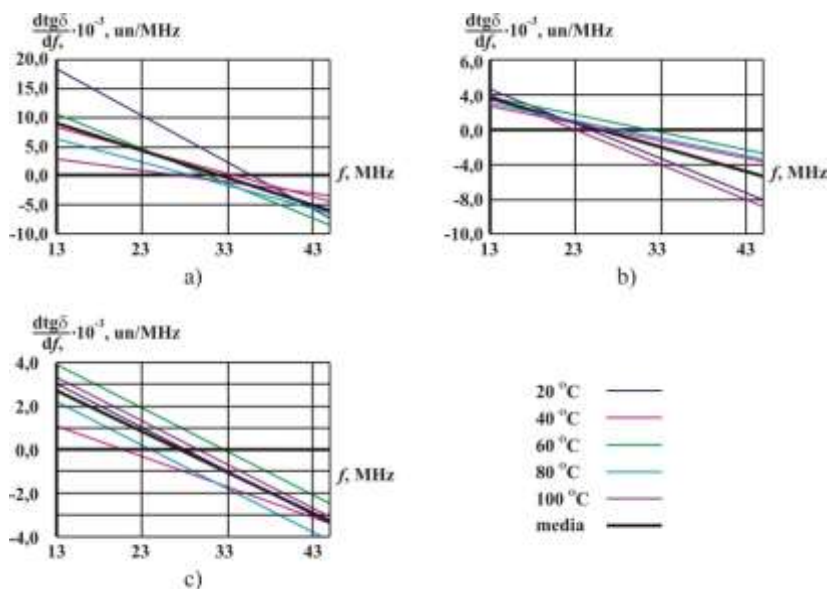


Fig.3.8. Viteza variației $tg\delta$ în funcție de f : a) cătină albă $W=19,62$ %; b) migdal $W=19,96$; semințe de floarea-soarelui $W=20,15$ %.

Produsele vegetale oleaginoase sunt alcătuite din molecule biologic complexe care, la rândul său, conțin multiple grupe polare și nepolare. Aceste produse, conform clasificării dielectricilor, sunt de

grupul al doilea, în care predomină polarizarea electronică și cea dipolară. Corelația dintre ϵ' și f a moleculelor polare, în particular a apei din produsele oleaginoase, în domeniul de frecvențe corespunzător polarizării de orientare Debay, poate fi prezentată cu formula [204, 231, 296]:

$$\epsilon' = \epsilon'_{\infty} + \frac{4\pi\theta g}{1 + f^2\theta^2}, \quad (3.2)$$

în care ϵ'_{∞} este permitivitatea dielectrică corespunzătoare numai polarizării de deplasare;

θ – constanta timpului;

g – conductibilitatea inițială a curentului de absorbție;

f – frecvența câmpului electromagnetic, în Hz.

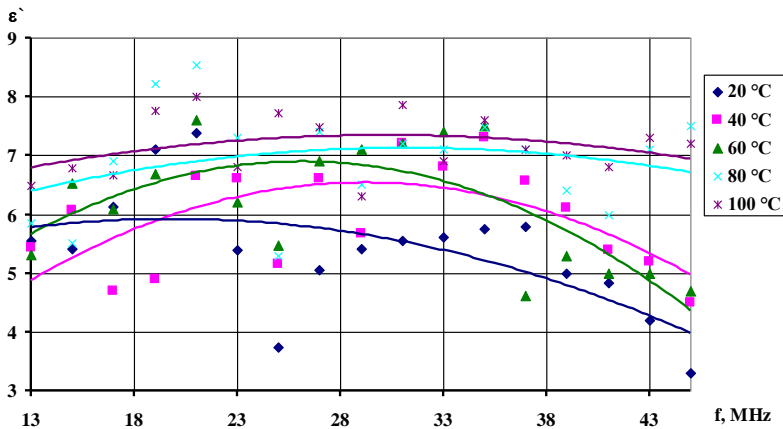


Fig.3.9. Permitivitatea dielectrică relativă a cătinii albe în funcție de frecvența câmpului electromagnetic pentru diferite temperaturi ale produsului, W=3,93%.

Conform formulei 3.2, odată cu creșterea frecvenței câmpului electromagnetic în care este plasat produsul, permitivitatea dielectrică relativă a acestuia scade. Într-adevăr, aceasta se corelează bine cu graficul din fig. 3.13 în care este prezentată dependența $\epsilon' = \varphi(f)$ a cătinii albe de umiditatea 19,62%. Deoarece cătina albă

are un conținut redus de ulei (9,8%), ϵ' în mare măsură este cauzată de polarizarea moleculelor de apă și caracterul curbei corespunde formulei 3.2.

Pentru probele cu umiditate redusă (fig.3.9 – 3.11) sau cu umiditate sporită și conținut sporit în ulei (fig.3.14; 3.15) valoarea ϵ' este determinată și de gradul de polarizare a moleculelor de ulei din acestea. Datorită viscozității înalte a uleiului și inerției sporite a moleculelor sale, durata procesului de polarizare a uleiului este destul de mare în comparație cu semiperioada tensiunii aplicate a câmpului electromagnetic și deci frecvența câmpului electromagnetic mai puțin influențează parametrii electrofizici ai produsului. În acest caz, dependența ϵ' de frecvența câmpului electromagnetic devine imprevizibilă, fiind prezente atât sectoare de creștere a lui ϵ' în funcție de f , cât și de descreștere, cu atât mai mult, că în dielectricii reali au loc mai multe tipuri de polarizație cu diferite durate de relaxare care și influențează corelația dintre ϵ' și f .

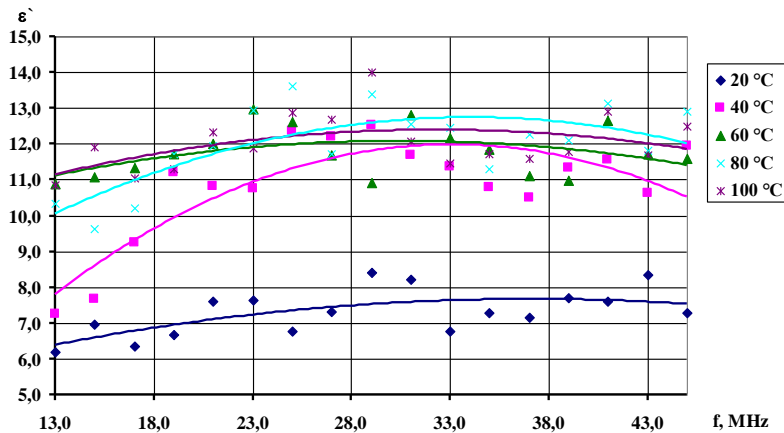


Fig.3.10. Permittivitatea dielectrică relativă a migdalului în funcție de frecvența câmpului electromagnetic pentru diferite temperaturi ale produsului, $W=3,96\%$.

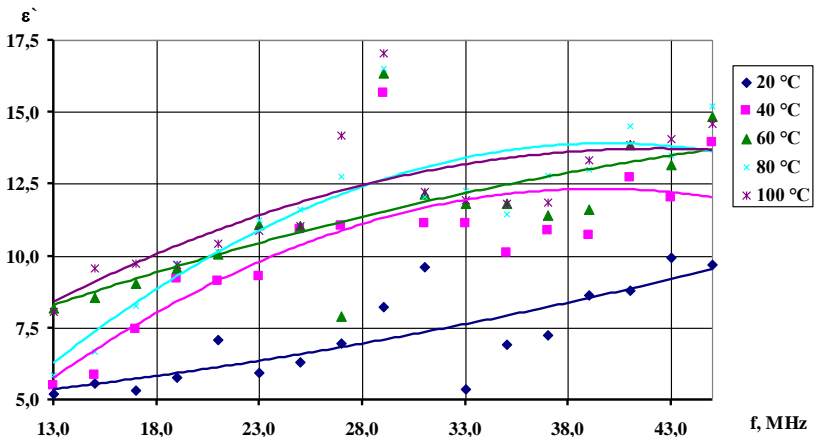


Fig.3.11. Permitivitatea dielectrică relativă a semințelor de floarea-soarelui în funcție de frecvența câmpului electromagnetic pentru diferite temperaturi ale produsului, W=4,05%.

Valorile medii ale ϵ' ale cătinii albe, miezului sâmburelui de migdal și semințelor de floarea-soarelui la frecvențele generatoarelor industriale sunt prezentate în tab. 3.2.

Tabelul 3.2. Valorile medii ale ϵ' ale cătinii albe, miezului sâmburelui de migdal și semințelor de floarea-soarelui

f, MHz	Cătină albă		Miez de sâmbure de migdal		Semințe de floarea-soarelui	
	W=3,93%	W=19,62%	W=3,96%	W=19,96%	W=4,05%	W=20,15%
13,5	5,903 ±0,332	18.539 ±3,121	9,308 ±0,947	22.48 ± 1,101	6,807 ±0,639	19.074 ± 1,523
27,0	6,705 ±0,273	20.645 ±4,496	11,157 ±0,943	21.008 ±1,193	10,641 ±0,997	19.080 ± 1,485
40,0	6,028 ±0,464	14.942 ±1,318	11,132 ±0,888	21.596 ±1,237	12,347 ±0,956	20.682 ± 1,848

În urma analizei valorilor din tabelul 3.2 putem conchide că cătină albă și miez de sâmbure de migdal cu umiditatea de 3,96% (fig. 3.10) obține valori maxime la frecvența câmpului electromagnetic 27 MHz, semințele de floarea-soarelui și miezul de sâmbure de migdal cu umiditatea 19,96 % obțin valori maxime la frecvența de 40 MHz.

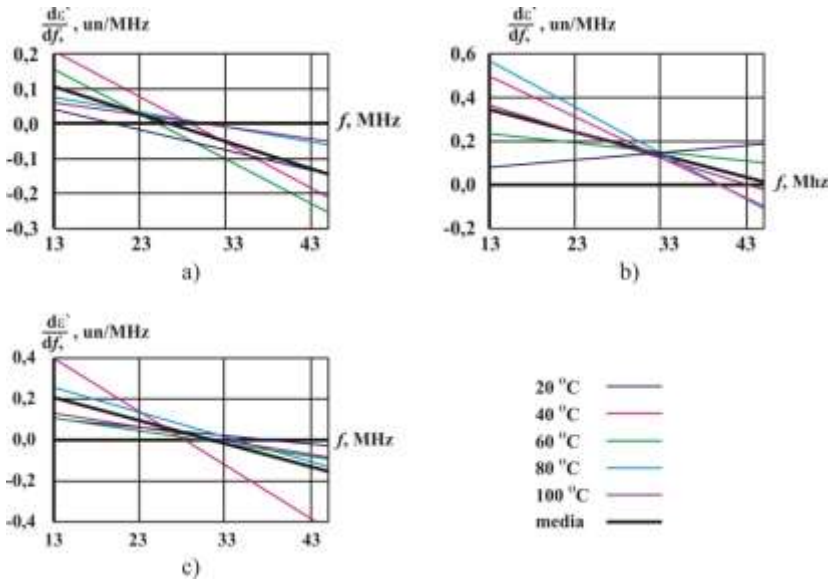


Fig.3.12. Viteza variației ϵ' în funcție de f : a) cătină albă $W=3,93$ %; b) migdal $W=3,96$; semințe de floarea-soarelui $W=4,05$ %.

Totodată, constatăm că variația ϵ' la aceste frecvențe nu este considerabilă. Astfel, valoarea medie ϵ' a miezului de sâmbure de migdal cu umiditatea 19,93 % la frecvența de 13,5 și 40 MHz diferă de cea de la 27 MHz cu 7,0 % și 2,7 % corespunzător. ϵ' a semințelor de floarea-soarelui cu umiditatea 20,15 % la frecvența de 13,5 și 40 MHz diferă de cea de la 27 MHz cu 0,1 % și 7,7 %, corespunzător. O diferență considerabilă a lui ϵ' se observă numai pentru semințele de floarea-soarelui la umiditatea de 4,05 % (fig.

3. 11), care, în raport cu cea de la 27,0 MHz la 13,3 MHz, este cu 36,0 % mai mare și la 40,0 MHz este cu 13,8 % mai mică.

Frecvența optimă de tratare termică a produselor oleaginoase în câmp electromagnetic în scopul uscării lor, poate fi determinată și din considerentele stabilității permitivității dielectrice relative ϵ' ca funcție de frecvența câmpului electromagnetic. Din graficele fig. 3.12 se observă, că pentru toate produsele studiate, la umiditatea redusă a acestora (de cca 4%), viteza variației ϵ' în funcție de f este în descreștere după o legitate liniară. Viteza minimă după modul a variației ϵ' se află în limitele frecvențelor de: 19...31 MHz – pentru cătină albă; 31...38 MHz – pentru miez de sâmbure de migdal și 39...45 MHz – pentru semințe de floarea-soarelui.

În ceea ce privește produsele oleaginoase cu umiditatea de cca. 20% pentru ele viteza variației ϵ' ca funcție de frecvența câmpului electromagnetic, este, de asemenea, liniară (fig. 3.16), dar pentru unele produse ea este în creștere, iar pentru altele – în descreștere. După părerea noastră, momentul acesta este determinat de raportul conținutului în umiditate și în ulei al produsului. Conform graficelor din fig.3.16, se poate de conchis că viteza modificării ϵ' în funcție de f la produse cu conținut redus în ulei, cum este cătină albă, e în descreștere, iar la cele cu conținut sporit în ulei (miezul sâmburelui de migdal și semințele de floarea-soarelui) este în creștere. Limitele de frecvențe, la care $\frac{d\epsilon'}{df} = 0$, pentru produsele cu umiditatea de cca

20% au fost următoarele: cătină albă la temperatura 20°C – 32 MHz (fig. 3.16 a), celelalte temperaturi – 23...25 MHz; miez de sâmbure de migdal – 28...35 MHz; semințe de floarea-soarelui – 17...22 MHz. După cum observăm, valorile minime ale vitezei variației ϵ' în funcție de f sunt plasate mai aproape de frecvența 27 MHz, în comparație cu 13,5 și 40 MHz. Aceasta ne permite de a conchide că și din punct de vedere al valorilor optime ϵ' frecvența de 27 MHz poate fi considerată ca cea optimă.

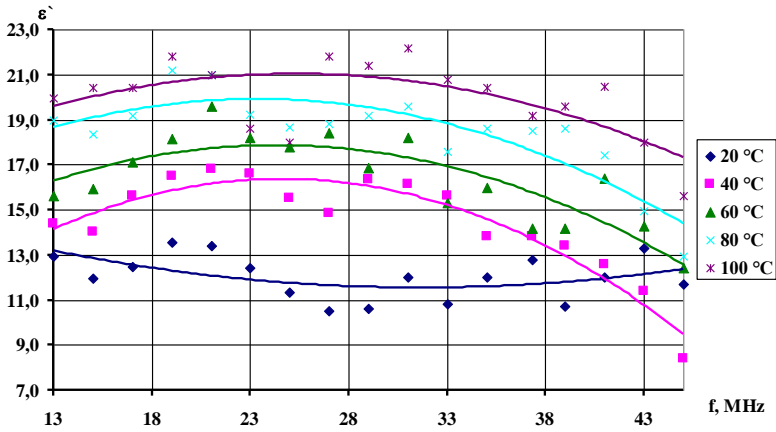


Fig.3.13. Permitivitatea dielectrică relativă a cătinii albe în funcție de frecvența câmpului electromagnetic pentru diferite temperaturi ale produsului, W=19,62%.

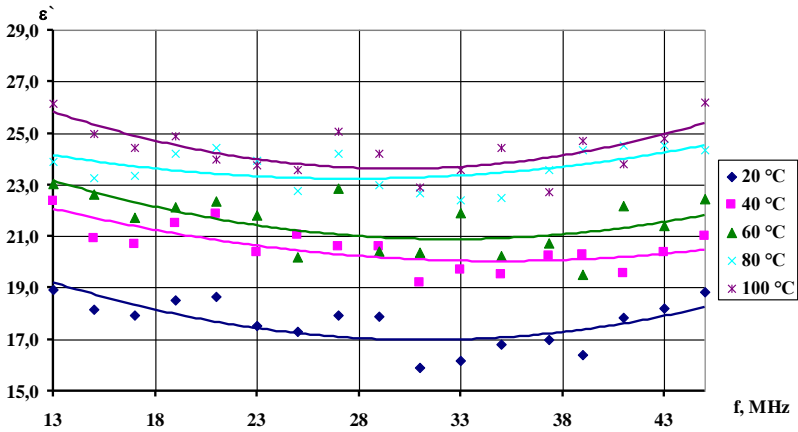


Fig.3.14. Permitivitatea dielectrică relativă a migdalului în funcție de frecvența câmpului electromagnetic pentru diferite temperaturi ale produsului, W=19,96%.

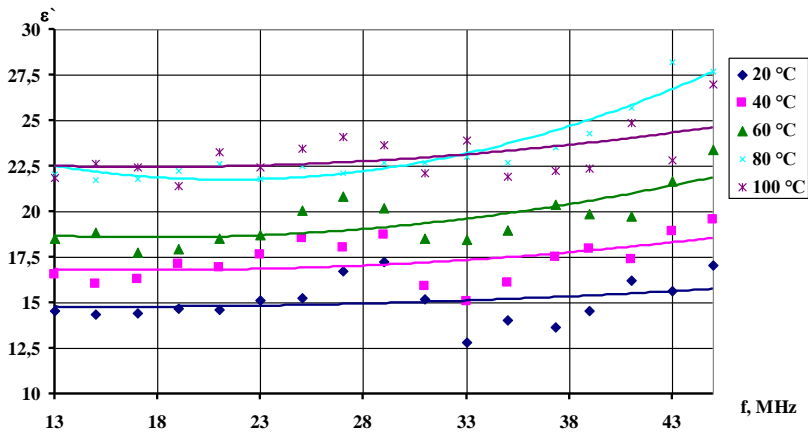


Fig.3.15. Permittivitatea dielectrică relativă a semințelor de floarea-soarelui în funcție de frecvența câmpului electromagnetic pentru diferite temperaturi ale produsului, $W=20,15\%$.

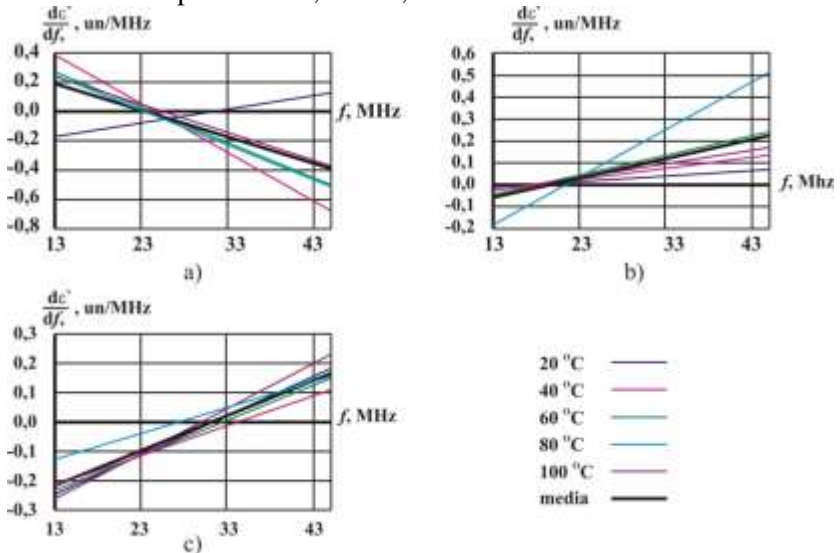


Fig.3.16. Viteza variației ϵ' în funcție de f : a) cătină albă $W=19,62\%$; b) migdal $W=19,96\%$; semințe de floarea-soarelui $W=20,15\%$.

Conform formulei de calcul a cantității de căldură degajată în product sub acțiunea câmpului electromagnetic 1.26, aceasta este dependentă de frecvența și intensitatea câmpului electromagnetic, precum și de factorul de pierderi dielectrice care este egal cu:

$$k = \operatorname{tg} \delta \cdot \varepsilon' . \quad (3.3)$$

Deci interes deosebit îl prezintă și variația factorului de pierderi dielectrice în funcție de frecvența câmpului electromagnetic, care este prezentată în graficele din fig. 3.17 – 3.19 și 3.21 – 3.23.

Din grafice se observă că pentru valori reduse ale umidității, când influența ponderabilă asupra proprietăților electrofizice o poartă uleiul din product (fig. 3.17 – 3.19), la creșterea frecvenței câmpului electromagnetic, pentru majoritatea temperaturilor studiate ale productului, factorul de pierderi dielectrice la început scade până la o valoare minimă și mai apoi crește. Minimul valorilor factorului k pentru produsele oleaginoase cu umiditatea de cca 4% se înregistrează la frecvențele 32-39 MHz (fig. 3.17 – 3.19).

Pentru cazul în care productul conține și o cantitate de umiditate de cca 20%, valorile factorului de pierderi sunt determinate atât de proprietățile și gradul de polarizare a moleculelor nepolare de ulei, cât și de polarizarea moleculelor polare de apă. Cu atât mai mult, valorile numerice ale lui k sunt dependente nu numai de frecvența câmpului electromagnetic și de temperatura productului, dar și de coraportul acestor două substanțe din product. Din fig. 3.21 – 3.23 se observă că, la umiditatea productului de cca 20%, curbele poartă un caracter neliniar, având un maximum pronunțat. Acest maxim este plasat în limitele frecvențelor, după cum urmează: cătină albă – 26...28 MHz (fig. 3.21); miezul sămburelui de migdal – 16...23 MHz (fig. 3.22) și semințele de floarea-soarelui – 22-29 MHz (fig. 3.23).

În tabelul 3.3 sunt prezentate valorile numerice medii ale k a cătinii albe, a miezului sămburelui de migdal și a semințelor de floarea-soarelui la frecvențele câmpului electromagnetic 13,5; 27,0 și 40,0 MHz. Din tabel se observă că, dacă la umiditate redusă a produsului (cca. 4 %), valorile maxime ale factorului de pierderi pentru toate produsele oleaginoase sunt plasate la frecvența câmpului electromagnetic 13,5 MHz, apoi la umiditate de 20 % ele se află la frecvența de 27,0 MHz.

Tabelul 3.3. Valorile numerice medii ale k a cătinii albe, miezului sâmburelui de migdal și semințelor de floarea-soarelui

f , MHz	Cătină albă		Miez de sâmbure de migdal		Semințe de floarea-soarelui	
	W=3,93 %	W=19,62 %	W=3,96 %	W=19,96 %	W=4,05 %	W=20,15 %
13,5	1,156 $\pm 0,146$	16,369 $\pm 1,241$	0,976 $\pm 0,116$	4,550 $\pm 0,716$	0,468 $\pm 0,074$	2,183 $\pm 0,677$
27,0	0,838 $\pm 0,144$	17,294 $\pm 1,692$	0,680 $\pm 0,07$	4,566 $\pm 4,566$	0,333 $\pm 0,076$	2,406 $\pm 0,668$
40,0	0,836 $\pm 0,141$	14,942 $\pm 1,318$	0,653 $\pm 0,055$	3,772 $\pm 0,599$	0,325 $\pm 0,050$	1,996 $\pm 0,604$

Stabilitatea procesului, caracterizată prin viteza variației factorului de pierderi dielectrice în funcție de frecvența câmpului electromagnetic, este prezentată în graficele din fig. 20 și 24. De aici, se observă că viteza variației k în funcție de f la extremele limitei de frecvențe studiate, și anume 13,0 și 45,0 MHz, este maximă după modul pentru toate produsele studiate, indiferent de umiditatea și temperatura acestora. De aici, putem conchide că, la frecvențele menționate, variația degajării de căldură în product, la mici devieri ale frecvenței câmpului electromagnetic, va fi esențială, procesul considerându-se instabil și greu de dirijat.

Procesul se stabilizează, sau $\frac{dk}{df}$ obține valoarea nulă, la diferite frecvențe ale câmpului electromagnetic aflate între aceste extreme în funcție de product, umiditatea și temperatura acestuia.

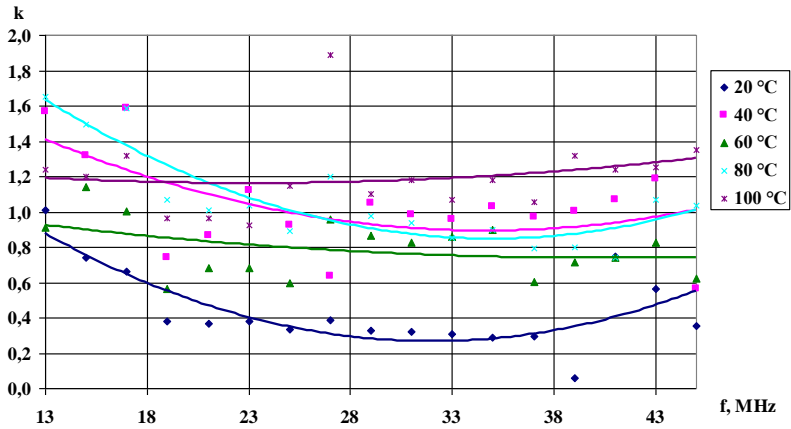


Fig.3.17. Factorul de pierderi dielectrice ale cătinii albe în funcție de frecvența câmpului electromagnetic pentru diferite temperaturi ale produsului, $W=3,93\%$.

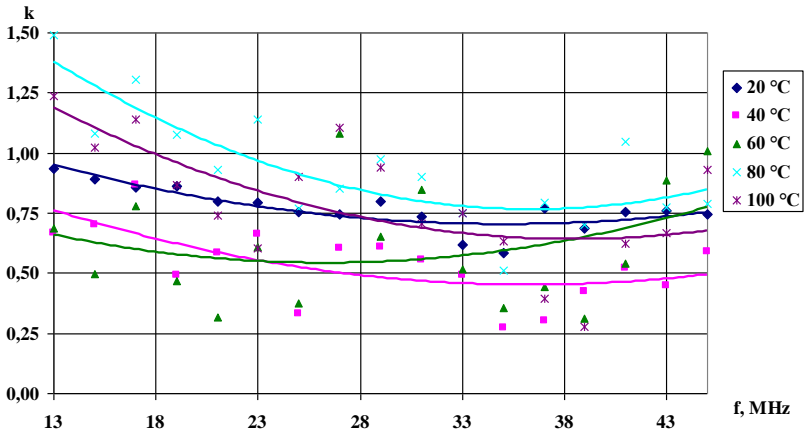


Fig.3.18. Factorul de pierderi dielectrice ale migdalului în funcție de frecvența câmpului electromagnetic pentru diferite temperaturi ale produsului, $W=3,96\%$.

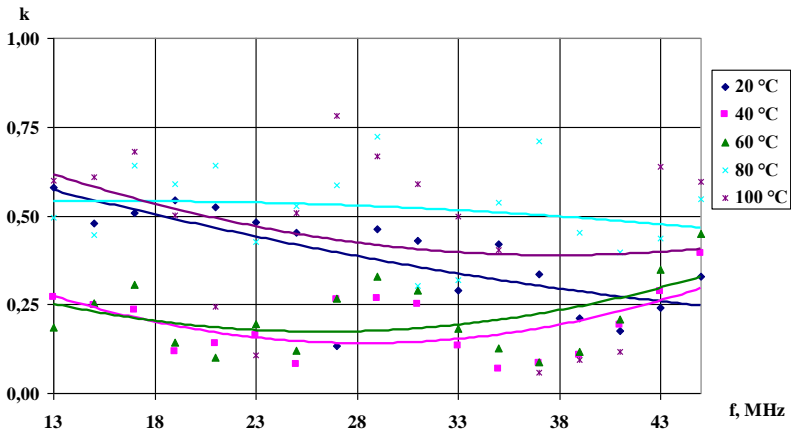


Fig.3.19. Factorul de pierderi dielectrice ale semințelor de floarea-soarelui în funcție de frecvența câmpului electromagnetic pentru diferite temperaturi ale produsului, $W=4,05\%$.

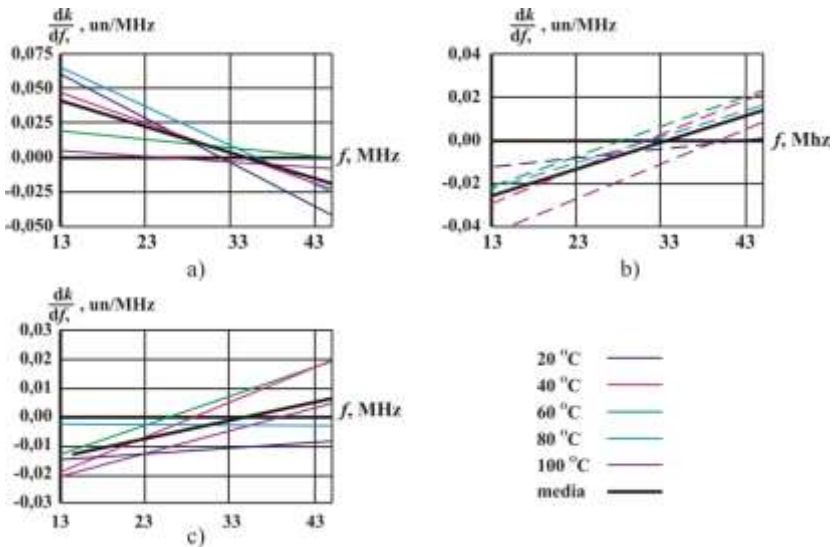


Fig.3.20. Viteza variației k în funcție de f : a) cătină albă $W=3,93\%$; b) migdal $W=3,96\%$; c) semințe de floarea-soarelui $W=4,05\%$.

Astfel, pentru cătina albă cu umiditatea de 3,93% $\frac{dk}{df} = 0$ în limitele frecvențelor de 32...43 MHz (fig. 3.20 a), iar pentru cea cu umiditatea de 19,62 % – la frecvențele de 26...28 MHz (fig. 3.24 a).

$\frac{dk}{df}$ a miezului sâmburelui de migdal cu umiditatea de 3,96 % obține valoarea nulă la frecvențele de 28...38 MHz (fig. 3.20 b) și a celui cu umiditatea de 19,96 % – 18...23 MHz (fig. 3.24, b). Viteza variației k în funcție de variația f a semințelor de floarea-soarelui este de 26...39 MHz la 4,05 % umiditate și de 22...29 MHz la 20,15 % umiditate (fig. 3.20, c și 3.24, c). Deci, după cum observăm, în raport cu frecvențele generatoarelor industriale 13,5 și 40,0 MHz, valorile nule ale $\frac{dk}{df}$ se află mai aproape de 27,0 MHz, deci anume la această frecvență procesul de degajare de căldură va fi mai stabil în raport cu variația frecvenței generatorului industrial.

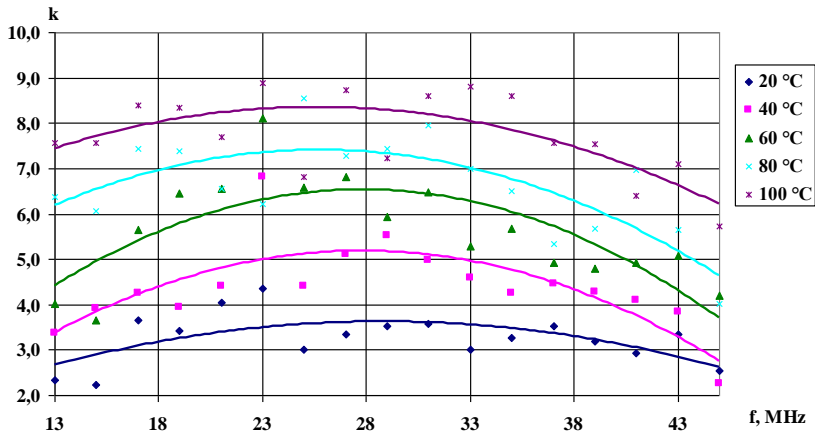


Fig.3.21. Factorul de pierderi dielectrice ale cătinii albe în funcție de frecvența câmpului electromagnetic pentru diferite temperaturi ale produsului, W=19,62%.

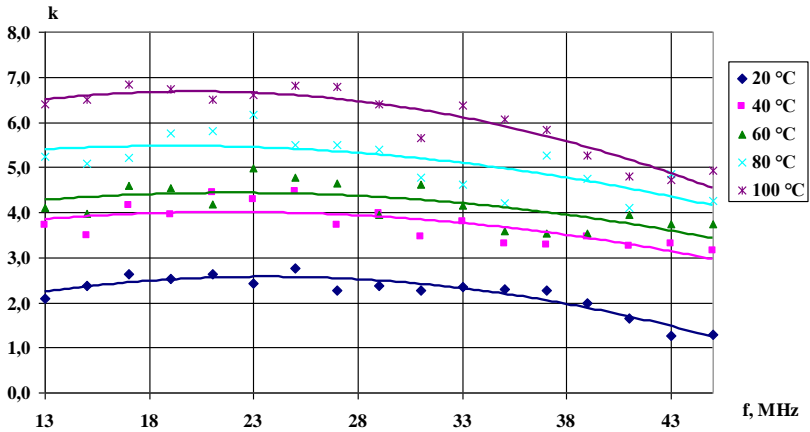


Fig.3.22. Factorul de pierderi dielectrice ale migdalului în funcție de frecvența câmpului electromagnetic pentru diferite temperaturi ale produsului, $W=18,96\%$.

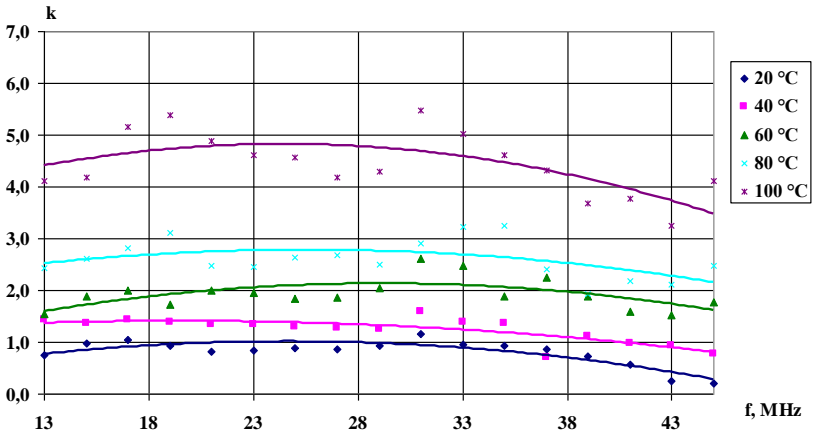


Fig.3.23. Factorul de pierderi dielectrice ale semințelor de floarea-soarelui în funcție de frecvența câmpului electromagnetic pentru diferite temperaturi ale produsului, $W=20,15\%$.

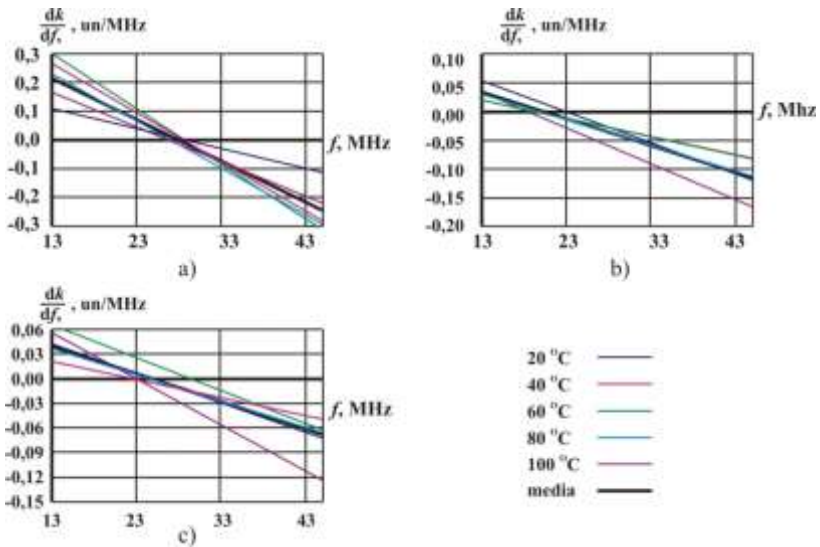


Fig.3.24. Viteza variației k în funcție de f : a) cătină albă $W=19,62\%$; b) migdal $W=19,96\%$; semințe de floarea-soarelui $W=20,15\%$.

Astfel, se poate de conchis că variația $tg\delta$, ϵ' și k în funcție de variația câmpului electromagnetic poartă un caracter complex. Cu atât mai mult, toți trei parametri manifestă un caracter mai stabil anume la frecvența generatoarelor industriale de 27,0 MHz în raport cu cele de 13,5 și 40 MHz. Totodată, este de menționat că, la umidități mărite ale produselor oleaginoase (de cca 20 %), valorile factorului de pierderi dielectrice poară valori mai avansate anume la frecvența 27 MHz în raport cu aceleași frecvențe de 13,5 și 40 MHz. Deci, în scopul obținerii unui proces stabil de degajare de căldură sub acțiunea câmpurilor electromagnetice de frecvență înaltă și al asigurării unui randament înalt a procesului de încălzire, este recomandată frecvența generatorului UHF de 27,0 MHz.

3.2. Studiul corelației dintre umiditate și parametrii electrofizici ai produselor oleaginoase

Produsele vegetale oleaginoase posedă o structură complexă cu diferite legături chimice și mecanice. Pentru astfel de produse, după cum ne indică [34, 296], determinarea analitică a corelației dintre parametrii electrofizici și umiditate este dificilă. Aceasta și a determinat necesitatea studiului experimental al acestei corelații.

Deoarece, în urma studiului dependenței parametrilor electrofizici de frecvența câmpului electromagnetic, s-a selectat frecvența de 27,0 MHz ca cea optimă, apoi și studiul acestor parametri în funcție de umiditate s-a realizat la această frecvență.

Variația $tg\delta$ în funcție de umiditatea cătinii albe, a miezului sâmburelui de migdal și a semințelor de floarea-soarelui sunt prezentate în fig. 3.25 (temperatura produsului 60 °C) și 3.26 (temperatura produsului 100 °C). Din figuri se observă o creștere lineară a $tg\delta$ în funcție de W .

După părerea noastră, aceasta se datorează variației coraportului dintre ulei și umiditate în product. La umidități reduse, valoarea $tg\delta$ a sistemului este influențată în mare măsură de uleiul cu proprietăți reduse, care predomină în product. Odată cu creșterea umidității, crește și conductibilitatea activă a produsului, ceea ce provoacă și creșterea $tg\delta$. Caracterul curbelor dependenței $tg\delta$ de W este, practic, același pentru toate produsele studiate, grație componentei comune – uleiului. La temperaturi egale, valorile numerice sunt diferite, ceea ce indică structura diferită a produsului.

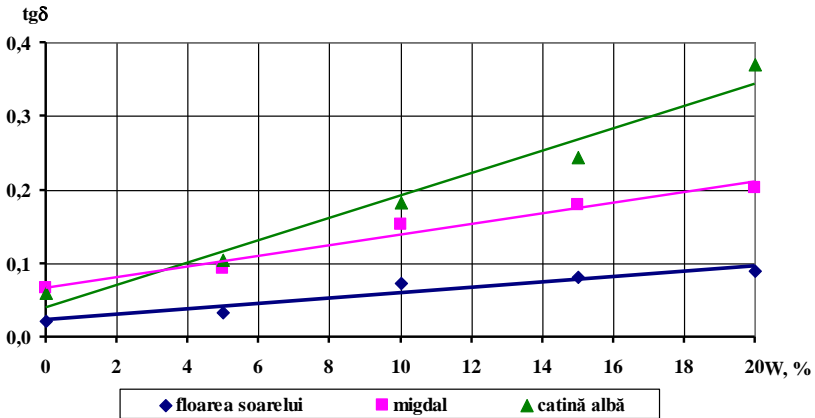


Fig.3.25. Variația $tg\delta$ a produselor oleaginoase în funcție de umiditate. $T=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $f=27\text{ MHz}$.

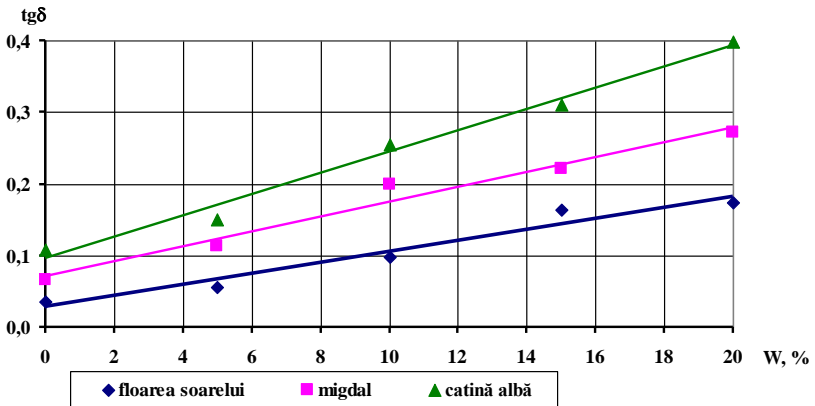


Fig.3.26. Variația $tg\delta$ a produselor oleaginoase în funcție de umiditate. $T=100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $f=27\text{ MHz}$.

În tabelul 3.4 sunt prezentate funcțiile matematice ale dependenței $tg\delta$ a unor produse oleaginoase de umiditate în limitele 0...20 % la temperaturile 60°C și 100°C și frecvența câmpului electromagnetic 27 MHz.

Tabelul 3.4. Funcțiile matematice ale dependenței $tg \delta$ a produselor oleaginoase de umiditate

Productul	Temperatura produsului, °C	Funcția matematică
Cătină albă	60	$tg \delta = 0,0152W + 0,0398$
	100	$tg \delta = 0,0148W + 0,0961$
Migdal	60	$tg \delta = 0,0072W + 0,0666$
	100	$tg \delta = 0,0104W + 0,0706$
Floarea-soarelui	60	$tg \delta = 0,0036W + 0,0236$
	100	$tg \delta = 0,0015W + 0,0126$

Variația permitivității dielectrice relative în limitele de umidități studiate este prezentată în figura 3.27 (temperatura produsului 60 °C) și 3.28 (temperatura produsului 100 °C).

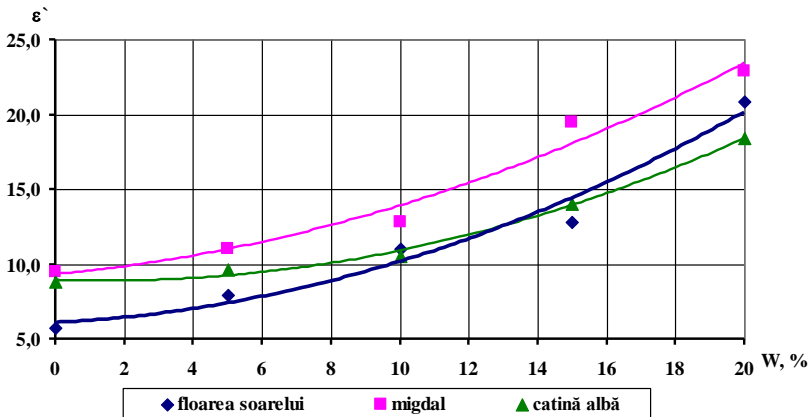


Fig.3.27. Variația ϵ' a produselor oleaginoase în funcție de umiditate. T=60 °C, f=27 MHz.

Din grafice se observă că, datorită complicității structurii produselor și multiplelor forme de polarizare, aceste dependențe au un caracter neliniar. Odată cu creșterea umidității, cresc și valorile ϵ' . Creșterea ϵ' este cauzată de mărirea numărului de molecule polare. Totodată, este de menționat că valorile ϵ' sunt determinate mai mult de proprietățile înalte de polarizare a moleculelor de apă și mai puțin

de proprietățile slabe de polarizare a moleculelor de ulei. Aceasta se observă și din grafice, în care la aceeași valoare a umidității produselor, valorile numerice ale ϵ' diferă puțin.

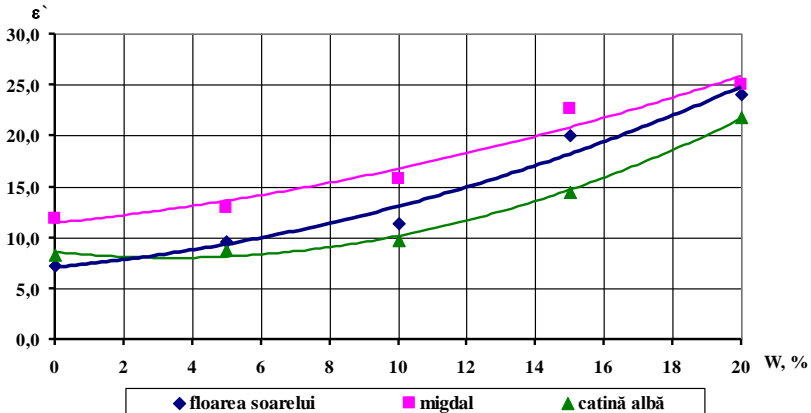


Fig.3.28. Variația ϵ' a produselor oleaginoase în funcție de umiditate. T=100 °C, f=27 MHz.

În tabelul 3.5 sunt prezentate funcțiile matematice ale dependenței ϵ' a unor produse oleaginoase de umiditate în limitele 0...20 % la temperaturile 60°C și 100°C și frecvența câmpului electromagnetic 27 MHz.

Tabelul 3.5. Funcțiile matematice ale dependenței ϵ' a produselor oleaginoase de umiditate

Productul	Temperatura produsului, °C	Funcția matematică
Cătină albă	60	$\epsilon' = 0,0287W^2 + 0,0966W + 8,9669$
	100	$\epsilon' = 0,0499W^2 - 0,3435W + 8,574$
Migdal	60	$\epsilon' = 0,0247W^2 + 0,2111W + 9,3203$
	100	$\epsilon' = 0,0019W^2 + 0,3399W + 11,407$
Floarea-soarelui	60	$\epsilon' = 0,0296W^2 - 0,0966W + 8,9669$
	100	$\epsilon' = 0,029W^2 + 0,3062W + 7,067$

Cum s-a menționat, în scopul determinării parametrilor sursei interne de căldură, de importanță este și factorul de pierderi dielectrice k .

Variația permitivității dielectrice relative în limitele de umidități studiate este prezentată în fig. 3.29 (temperatura produsului 60 °C) și 3.30 (temperatura produsului 100 °C).

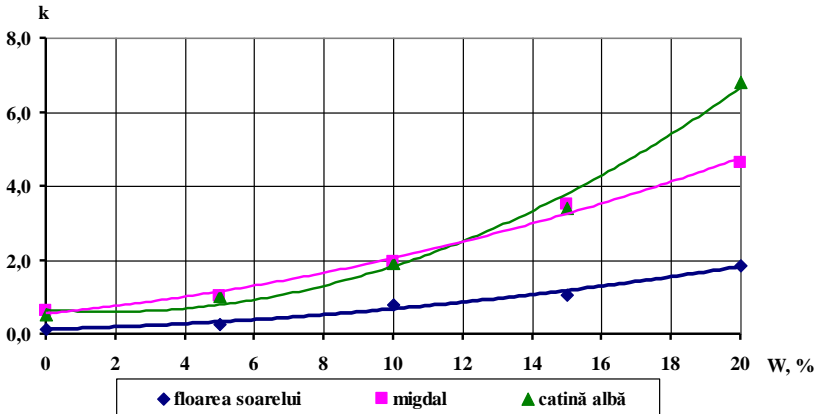


Fig.3.29. Variația k a produselor oleaginoase în funcție de umiditate. $T=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $f=27\text{ MHz}$.

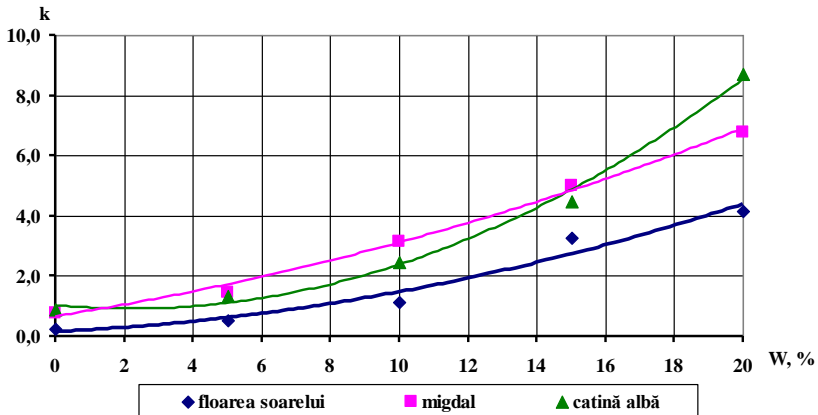


Fig.3.30. Variația k a produselor oleaginoase în funcție de umiditate. $T=100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $f=27\text{ MHz}$.

Din formula (1.22) este evident, că caracterul curbelor dependenței k de W sunt determinate de caracterul dependențelor $tg\delta$ și ε' de umiditate. De aceea ele prezintă niște curbe neliniare în creștere.

În tabelul 3.6 sunt prezentate funcțiile matematice ale dependenței k a unor produse oleaginoase de umiditate în limitele 0...20 % la temperaturile 60°C 100°C și frecvența câmpului electromagnetic 27 MHz.

Tabelul 3.6. Funcțiile matematice ale dependenței k a produselor oleaginoase de umiditate

Productul	Temperatura produsului, °C	Funcția matematică
Cătină albă	60	$k = 0,0183W^2 - 0,0655W + 0,6512$
	100	$k = 0,0241W^2 - 0,1056W + 1,0247$
Migdal	60	$k = 0,0061W^2 + 0,088W + 0,551$
	100	$k = 0,00671W^2 + 0,1768W + 0,6648$
Floarea-soarelui	60	$k = 0,03W^2 + 0,0256W + 0,1203$
	100	$k = 0,008W^2 + 0,0513W + 0,1557$

Dependențele grafice și matematice ale parametrilor electrofizici permit automatizarea continue a procesului de uscare în funcție de umiditate.

3.3. Studiul corelației dintre temperatură și parametrii electrofizici ai produselor oleaginoase

Proprietățile electromagnetice ale produselor oleaginoase depind în mare măsură și de temperatura acestora.

În figurile 3.31 și 3.32 sunt prezentate dependențele $tg\delta$ de temperatură în limitele temperaturilor 20...100 °C pentru produsele oleaginoase cu umiditatea de cca 4,0 % (cătină albă – $W = 3,93\%$; miez de sâmbure de migdal – $W = 3,96\%$; semințe de floarea-soarelui – $W = 4,05\%$.) și cca 20% (cătină albă – $W = 19,62\%$; miez de

sâmbure de migdal – $W= 19,96\%$; semințe de floarea-soarelui – $W=20,15\%$).

Din grafice se observă, că pentru valori reduse ale umidității produselor oleaginoase (figura 3.25) valorile $tg\delta$ nu depind de temperatură, ba chiar, odată cu creșterea temperaturii, se observă o mică diminuare a acestora. Aceasta ne indică încă odată că valorile $tg\delta$ sunt dictate, în primul rând, de prezența moleculelor de apă. La umidități mai ridicate (figura 3.32), la creșterea temperaturii, apare și o tendință ușoară de creștere a valorilor $tg\delta$.

Astfel de comportare a curbelor se explică prin faptul că în produsele umede, odată cu creșterea temperaturii, crește și cantitatea de abur, care elimină din product aerul cu proprietăți dielectrice avansate, deci crește și componenta activă a curentului direct.

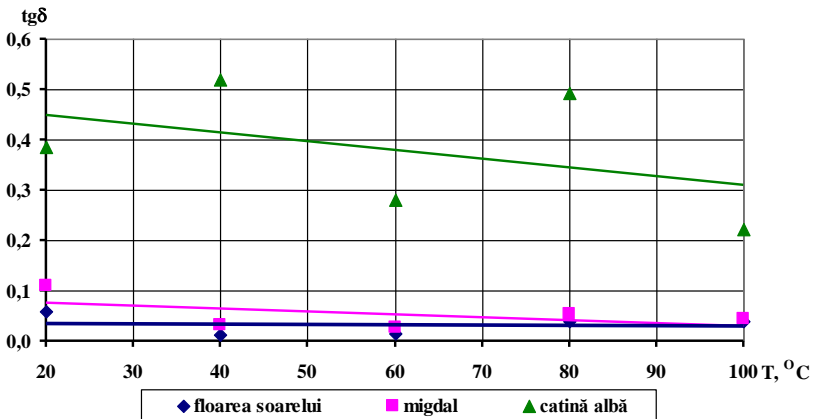


Fig.3.31. Variația $tg\delta$ a produselor oleaginoase în funcție de temperatură. $W \approx 4\%$, $f=27$ MHz.

Conform cercetărilor prezentate în [287], dependența matematică a $tg\delta$ de temperatura, la temperaturi relativ mici, pentru materiale cu conductibilitate directă redusă, cum sunt produsele oleaginoase se descrie cu formula:

$$tg\delta = \frac{4\pi A e^{-\frac{\beta}{T}}}{\varepsilon'_{\infty} f B_1 T} \quad (3.2)$$

în care A , B_I și β sun constante; ε'_∞ – polarizarea de deplasare;

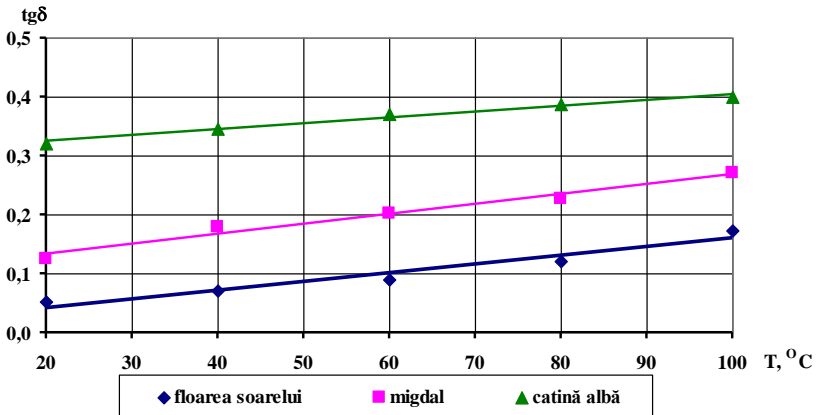


Fig.3.32. Variația $tg\delta$ a produselor oleaginoase în funcție de temperatură. $W \approx 20\%$, $f=27$ MHz.

Polarizarea de deplasare și frecvența câmpului electromagnetic nu depind de temperatură. În schimb, la creșterea temperaturii, $e^{-\beta/T}$ se mărește mai repede de cât însăși T , ceea ce și provoacă creșterea $tg\delta$.

În tabelul 3.7 sunt prezentate funcțiile matematice ale dependenței $tg\delta$ a unor produse oleaginoase de temperatură în limitele 20...100 °C la frecvența câmpului electromagnetic 27 MHz.

Tabelul 3.7. Funcțiile matematice ale dependenței $tg\delta$ a produselor oleaginoase de temperatură

Productul	Umiditatea produsului, %	Funcția matematică
Cătină albă	3,93	$tg\delta=-0,0018T+0,4852$
	19,62	$tg\delta=0,001T+0,3037$
Migdal	3,96	$tg\delta=-0,0002T+0,0519$
	19,96	$tg\delta=0,0017T+0,1003$
Floarea-soarelui	4,95	$tg\delta=-0,00006T+0,0364$
	20,15	$tg\delta=0,0015T+0,0126$

Dependențele ϵ' ale produselor oleaginoase de temperatură sunt prezentate în figurile 3.33 și 3.34.

După cum se observă din grafice, atât la umidități reduse (figura 3.33), cât și la umidități mărite (figura 3.34), la creșterea temperaturii, are loc și o creștere a valorilor ϵ' . Totodată, la temperaturi constante, valorile ϵ' , la umiditatea de 3,93...4,05 %, sunt de cca două ori mai mici în comparație cu cele ale produselor de 19,62...20,15 %.

Variația temperaturii schimbă esențial durata de relaxare atât a moleculelor de apă, cât și a celor de ulei. La temperaturi reduse, durata de relaxare este mare și procesul de polarizare nu dovedește să se termine pe parcursul unei semiperioade a tensiunii aplicate. Permitivitatea dielectrică relativă, în acest caz, este mică. La creșterea temperaturii, durata de relaxare scade și deci procesul de polarizare dovedește să se manifeste mai pronunțat. Permitivitatea dielectrică relativă crește.

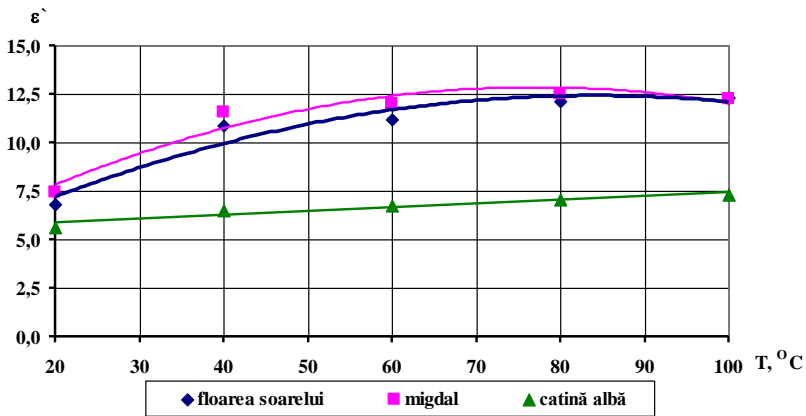


Fig.3.33. Variația ϵ' a produselor oleaginoase în funcție de temperatură. $W \approx 4\%$, $f=27$ MHz.

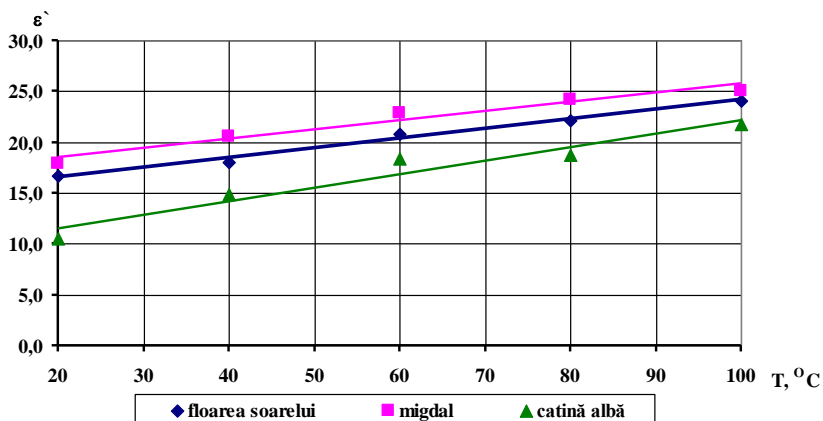


Fig.3.34. Variația ϵ' a produselor oleaginoase în funcție de temperatură. $W \approx 20\%$, $f=27$ MHz.

În tabelul 3.8 sunt prezentate funcțiile matematice ale dependenței ϵ' a unor produse oleaginoase de temperatură în limitele 20...100 °C la frecvența câmpului electromagnetic 27 MHz.

Tabelul 3.8. Funcțiile matematice ale dependenței ϵ' a produselor oleaginoase de temperatură

Productul	Umiditatea produsului, %	Funcția matematică
Cătină albă	3,93	$\epsilon' = 0,133T + 8,887$
	19,62	$\epsilon' = 0,133T + 8,887$
Migdal	3,96	$\epsilon' = -0,0015T^2 + 0,2379T + 3,6763$
	19,96	$\epsilon' = 0,0895T + 16,765$
Floarea-soarelui	4,95	$\epsilon' = 0,0945T + 14,693$
	20,15	$\epsilon' = 0,0945T + 14,693$

Dependențele factorului de pierderi dielectric ca funcție de temperatură este prezentată în figurile 3.35 și 3.36.

Aceste grafice prezintă produsul dintre tangenta unghiului de pierdere dielectrică și permitivitatea dielectrică relativă. Caracterul curbelor este determinat de influența acestor parametri în parte.

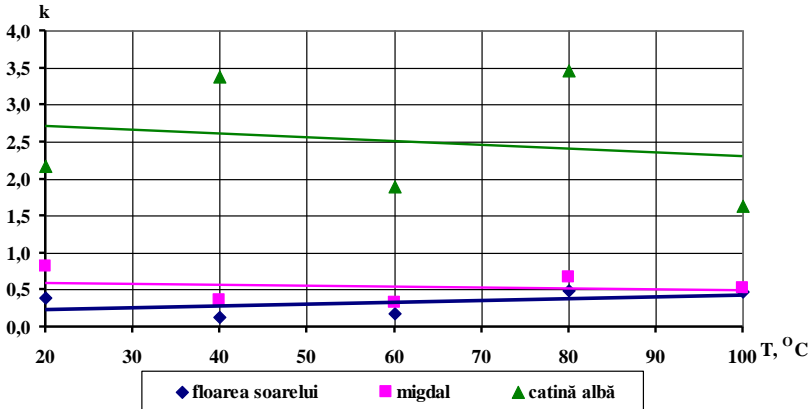


Fig.3.35. Variația k a produselor oleaginoase în funcție de temperatură. $W \approx 4\%$, $f=27$ MHz.

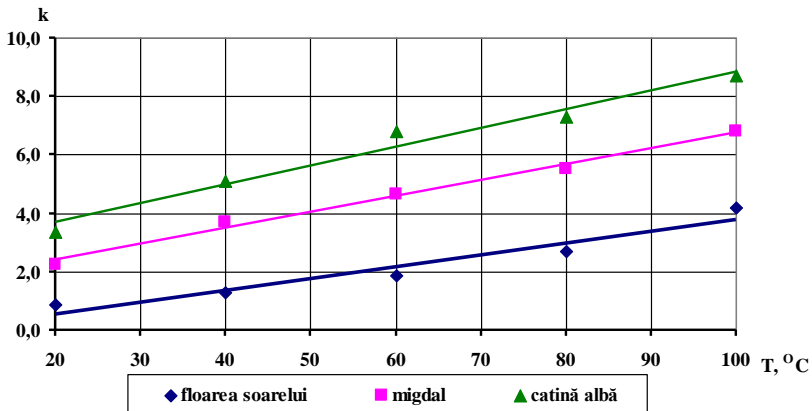


Fig.3.36. Variația k a produselor oleaginoase în funcție de temperatură. $W \approx 20\%$, $f=27$ MHz.

În tabelul 3.9 sunt prezentate funcțiile matematice ale dependenței k a unor produse oleaginoase de temperatură în limitele 20...100 °C la frecvența câmpului electromagnetic 27 MHz.

Tabelul 3.9 Funcțiile matematice ale dependenței k a produselor oleaginoase de temperatură

Productul	Umiditatea produsului, %	Funcția matematică
Cătină albă	3,93	$k=0,0645T+2,3878$
	19,62	$k=0,0645T+2,3878$
Migdal	3,96	$k=0,0543T+1,3229$
	19,96	$k=0,0543T+1,3229$
Floarea-soarelui	4,95	$k=0,0403T-0,2492$
	20,15	$k=0,0403T-0,2492$

Curbele grafice și dependențele matematice ale parametrilor electrofizici în funcție de temperatura produselor oleaginoase ne permit de a determina puterea sursei interne de căldură pentru orice temperatură dictată de regimurile tehnologice din limita de temperaturi studiată și dirijarea automată cu procesul la variația acestor temperaturi.

3.4. Determinarea intensității optime a câmpului electromagnetic reieșind din valorile parametrilor electrofizici ai produselor oleaginoase

Selectarea generatorului industrial pentru instalațiile de uscare în câmp electromagnetic se realizează luând în considerație frecvența câmpului electromagnetic și puterea lui sau intensitatea câmpului electromagnetic pe care o poate asigura.

Frecvența optimă a câmpului electromagnetic se alege experimental ținând cont de proprietățile electrofizice ale produselor care vor fi supuse uscării în această uscătorie. Se consideră optimă acea frecvență, la care proprietățile electrofizice ale produsului sunt maxime (sub influența câmpului electromagnetic are loc o degajare maximă de căldură) și procesul este stabil (la mici devieri ale câmpului electromagnetic parametrii electrofizici ai produsului rămân neschimbați).

În urma studiului experimental (subcapitolul 3.1), s-a determinat că, pentru produsele vegetale oleaginoase, precum sunt

cătina albă, sâmburele de migdal și semințele de floarea-soarelui, frecvența optimă este de 27,0 MHz.

Intensitatea câmpului electromagnetic este funcție dependentă de proprietățile electrofizice și termofizice ale materialului, de temperatura la care are loc procesul de uscare. Ea poate fi determinată cu succes din formula 1.22.

$$E = \sqrt{\frac{P_V}{0,555 \cdot 10^{-6} \cdot f \cdot k}} \quad (3.3)$$

Sursa internă de căldură P_V , care este egală cu cantitatea de căldură necesară pentru asigurarea procesului de uscare, se determină luând în considerație bilanțul termic al uscătorului:

$$P_V = (Q_1 + Q_2)k_p, \quad (3.4)$$

în care Q_1 este cantitatea de căldură necesară pentru încălzirea materialului, în J;

Q_2 – căldura necesară pentru evaporarea umidității, în J;

k_p – coeficient care ia în considerație pierderile de căldură.

În scopul determinării puterii optime a generatorului U.H.F., au fost obținute dependențele intensității câmpului electromagnetic în funcție de temperatura produsului în limitele 20...100 °C pentru probele de produs de diferite umidități de la 3% până la 20 % și în funcție de umiditatea produsului pentru diferite temperaturi în aceleași limite.

Dependența $E = f(T)$ pentru umiditatea produselor de cca 20 % este prezentată în figura 3.37. Din figură se observă că, odată cu creșterea temperaturii produsului, intensitatea câmpului electromagnetic, de asemenea, crește. Aceasta este evident, deoarece, pentru a obține temperaturi ale produsului mai înalte, este necesar și de cantități mai mari de căldură, care, la încălzirea în volum, se obține și prin mărirea intensității câmpului electromagnetic.

Totodată, este de menționat că viteza de variație a factorului de pierderi dielectrice în funcție de temperatură ($\nu_r = f(T)$), în dependență de produs, se află în limitele 0,0403... 0,0645 °C⁻¹, iar variația intensității câmpului electromagnetic în funcție de

temperatură ($\nu_E = f(T)$) – 0,1295...0,1835 kV/m⁰C, deci crește de cca trei ori. Aceasta indică asupra faptului că intensitatea câmpului electromagnetic este influențată nu numai de parametrii electrofizici ai produsului, dar și de alți factori, cum sunt parametrii termofizici (capacitatea termică specifică, conductibilitatea termică, etc.) și mecanici (structura mecanică, forma, masa volumetrică).

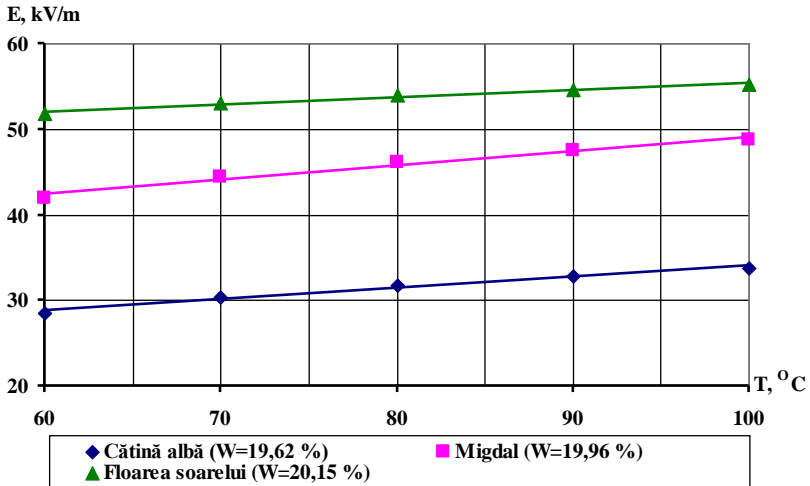


Fig.3.37. Variația intensității câmpului electromagnetic în funcție de temperatura produsului. $f=27$ MHz.

În figura 3.38 este prezentată funcția dependenței intensității câmpului electromagnetic de umiditate, pentru temperatura produsului de 60 °C. Din grafice se observă că, odată cu creșterea umidității produsului, intensitatea câmpului electromagnetic necesară pentru menținerea temperaturii constante scade conform unei legități neliniare.

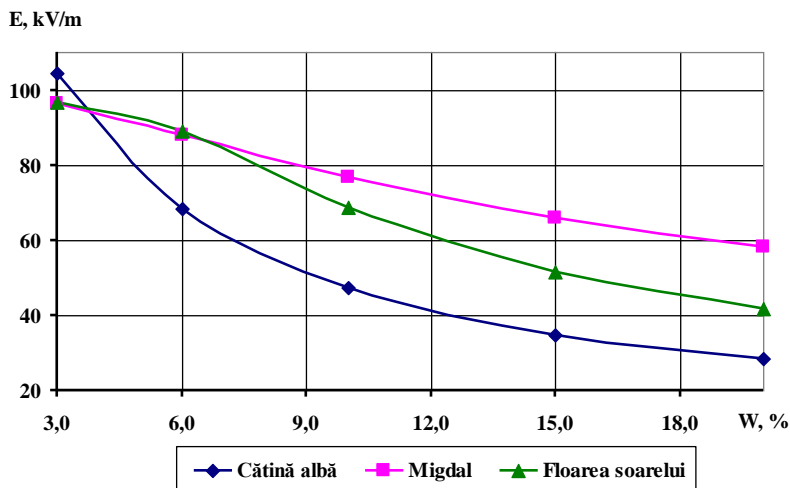


Fig.3.38. Variația intensității câmpului electromagnetic în funcție de umiditatea produsului. $T=60^{\circ}\text{C}$, $f=27$ MHz.

Aceasta indică, încă odată, asupra faptului că rolul decisiv la polarizarea complexă a materialului aparține moleculelor de apă. Odată cu creșterea umidității în product, crește și cantitatea de căldură degajată în urma influenței sursei interne de căldură.

4. STUDIUL FENOMENELOR DE TRANSFER ÎN MATERIALELE COMPLEXE ETEROGENE LA APLICAREA SURSEI INTERNE DE CĂLDURĂ PRIN IMPULS

4.1. Supozițiile teoretice și experimentale privind uscarea produselor oleaginoase la aplicarea sursei interne de căldură prin impuls

Este cunoscut, că una din forțele motrice principale a proceselor de uscare este valoarea și direcția gradientului de temperatură din product $\nabla \vec{T}$. La rândul său, la încălzirea produselor umede, gradientul de temperatură provoacă apariția gradientul de umiditate $\nabla \vec{U}$ și gradientul de presiune $\nabla \vec{P}$, care de asemenea au o influență pozitivă asupra procesului de uscare a produselor umede. Direcția acestor vectori în mare măsură depinde de tipul sursei de căldură și metoda de aport a acesteia.

La încălzirea prin convecție $\nabla \vec{T}$ și $\nabla \vec{P}$ sunt îndreptate de la straturile superficiale ale produsului către cele interioare, iar $\nabla \vec{U}$ - contracurent, de la centru spre periferie [216, 221, 273, 277, 299]. Această direcționare contracurent a fluxurilor de masă și de energie „frânează” procesul de uscare, ceea ce duce la creșterea consumului de energie, a duratei de uscare și ca consecință, reducerea indicilor calitativi ai produsului uscat. Aceasta se observă bine în graficul din fig. 4.2., în care $\nabla \vec{T}$ obține valori negative. Pentru încălzirea prin convecție este caracteristic și aceea, că gradientul de presiune este destul de mic, iar în unele cazuri, practic lipsește (în materialele capilar-poroase).

La încălzirea în câmp electromagnetic, UHF sau SHF, toate trei gradientele sunt direcționate echicurent de la straturile interioare ale produsului către cele superficiale. În acest caz, fluxurile de căldură și de presiune accelerează transferul de masă (de umiditate), deci și procesul de uscare. Datorită reducerii duratei de uscare și de tratare termică are loc reducerea consumului de energie și păstrarea calității produsului supus uscării.

Din grafice (fig. 4.1 – 4.6), se observă, că atât la încălzirea prin convecție, cât și la cea în volum, procesul de tratare termică poate fi divizat în două etape. În prima etapă are loc creșterea gradientului de temperatură de la „zero” până la o oarecare valoare maximă. În a doua etapă gradientul de temperatură scade. În funcție de condițiile aportului de căldură și a eliminării acesteia în mediul înconjurător, scăderea gradientului de temperatură poate atinge o valoare minimă constantă sau poate tinde spre zero.

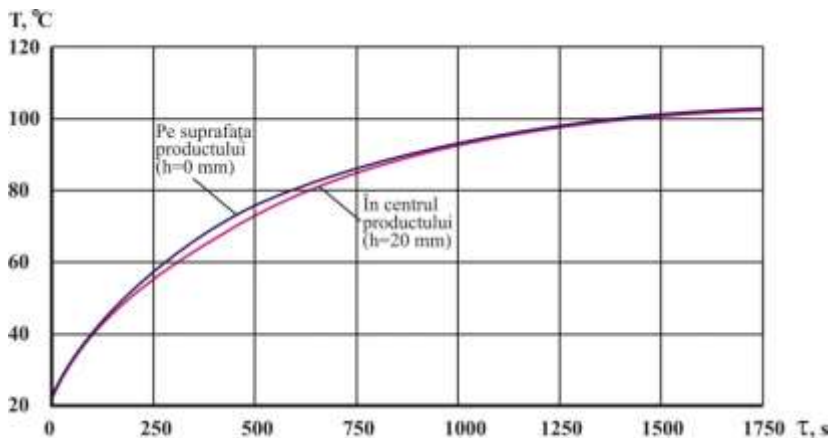


Fig. 4.1. Curbele variației temperaturii în centrul și la suprafața semințelor de floarea-soarelui în funcție de timp la încălzirea prin convecție: temperatura agentului termic 110,0 °C; viteza aerului 1,1 m/s; grosimea stratului de produs 0,04 m.

La încălzirea prin convecție (figurile 4.1 și 4.2) viteza de creștere a temperaturii din straturile centrale este mai mică în comparație cu viteza de creștere a temperaturii straturilor superficiale. Aceasta se datorează proprietăților reduse ale conductibilității termice a produselor oleaginoase. Totodată, este de menționat că, odată cu creșterea temperaturii straturilor superficiale, diferența dintre temperatura produsului și cea a agentului de uscare scade, deci scade și viteza de creștere a temperaturii acestora. În momentul în care viteza de creștere a temperaturii straturilor exterioare se egalea-

ză cu viteza de creștere a temperaturii straturilor interioare, gradientul de temperaturi obține valori maxime. În continuare, gradientul de temperaturi este în scădere și tinde spre „zero”, deci spre echilibru termic.

Creșterea diferenței de temperaturi dintre straturile interioare (centrale) și exterioare (periferice) ale produsului se datorează condițiilor neadecvate în care se află acestea în procesul de tratare termică. La încălzirea în volum, fluxul de căldură de la straturile interioare se deplasează în direcția celor exterioare datorită conductibilității termice a produsului.

La încălzirea prin convecție, ∇T obține valori negative, care frânează procesul de deshidratare a produselor. De aceea, se propune de a reduce durata primei perioade, la care ∇T obține valori maxime „negative”, prin aplicarea la începutul procesului a unui regim termic mai avansat. Astfel, procesul de uscare va avea loc preponderent în a doua perioadă, la care ∇T influențează mai puțin procesul.

La aplicarea sursei interne de căldură, datorită conductibilității termice a produsului, căldura straturilor interioare se transmite straturilor superficiale, pe când căldura degajată în straturile superficiale și acumulată de la straturile interne se transmite mediului ambiant.

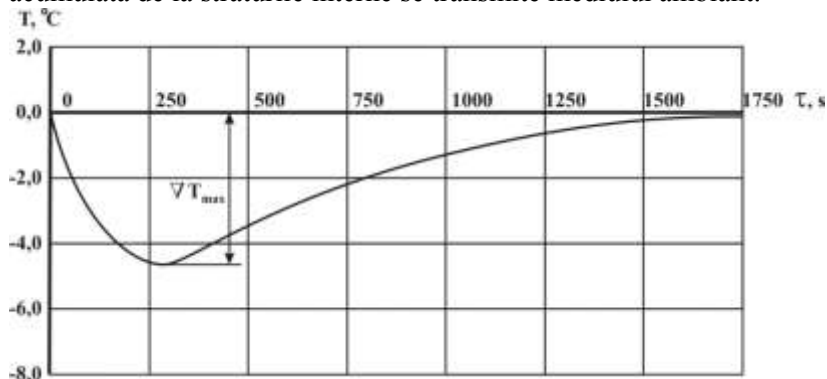


Fig. 4.2. Curbele variației gradientului de temperatură în semințele de floarea-soarelui în funcție de timp la încălzirea prin convecție: temperatura agentului termic 110 °C; viteza aerului 1,1 m/s; grosimea stratului de produs 0,04 m.

Astfel, la prima etapă, când viteza fluxului de căldură în produs este mai mare decât viteza fluxului de căldură în mediul înconjurător, gradientul de temperatură crește (figurile 4.3 și 4.4). În momentul în care viteza acestor fluxuri se egalează, gradientul de temperatură începe să scadă și tinde spre o valoare minimă constantă, dependentă de viteza de cedare a căldurii în mediul ambiant.

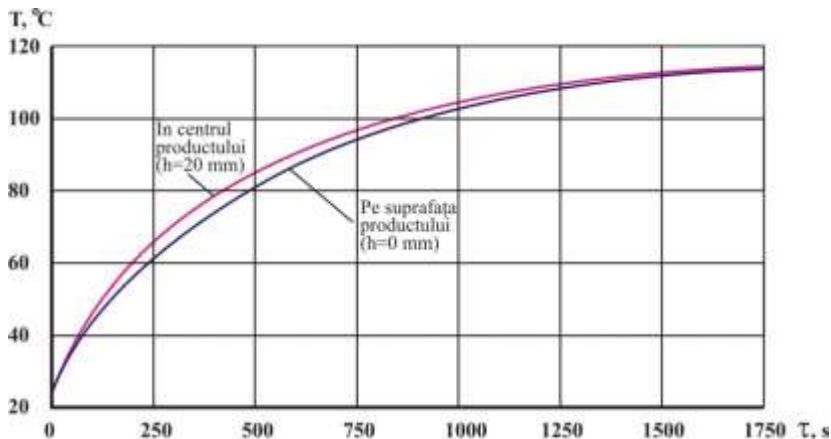


Fig. 4.3. Curbele variației gradientului de temperatură în semințele de floarea-soarelui în funcție de timp la încălzirea în câmp electromagnetic. $f = 27,0$ MHz; temperatura mediului ambiant $20,0$ °C; grosimea stratului de produs $0,04$ m.

Analiza graficelor din figurile 4.3 și 4.4 ne permite de a conchide că, la încălzirea în volum, este optim de menținut regimul termic în zona de trecere de la etapa întâi în cea de a doua, când $\nabla \vec{T}$ obține valori maxime „pozitive”. Încălzirea în continuare a produsului este nerațională, deoarece creșterea temperaturii diminuează calitatea produsului finit și reducerea $\nabla \vec{T}$ scade forța motrice a procesului.

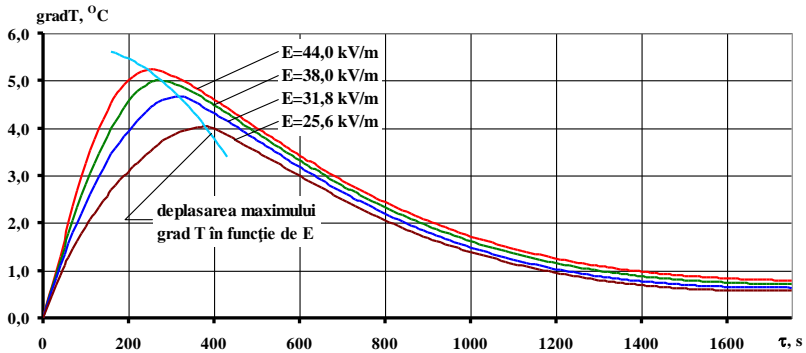


Fig. 4.4. Curbele variației gradientului de temperatură în semințele de floarea-soarelui în funcție de timp la încălzirea în câmp electromagnetic. $f = 27,0$ MHz; temperatura mediului ambiant $20,0$ °C; grosimea stratului de produs $0,04$ m.

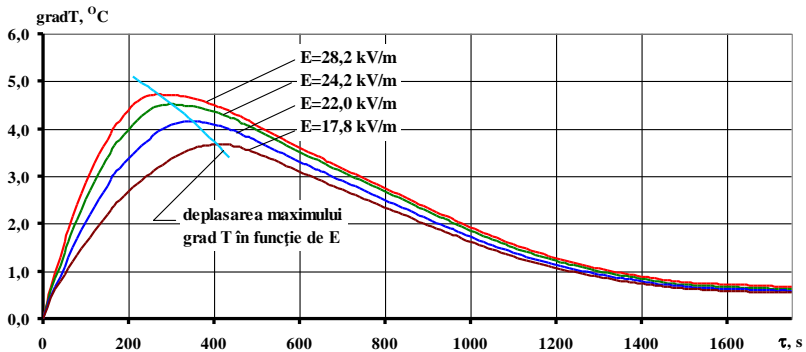


Fig. 4.5. Curbele variației gradientului de temperatură în cățina albă în funcție de timp la încălzirea în câmp electromagnetic ($f = 27,0$ MHz; temperatura mediului ambiant $20,0$ °C; grosimea stratului de produs $0,04$ m).

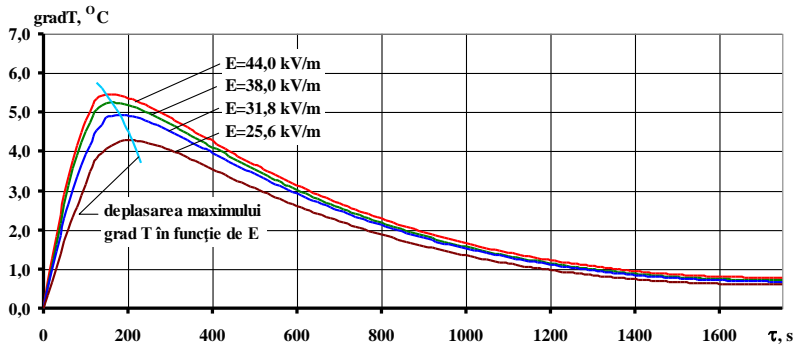


Fig. 4.6. Curbele variației gradientului de temperatură în miezul de sâmbure de migdal în funcție de timp la încălzirea în câmp electromagnetic ($f = 27,0$ MHz; temperatura mediului ambiant $20,0$ °C; grosimea stratului de produs $0,04$ m).

Este de menționat că, după atingerea $\nabla \vec{T}$ a valorii maxime, sursa internă de căldură se deconectează. În perioada de repaus (când sursa internă de căldură este deconectată), $\nabla \vec{T}$ începe să scadă lent, menținându-și un timp valori înalte. Deci deshidratarea materialului are loc și în această perioadă. Întreruperea sursei de căldură pe o durată îndelungată de timp poate reduce esențial valoarea gradientului de temperatură, ceea ce este contraindicat procesului, de aceea durata de repaus se determină sau prin acceptarea unei valori minime a lui $\nabla \vec{T}$, sau din alte considerente. În continuare, ciclul se repetă.

În practică, acest regim de uscare poate fi asigurat prin aport impulsionar al sursei interne de căldură: încălzire – relaxare – încălzire ...

Durata de încălzire a produselor oleaginoase în câmp U.H.F., la care s-a obținut gradientul de temperatură maxim, a fost determinată în urma studiului funcției dependenței $\nabla \vec{T}$ de timp ($\nabla T(\tau) = f(\tau)$) la extreme. Prelucrarea matematică a funcțiilor la extreme a fost realizată cu ajutorul programului MATCAD 14.

Funcțiile matematice $\nabla T(\tau) = f(\tau)$ au fost obținute prin regresia funcțiilor experimentale, ca diferența dintre temperatura straturilor interioare ale produsului și ale celor superficiale. Astfel, s-au obținut funcții matematice de forma unui polinom de ordinul cinci pentru toate cele trei produse studiate:

$$\nabla T(\tau) = a_5 \tau^5 + a_4 \tau^4 + a_3 \tau^3 + a_2 \tau^2 + a_1 \tau^1 + a_0, \quad (4.1)$$

în care $a_0...a_5$ sunt constante ale variabilei timpului.

Valorile numerice ale constantelor $a_0...a_5$ pentru cazul încălzirii produselor oleaginoase în câmp UHF cu frecvența de 27,0 MHz, temperatura mediului de 20 °C, și viteza aerului de 1,1 m/s sunt prezentate în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1. Valorile numerice ale constantelor $a_0...a_5$ din ecuația 4.1.

Constanta	Cătină albă (E=28,2 kV/m)	Miez de sâmbure de migdal (E=44,0 kV/m)	Semințe de floarea-soarelui (E=44,0 kV/m)
a_0	-0,169	0,517	-0,369
a_1	0,043	0,058	0,053
a_2	$-1,346 \cdot 10^{-4}$	$-2,389 \cdot 10^{-4}$	$-1,78 \cdot 10^{-4}$
a_3	$1,947 \cdot 10^{-7}$	$4,175 \cdot 10^{-7}$	$2,659 \cdot 10^{-7}$
a_4	$-1.536 \cdot 10^{-10}$	$-3.734 \cdot 10^{-10}$	$-2.100 \cdot 10^{-10}$
a_5	$6,455 \cdot 10^{-14}$	$1,703 \cdot 10^{-13}$	$8,702 \cdot 10^{-14}$

Pentru determinarea extremelor, a fost egalat cu zero diferențialul funcției 4.1.:

$$\frac{d\nabla T(\tau)}{d\tau} = 5a_5 \tau^4 + 4a_4 \tau^3 + 3a_3 \tau^2 + 2a_2 \tau + a_1 \quad (4.2)$$

În urma rezolvării ecuației 4.2, s-au obținut următoarele rezultate: la încălzirea cătinii albe (E = 28,2 kV/m), $\nabla \bar{T}$ a obținut valori maxime la a 307-a secundă de la aplicarea sursei interne de căldură, miezul de sâmbure de migdal (E = 44,0 kV/m) – la a 218-a secundă

și semințele de floarea-soarelui ($E = 44,0 \text{ kV/m}$) – la a 274-a secundă. Deci, conform datelor experimentale, la intensitățile câmpului electromagnetic menționate, anume în acest moment este necesar de efectuat prima deconectare a sursei interne de căldură.

Un interes deosebit îl are și caracterul deplasării extremei funcției gradientului de temperatură în limitele zonei de acțiune a intensităților câmpului electromagnetic. Limitele intensităților câmpului electromagnetic sunt determinate de intensitatea minimă E_{min} , la care se înregistrează procesul de degajare suficientă de căldură pentru a asigura procesul de uscare și intensitatea maximă E_{max} , la care apar arsuri locale ale produsului.

Pentru semințele de floarea-soarelui și pentru miezul sâmburelui de bostan acest interval de intensități a fost de la 25,6 până la 44,0 kV/m, iar pentru cățina albă – 17,8 ... 28,2 kV/m.

Din grafice (fig.4.4...4.6) se observă că, odată cu creșterea intensității câmpului electromagnetic, extremele maxime ale $\nabla \vec{T}$ se deplasează în direcția scăderii duratei de tratare termică. Acest fenomen și era de așteptat, deoarece, odată cu creșterea intensității câmpului electromagnetic, crește și viteza de încălzire a straturilor centrale ale materialului. Astfel, pentru semințele de floarea-soarelui (fig. 4.4. și 4.7), la intensitatea câmpului electromagnetic $E = 25,6 \text{ kV/m}$. $\nabla \vec{T}_{max.}$, s-a obținut la a 363-a secundă de aport termic, iar la $E = 44,0 \text{ kV/m}$ – la a 274-a secundă. Gradientul de temperatură a atins valoarea sa maximă de 1,32 ori mai repede. Aceeași tendință se observă și la celelalte produse oleaginoase studiate: pentru cățina albă (figurilor 4.5 și 4.7) în limitele intensității de 17,8...28,2 kV/m, $\nabla \vec{T}_{max.}$ s-a deplasat de la a 415-a secundă până la a 307-a secundă (de 1,35 ori mai rapid); pentru miezul de sâmbure de migdal (figurile 4.6 și 4.7) în limitele intensității de 25,6...28,2 kV/m, $\nabla \vec{T}_{max.}$ s-a deplasat de la a 217-a secundă până la a 242-a secundă (de 1,12 ori mai rapid).

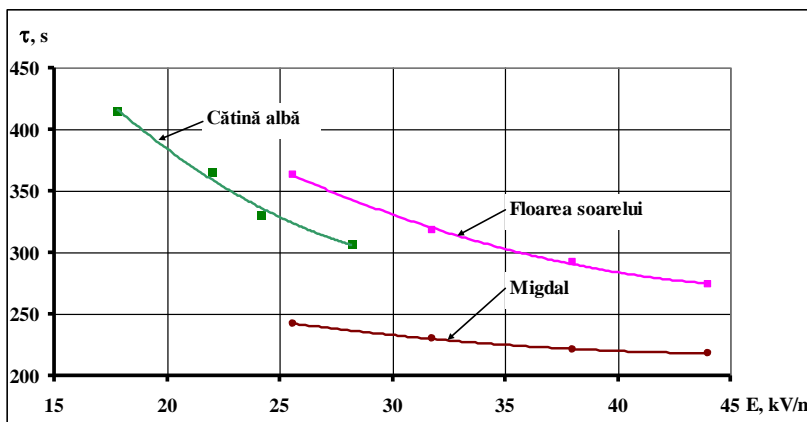


Fig. 4.7. Variația duratei de încălzire până la obținerea valorilor maxime ale gradientului de temperatură în funcție de intensitatea câmpului electromagnetic ($f = 27,0$ MHz; temperatura mediului ambiant $20,0$ °C; grosimea stratului de produs $0,04$ m, umiditatea 20%).

Funcțiile matematice ale variației duratei de încălzire a produselor oleaginoase până la obținerea gradientului de temperatură maxim în funcție de intensitatea câmpului electromagnetic pentru $f = 27,0$ MHz, temperatura mediului ambiant $20,0$ °C și grosimea stratului de produs – $0,04$ m sunt prezentate în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2. Funcțiile matematice ale variației τ a produselor oleaginoase până la obținerea $\nabla \vec{T}$ maximal în funcție de E

Productul	Limitele E, în kV/m	Funcția matematică
Floarea-soarelui	25,6 ... 44,0	$\tau = 0,058 \cdot 1E^2 - 5,3661 \cdot E + 341,43$
Cătină albă	17,8 ... 28,2	$\tau = 0,477 \cdot 8E^2 - 32,604 \cdot E + 845,17$
Migdal	25,6 ... 44,0	$\tau = 0,174 \cdot E^2 - 16,883 \cdot E + 680,63$

Este de menționat că mărirea intensității câmpului electromagnetic provoacă și creșterea valorii numerice a gradientului maxim de temperatură (figurile 4.4 ... 4.6 și 4.8). Astfel, pentru semințele de floarea-soarelui (figurile 4.4. și 4.8), gradientul de temperatură maxim a crescut de la 3,8 °C la intensitatea câmpului electromagnetic de 25,6 kV/m până la 5,1°V la intensitate de 44,0 kV/m, deci sa majorat cu 1,3 °C. Aceeași tendință se observă și la celelalte produse oleaginoase studiate: în limitele de intensități 17,8 ... 28,2 kV/m, $\nabla \vec{T}_{\max}$ în cătina albă a crescut de la 3,6 °C până la 4,7 °C (s-a majorat cu 1,1 °C), iar $\nabla \vec{T}_{\max}$ în miezul de sâmbure de migdal, limitele de intensități 25,6 ... 44,0 kV/m, a crescut de la 4,3 °C până la 5,4 °C (s-a majorat cu 1,1 °C).

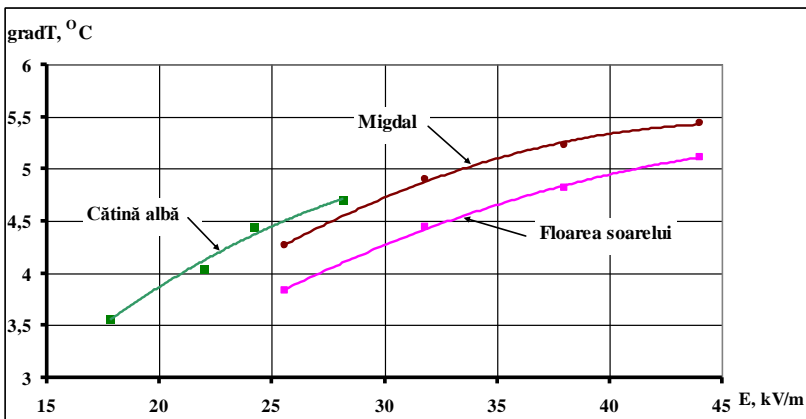


Fig. 4.8. Variația valorii maxime a gradientului de temperatură în funcție de intensitatea câmpului electromagnetic ($f = 27,0$ MHz; temperatura mediului ambiant $20,0$ °C; grosimea stratului de produs $0,04$ m, umiditatea 20%).

Funcțiile matematice ale variației valorii maxime a gradientului de temperatură în funcție de intensitatea câmpului electromagnetic pentru $f = 27,0$ MHz, temperatura mediului înconjurător $20,0$ °C și grosimea stratului de produs $0,04$ m sunt prezentate în tabelul 4.3.

Tabelul 4.3. Funcțiile matematice ale variației $\nabla \vec{T}_{\max}$ a produselor oleaginoase în funcție de E

Productul	Limitele E, în kV/m	Funcția matematică
Floarea-soarelui	25,6 ... 44,0	$\nabla \vec{T}_{\max} = -0,004 \cdot E^2 + 0,2947 \cdot E - 0,4409$
Cătină albă	17,8 ... 28,2	$\nabla \vec{T}_{\max} = -0,0028 \cdot E^2 + 0,2571 \cdot E - 0,4792$
Migdal	25,6 ... 44,0	$\nabla \vec{T}_{\max} = -0,0019 \cdot E^2 + 0,2023 \cdot E - 0,0761$

Cum s-a menționat, una din metodele de intensificare a procesului de uscare este menținerea gradientului de temperatură la valori înalte. Totodată, la diferite intensități ale câmpului electromagnetic, $\nabla \vec{T}_{\max}$ se obține la temperaturi diferite ale produsului. Este cunoscut că, în scopul păstrării proprietăților nutritive ale produselor alimentare, inclusiv ale celor oleaginoase, pentru fiecare produs în parte sunt recomandate temperaturi maxime limită de prelucrare termică. Deci, pentru a păstra proprietățile nutritive ale produselor, este important de a cunoaște intensitatea câmpului electromagnetic, la care $\nabla \vec{T}_{\max}$ se obține anume la temperatura recomandată de către cerințele tehnologice.

În figura 4.9 sunt prezentate corelațiile dintre temperatura straturilor centrale ale produselor vegetale oleaginoase și intensitatea câmpului electromagnetic în momentul de timp când $\nabla \vec{T}$ obține valori maxime. Din grafice, se observă că, odată cu creșterea intensității câmpului electromagnetic, crește și temperatura produsului (pentru cazul nostru a fost fixată temperatura stratului central), la care se înregistrează valoarea maximă a gradientului de temperatură. Astfel, la încălzirea semințelor de floarea-soarelui în câmp U.H.F. cu $E = 25,6$ kV/m, $\nabla \vec{T}_{\max}$ s-a obținut la temperatura straturilor interioare de $62,7$ °C, dar la încălzirea în câmp cu $E = 44,0$ kV/m – la $92,7$ °C. Astfel, la mărirea intensității câmpului electromagnetic de la $22,5$ kV-m până la $44,0$ kV/m temperatura

stratului interior a crescut cu 34,3 °C, iar $\nabla \vec{T}_{\max}$ a crescut cu 1,28 °C (figura 4.8).

Același fenomen s-a înregistrat și la celelalte produse: la încălzirea cătinii albe, temperatura la care s-a înregistrat $\nabla \vec{T}_{\max}$ a crescut de la 61,7 °C, pentru $E = 17,8$ kV/m, până la 91,5 °C, la $E = 28,2$ kV/m și la încălzirea miezului de sămbure de migdal, a crescut de la 60,9 °C, pentru $E = 25,6$ kV/m, până la 89,3 °C, la $E = 44,0$ kV/m.

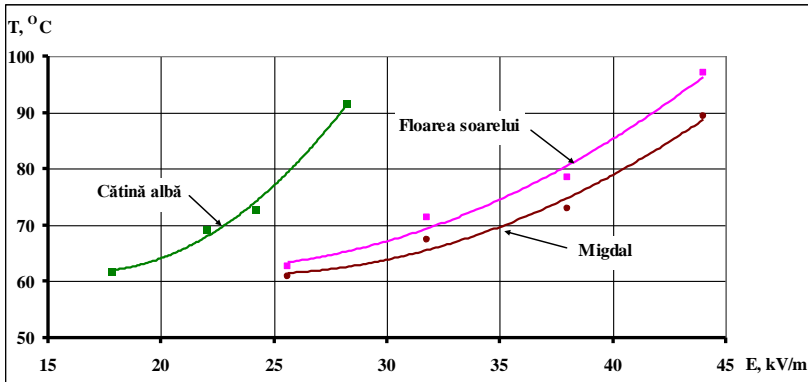


Fig.4.9. Corelația dintre temperatura straturilor centrale ale produselor vegetale oleaginoase și intensitatea câmpului electromagnetic în momentul de timp când $\nabla \vec{T}$ obține valori maxime. $f = 27,0$ MHz; temperatura mediului înconjurător 20,0 °C; grosimea stratului de produs 0,04 m, umiditatea 20%.

Funcțiile matematice ale corelației dintre intensitatea câmpului electromagnetic și temperatura straturilor centrale ale produselor vegetale oleaginoase la care $\nabla \vec{T}$ obține valori maxime sunt prezentate în tabelul 4.3. Funcțiile menționate sunt adecvate pentru condițiile: frecvența câmpului electromagnetic 27,0 MHz, temperatura mediului ambiant 20,0 °C și grosimea stratului de produs 0,04 m.

Tabelul 4.4. Funcțiile matematice ale temperaturii straturilor interne de intensitatea câmpului electromagnetic pentru cazul când $\nabla \vec{T} = \max$.

Productul	Limitele E, în kV/m	Funcția matematică
Floarea-soarelui	25,6 ... 44,0	$T = 0,067 \cdot E^2 - 0,2891 \cdot E + 93,313$
Cătină albă	17,8 ... 28,2	$T = 0,227 \cdot E^2 - 7,626 \cdot E + 125,829$
Migdal	25,6 ... 44,0	$T = 0,068 \cdot E^2 - 3,224 \cdot E + 99,737$

Prezența gradientului de temperatură și direcționarea lui sunt confirmate și în urma studiului variației câmpului de temperaturi în stratul de miez de sâmbure de migdal la încălzirea prin convecție (figura 4.10 a) și în câmp electromagnetic de frecvență înaltă (figura 4.01 b).

Astfel, conform graficelor din figura 4.10 a, la încălzirea prin convecție, odată cu adâncirea stratului de produs, temperatura lui scade. Totodată, este de menționat că, cu creșterea duratei de încălzire, diferența de temperaturi ale straturilor superficiale și ale celor centrale scade. Pentru cazul temperaturii agentului termic 60 °C, după o perioadă de încălzire de 250 secunde $\nabla \vec{T}$ a stratului de produs cu grosimea de 60 mm a fost de 3,3 °C, iar după 1250 secunde – de 1,54 °C.

Datorită cedării de căldură în mediul ambiant, la aplicarea sursei interne de căldură (fig. 4.10 b), temperatura straturilor superficiale ale produsului este mai redusă în comparație cu cea a straturilor centrale. Gradientul de temperatură este îndreptat din centru către straturile superficiale ale produsului. La încălzirea unui strat de miez de sâmbure de migdal umed cu grosimea de 60 mm pe parcursul a 10 secundă $\nabla \vec{T}$ a fost de 3,23 °C/m, iar la încălzirea aceluiași strat timp de 50 secunde, gradientul de temperatură a atins deja valoarea de 5,25 C/m. Aceasta ne demonstrează încă odată că, pe parcursul primei etape de încălzire $\nabla \vec{T}$ crește.

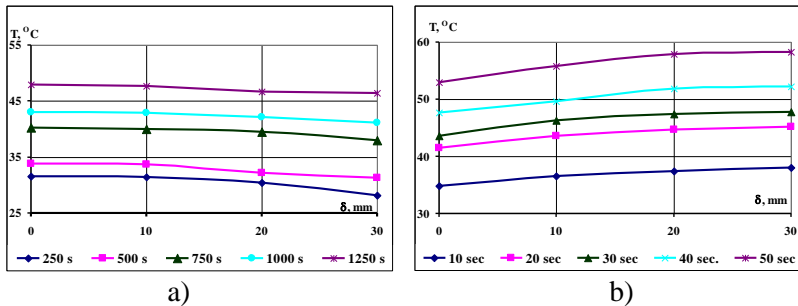


Fig. 4.10. Distribuția temperaturii în volumul masei de miez de sămbure de migdal la încălzirea: a) prin convecție, temperatura agentului termic 60°C ; viteza aerului $1,1 \text{ m/s}$; b) în câmp electromagnetic UHF, $f = 27,0 \text{ MHz}$; $E = 38,0 \text{ kV/m}$.

Mai mult ca atât, din grafic se observă, că la încălzirea în volum, odată cu creșterea adâncimii stratului de produs temperatura crește conform unei exponențe și tinde spre o valoare constantă. Deci, mărirea excesivă în continuare a stratului de produs nu v-a permite creșterea dorită a gradientului de temperatură.

Astfel, în urma analizei rezultatelor experimentale prezentate s-au tras următoarele concluzii.

1. procesul de încălzire a produselor oleaginoase în câmp UHF poate fi divizat în două perioade. În prima perioadă, $\nabla \vec{T}$ crește de la „zero” până la o oarecare valoare maximă și în a doua – scade până la „zero” sau la o valoare constantă minimă;
2. în scopul menținerii $\nabla \vec{T}$ în limitele valorilor maxime este rațional, la finele primei perioade, de deconectat sursa internă de căldură și în continuare de folosit regimul prin impuls de aport de energie;
3. s-a determinat durata primei perioade de încălzire pentru toate produsele oleaginoase studiate și dependența acestora de intensitatea câmpului electromagnetic;
4. în baza datelor experimentale, s-a elaborat funcția matematică pentru determinarea intensității optime a câmpului electromagnetic în scopul obținerii $\nabla \vec{T}_{\text{max}}$. la temperaturi ale produsului, recomandate de cerințele tehnologice.

4.2. Argumentarea teoretică a parametrilor impulsului discret de acționare electromagnetică asupra proceselor de transfer de masă și de căldură în produsele oleaginoase

Procesul de deshidratare (de uscare) a produselor alimentare, de regulă, este însoțit de consumuri mari de energie. La momentul actual, sunt cunoscute multiple metode de aport de energie în procesul de uscare (prin conducție, prin convecție, prin utilizarea energiei câmpurilor U.H.F. sau S.H.F., uscarea acustică, cu ultrasunet etc.). În această gamă a metodelor de uscare, un loc deosebit aparține uscării în câmpuri electromagnetice (U.H.F. sau S.H.F.). Sunt cunoscute multiple lucrări consacrate transferului de masă și de căldură în câmp electromagnetic (Likov A. V., Rogov I. A., Rebinder P. A., Dumanski A. V., Filonenko G. K., Lurie M. I., Lebedev P. D. Ghinzburg A. S., Krasnikov V. V., Malejik I. F., Musteață V. T., Lupașco A. S. Sajin B. S. Grișin M. A., Jmakin N. P., Rudobașta C. P. șa), însă o metodă universală de tratare termică a produselor alimentare încă nu este propusă. De aceea, deseori, pentru fiecare caz în parte este necesar de rezolvat probleme concrete.

Dar totuși, în literatura studiată, se trasează o tendință comună – obținerea produselor de calitate înaltă însoțită de o reducere la minim a consumului de energie și de muncă.

În baza analizei bibliografice [17, 86, 120, 130, 161, 162, 214, 233, 273, 277, 325], se poate de conchis, că una din metodele de intensificare a proceselor de transfer de masă și de căldură (uscarea) este aplicarea impulsională a sursei interne de căldură. În acest scop, poate fi folosită cu succes încălzirea cu curenți U.H.F. sau S.H.F. prin impuls sau continue, dar înzestrată cu sistem de întrerupere automată. Pentru dirijarea eficientă cu astfel de aport de energie este necesar de cunoscut puterea optimă a sursei interne de căldură, durata de aplicare și de repaus (relaxare).

Este de menționat că fenomenele transferului de masă și de căldură în procesul de uscare sunt nestaționare, proprietățile termofizice ale produsului sunt funcție dependentă de umiditatea și temperatura produsului, deci și rezolvarea problemei devine destul de dificilă. Toate acestea se complică și prin prezența transformărilor

de fază lichid – abur. În unele cazuri, în produs au loc procese inverse – condensarea vaporilor (distribuirii neuniforme esențiale a câmpului de temperaturi), aceasta se întâmplă, de regulă, în cazul în care lungimea de undă a câmpului electromagnetic este cu mult mai mică decât dimensiunile caracteristice ale materialului supus tratării termice.

Problema poate fi rezolvată numai în cazul în care sunt bine cunoscute câmpurile de temperatură și de umiditate în produsul studiat sau legăturile variației acestora.

Cinetica procesului de uscare va fi prezentată cu ajutorul sistemului de ecuații ale lui Likov A.V. pentru cazul aplicării sursei interne de căldură:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\varepsilon \cdot r}{c} \cdot \frac{\partial u}{\partial \tau} + \frac{Q_V}{c \cdot \rho} \quad (4.01)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \delta \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \right) + \varepsilon \frac{\partial u}{\partial \tau} \quad (4.02)$$

$$\frac{\partial p}{\partial \tau} = a_p \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\varepsilon}{c_b} \cdot \frac{\partial u}{\partial \tau} \quad (4.03)$$

în care a este coeficientul de difuziune de temperatură, în m^2/s ;

ε – criteriul transformării de fază;

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

c – capacitatea termică specifică, în $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

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

u – umiditatea, în %;

a_m – coeficientul de difuziune de potențial, în m^2/s ;

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

a_p – coeficientul difuziei molare, în m^2/s ;

c_p – capacitatea specifică masică, în $\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{M})$;

Q_V – sursa internă de căldură, în W/m^3 ;

Condițiile limită sunt următoarele:

$$\frac{dT}{dx}(0, \tau) = f(\tau); \quad T(x, 0) = \psi(x) \quad (4.04)$$

$$\frac{du}{dx}(0, \tau) = f_u(\tau); \quad u(x, 0) = \psi_u(x) \quad (4.05)$$

$$\frac{dp}{dx}(0, \tau) = f_p(\tau); \quad p(x, 0) = \psi_p(x) \quad (4.06)$$

Cinetica procesului de uscare poate fi divizată în trei etape: prima etapă – are loc stabilirea regimului staționar al parametrilor de uscare; a doua etapă – vitezei constante de uscare și a treia etapă – vitezei de uscare în scădere. Particularitățile acestor etape sunt bine descrise în literatură [130, 131, 160, 216, 273].

În perioada de încălzire a produsului, o parte din energia aplicată se consumă la încălzire și alta – la transferurile de fază. Este de menționat că cota de energie consumată la transferul de fază la sfârșitul etapei este maximă.

La momentul actual, există multiple metode de rezolvare a derivatelor parțiale: metoda de rezolvare a variabilelor, metoda sursei, metodele operaționale Laplace, Furie, Deir, Grinberg, integrarea Gudmen, integrarea iterativă, folosirea proprietăților funcției δ ș.a. [115, 188, 214, 217].

După părerea noastră, pentru rezolvarea problemei la încălzirea impulsională cu surse interne cele mai optime sunt două metode: metoda sursei și folosirea proprietăților funcției δ . Ne vom opri la metoda sursei, ca cea mai optimă pentru cazul folosirii sursei interne de căldură în formă de impulsuri.

Admitem, că $T(\xi, \tau)$ este rezolvarea ecuației. Atunci:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau}(\tau) = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{Q_v}{c \cdot \rho} + \varepsilon \cdot r \cdot \frac{\partial U}{\partial \tau}. \quad (4.07)$$

Acțiunea sursei interne elementare într-un corp, în cazul fluxului de căldură unidimensional, se descrie cu funcția numită funcție a sursei pe o dreaptă infinită $G(x, \xi, \tau' - \tau)$ [64, 115]:

$$G(x, \xi, \tau' - \tau) = \frac{1}{2\sqrt{\pi a(\tau' - \tau)}} \left[e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4a(\tau' - \tau)}} - e^{-\frac{(x+\xi)^2}{4a(\tau' - \tau)}} \right]. \quad (4.08)$$

în care ξ este coordonata spațială în care s-a aplicat sursa de căldură

Q_V , în m;

x – coordonata spațială în care are loc monitorizarea câmpului de temperaturi, în m;

τ – momentul de timp la care s-a aplicat sursa de căldură Q_V , în s;

τ' – momentul de timp la care a avut loc monitorizarea câmpului de temperaturi, în s.

Atunci, derivata parțială din $\frac{\partial}{\partial \tau}(GT)$ va fi:

$$\frac{\partial}{\partial \tau}(GT) = G \frac{\partial T}{\partial \tau} + T \frac{\partial G}{\partial \tau}. \quad (4.09)$$

Luând în considerație ecuația (4.07) și relația $\frac{\partial G}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 G}{\partial x^2}$

ecuația (4.09) poate fi prezentată în forma:

$$\frac{\partial}{\partial \tau}(GT) = a \left[G \frac{\partial^2 T}{\partial \xi^2} - T \frac{\partial^2 G}{\partial \xi^2} \right] + \frac{GQ^*}{c\rho} + \frac{\varepsilon \cdot r}{c} \left[G \frac{\partial u}{\partial \tau} - u \frac{\partial G}{\partial \tau} \right]. \quad (4.10)$$

Dacă de integrat ecuația (4.10) în limitele pentru ξ de la 0 până la ∞ și pentru τ de la 0 până la $\tau' - \alpha$, în care $0 < \alpha < \tau'$, atunci obținem:

$$\begin{aligned}
 & \int_0^{\infty} (GT)_{\tau=\tau'-\alpha} d\xi - \int_0^{\infty} (Gt)_{\tau=0} d\xi = a \int_0^{\tau'-\alpha} d\tau \int_0^{\infty} \left(G \frac{\partial^2 T}{\partial \xi^2} - T \frac{\partial^2 G}{\partial \xi^2} \right) d\xi + \\
 & + \int_0^{\tau'-\alpha} d\tau \int_0^{\infty} G \frac{Q}{c\rho} d\xi + \frac{\mathcal{E}\tau}{c} \left[\int_0^{\infty} (Gu)_{\tau=\tau'-\alpha} d\xi - \int_0^{\infty} (Gu)_{\tau=0} d\xi \right] = \\
 & = a \int_0^{\tau'-\alpha} \left\{ \left(G \frac{\partial T}{\partial \xi} \right) \Big|_0^{\infty} - \left(T \frac{\partial G}{\partial \xi} \right) \Big|_0^{\infty} - \int_0^{\infty} \left[\frac{\partial G}{\partial \xi} \cdot \frac{\partial T}{\partial \xi} - \frac{\partial T}{\partial \xi} \cdot \frac{\partial G}{\partial \xi} \right] d\xi \right\} d\tau + \\
 & + \int_0^{\tau'-\alpha} d\tau \int_0^{\infty} Q \frac{Q}{c\rho} d\xi + \frac{\mathcal{E}\tau}{c} \left[\int_0^{\infty} (Gu)_{\tau=\tau'-\alpha} d\xi - \int_0^{\infty} (Gu)_{\tau=0} d\xi \right]
 \end{aligned} \tag{4.11}$$

Dacă nu de luat în considerație creșterile valorilor T și $\frac{\partial T}{\partial \xi}$ pentru cazul când $\xi \rightarrow \infty$ noi vom obține niște rezultate fizic nejustificate. În caz contrar, dacă se acceptă limitele suprapuse creșterii funcției și derivata ei obținem:

$$\begin{aligned}
 & \int_0^{\infty} (GT)_{\tau=\tau'-\alpha} d\xi = \int_0^{\infty} (GT)_{\tau=0} d\xi - a \int_0^{\tau'-\alpha} \left(T \frac{\partial G}{\partial \xi} \right)_{\xi=0} + \int_0^{\tau'-\alpha} d\tau \int_0^{\infty} G \frac{Q}{c\rho} d\xi + \\
 & + \frac{\mathcal{E}\tau}{c} \left[\int_0^{\infty} (Gu)_{\tau=\tau'-\alpha} d\xi - \int_0^{\infty} (Gu)_{\tau=0} d\xi \right]
 \end{aligned} \tag{4.12}$$

În continuare trecem la limita pentru parametrul α . Dacă de acceptat $\alpha \rightarrow 0$, atunci:

$$\lim_{\alpha \rightarrow 0} \int_0^{\infty} (GT)_{\tau=\tau'-\alpha} d\xi = T(x, \tau), \tag{4.13}$$

deci:

$$\begin{aligned}
 T(x, \tau) = & \frac{1}{2\sqrt{\pi a \tau}} \int_0^\infty \psi(\xi) e^{-\frac{x^2}{4a\tau}} d\xi - \sqrt{\frac{a}{\pi}} \int_0^{\tau'} \frac{f(\tau)}{\sqrt{\tau' - \tau}} e^{-\frac{x^2}{4a(\tau' - \tau)}} dx + \\
 & + \frac{1}{2\sqrt{\pi a}} \int_0^{\tau'} \frac{d\tau}{\sqrt{\tau' - \tau}} \int_0^\infty \frac{Q}{c\rho} e^{-\frac{x^2}{4a(\tau' - \tau)}} dx + \frac{\varepsilon r}{c} \left[u(x, \tau) - \frac{1}{2\sqrt{\pi a_m \tau}} \int_0^\infty u(\xi) e^{-\frac{x^2}{4a(\tau' - \tau)}} dx \right]
 \end{aligned}
 \tag{4.14}$$

Dacă de admis temperatura inițială $\psi(\xi) = T_0$, iar $\frac{dT}{dx} = T_x = \varphi(\tau) = -\frac{\alpha}{\lambda}(T_P - T_C)$, și dacă în perioada activă admitem $\frac{Q}{c\rho} = const \neq 0$ iar în pasivă egală cu „zero”, atunci (4.14) poate fi prezentată în forma:

$$\begin{aligned}
 T(x, \tau) = & \frac{T}{4} \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}}\right) + \sqrt{\frac{a}{\pi}} \int_0^{\tau'} \frac{\alpha (T_P - T_C)}{\lambda \sqrt{\tau' - \tau}} e^{-\frac{x^2}{4a(\tau' - \tau)}} d\tau + \\
 & + \frac{1}{2\sqrt{\pi a}} \int_0^{\tau'} \frac{d\tau}{\sqrt{\tau' - \tau}} \int_0^\infty \frac{Q}{c\rho} e^{-\frac{x^2}{4a(\tau' - \tau)}} dx + \frac{\varepsilon r}{c} \left[u(x, \tau) - u_o \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{a_m \tau}} \right]
 \end{aligned}
 \tag{4.15}$$

În perioada vitezei constante de uscare transferul de umiditate în mare măsură este funcție dependentă de gradientul de temperatură și gradientul de presiune. Pentru cazul când conținutul de umiditate este critic (în microcapilarele produsului este multă umiditate), aceste gradientele sunt similare și îndreptate în aceeași direcție. Valorile maxime ale gradientelor menționate pot fi determinate prin analiza formulei 4.15 la extreme.

$$\begin{aligned}
 \frac{dT}{dx}(x, \tau) = & \frac{T_0}{2\sqrt{\pi a \tau}} e^{-\frac{x^2}{2a\tau}} - \frac{1}{2\sqrt{\pi a}} \int_0^{\tau'} \frac{f(\tau)}{\tau^{3/2}} d\tau + \\
 & + \frac{x}{2\sqrt{\pi a}} \int_0^{\tau'} \frac{f(\tau)}{\tau^{3/2}} e^{-\frac{x^2}{4a\tau}} \left(-\frac{2x}{4a\tau} \right) d\tau + \frac{1}{2\sqrt{\pi a}} \int_0^{\tau'} \frac{dt}{\sqrt{\tau}} \frac{Q}{c\rho} e^{-\frac{x^2}{4a\tau}} d\tau = 0
 \end{aligned}
 \tag{4.16}$$

$$\begin{aligned} \frac{T_0}{\sqrt{\tau}} e^{-\frac{x^2}{4a\tau}} - \int_0^{\tau'} \frac{f(\tau)}{\tau^{3/2}} e^{-\frac{x^2}{4a\tau}} d\tau - \frac{x^2}{2ac} \int_0^{\tau'} \frac{f(\tau)}{\tau^{5/2}} e^{-\frac{x^2}{4a\tau}} d\tau - \\ - \int_0^{\tau'} \frac{f(\tau)}{\sqrt{\tau}} \frac{Q}{c\rho} e^{-\frac{x^2}{4a\tau}} d\tau = 0 \end{aligned} \quad (4.17)$$

În acest caz:

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dx}(x, \tau) = \frac{T_0}{2\sqrt{\pi a \tau}} e^{-\frac{x^2}{4a\tau}} + \sqrt{\frac{a}{\pi}} \int_0^{\tau'} \frac{\alpha}{\lambda} \frac{\Delta T}{\sqrt{\tau' - \tau}} e^{-\frac{x^2}{4a\tau}} \left(-\frac{2x}{4a\tau} \right) d\tau + \\ + \frac{1}{2\sqrt{\pi a}} \int_0^{\tau'} \frac{1}{\sqrt{\tau' - \tau}} \frac{Q}{c\rho} e^{-\frac{x^2}{4a(\tau' - \tau)}} d\tau \end{aligned} \quad (4.18)$$

Dacă de luat în considerație că temperatura, inițial, influențează slab gradientul de temperatură din straturile interne ale

materialului, atunci se poate de admis că $\frac{T_0}{2\sqrt{\pi a \tau}} e^{-\frac{x^2}{4a\tau}} \approx 0$, și:

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\tau}(\text{grad}T) = \sqrt{\frac{a}{\pi}} \cdot \frac{\alpha}{\lambda} \cdot \frac{\Delta T}{\sqrt{\tau' - \tau}} e^{-\frac{x^2}{4a\tau}} \left(-\frac{2x}{4a\tau} \right) + \frac{1}{2\sqrt{a\pi}} \cdot \frac{Q_V}{c\rho} \cdot \frac{e^{-\frac{x^2}{4a(\tau' - \tau)}}}{\sqrt{(\tau' - \tau)}} = \\ = \sqrt{a} \cdot \frac{\alpha}{\lambda} \cdot \frac{\Delta T}{\sqrt{\tau' - \tau}} \left(-\frac{2x}{4a\tau} \right) + \frac{1}{2\sqrt{a}} \cdot \frac{Q_V}{c\rho} = 0. \end{aligned} \quad (4.19)$$

De aici reiese:

$$\sqrt{a} \frac{\alpha}{\lambda} \Delta T \left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{x}{a\tau} \right) + \frac{Q_V}{2\sqrt{a} \cdot c\rho} = 0, \quad (4.20)$$

$$\sqrt{a} \frac{\alpha}{\lambda} \Delta T \frac{x}{a\tau} = \frac{Q_V}{\sqrt{a} \cdot c\rho}, \quad (4.21)$$

De aici, durata de încălzire pe parcursul unui impuls τ_A v-a fi:

$$\tau_A = \frac{\alpha}{\lambda} \cdot \frac{c\rho x}{Q_V} \Delta T = \frac{\alpha}{\lambda} \cdot \frac{c\rho d}{2Q_V} (T_S - T_M). \quad (4.22)$$

în care α este coeficientul de transfer de căldură, în W/m·K;
 λ – coeficientul de conductibilitate termică, în W/m·K;
 d – dimensiune caracteristică a materialului, în m;
 Q_V – puterea sursei interne de căldură, W/m³;
 T_S – temperatura suprafeței materialului, în K;
 T_M – temperatura mediului, în K .

Deci, în scopul obținerii unui gradient de temperatură maxim în procesul tratării termice în câmp electromagnetic, durata activă de încălzire a produsului poate fi determinată cu formula (4.22). Anume în perioada τ_A , gradientul de temperatură atinge valoarea sa maximă. În continuare gradientul de temperatură va începe să scadă, deci nu este rațional de continuat încălzirea materialului, ceea ce poate conduce numai la diminuarea indicilor calitativi ai acestuia.

După deconectarea sursei interne de căldură, gradientul de temperatură scade încontinuu conform unei oarecare legi dependente de proprietățile termofizice ale materialului și mediului ambiant., Valoarea numerică a gradientului de temperaturi, în această perioadă, tinde spre „zero” la o durată infinită de timp. De aceea, determinarea duratei de repaus, reieșind din analiza comportării gradientului de temperatură în perioada lipsei sursei de energie, este destul de dificilă.

Este cunoscut că, la uscarea în câmpuri electromagnetice de frecvență înaltă sau supraînaltă, gradientul de umiditate este îndreptat de la centrul materialului spre straturile exterioare [120, 133, 153, 160, 161, 186, 216, 221, 233, 273, 277, 299]. Însă, în unele condiții specifice, distribuția umidității poate avea un caracter invers – la suprafața materialului se acumulează umiditate mai multă decât în centru, deci gradientul concentrației de umiditate este îndreptat de la suprafață înspre centru și opune rezistență transferului de umiditate la suprafață. Aceasta se datorează nu numai difuziei umidității, dar, în special, prezenței sursei de abur în interiorul materialului.

Evaporarea apei are loc în tot volumul, numai că în centru are loc mai intensiv de cât la suprafață.

Viteza de vaporizare a apei este mult mai mare decât viteza transferului de abur prin capilarele materialului. Ca rezultat, apare gradientul de presiune, care, datorită temperaturii sporite în centrul materialului, este însoțit de difuzia prin alunecare în macrocapilare și de efuziunea aerului în microcapilare. La prezența în material a umidității libere, gradientul de presiune este forța motrice principală a transferului de abur la suprafața produsului [130, 213, 299].

Distribuirea temperaturii pe grosimea stratului de material este descrisă de o parabolă, pe când a presiunii este diferită: în centru corespunde valorii maxime, iar la periferie – presiunii din camera de uscare.

La întreruperea sursei de căldură, presiunea excedentară se relaxează rapid conform unei funcții exponențiale, ceea ce confirmă încă odată rezistența majoră a deplasării molară a amestecului de abur în material. Relaxarea rapidă este și consecință a condensării vaporilor de apă în lipsa sursei de căldură, ceea ce în unele cazuri poate provoca chiar și crearea de vacuum.

Deci durata de relaxare (de lipsă a sursei interne de căldură) este rațional de a fi determinată în urma analizei câmpului de presiune în produs.

După deconectarea sursei de căldură, cota de umiditate eliminată din contul transferului de fază se reduce (putem admite că $\mathcal{E} = 0$) și gradientul de presiune creat în interiorul materialului se relaxează. În perioada de relaxare a presiunii, umiditatea se elimină din material fără transferul de fază „lichid – abur” numai datorită extruziunii mecanice sub acțiunea presiunii excedente din interiorul materialului.

Câmpul de presiuni din material este descris de a treia ecuație din sistemul de ecuații diferențiale ale lui Likov A. V. , deci, ecuația (4.03) va fi prezentată în modul următor:

$$\frac{\partial p}{\partial \tau} = a_p \frac{\partial P}{\partial x} \quad (4.23)$$

Pentru rezolvarea acestei ecuații admitem condițiile inițiale:

$$p(x,0) = p(x), \quad (4.24)$$

și condițiile de frontieră:

$$p(0, \tau) = 0 \quad (4.25)$$

Folosind aceeași metodă a sursei obține următoarea rezolvare a ecuației (4.23):

$$p = \frac{1}{2\sqrt{a_p \pi \tau}} \int_0^{\infty} p(x) e^{-\frac{x^2}{4a_p \tau}} dx \quad (4.26)$$

Din ecuația (4.26) determinăm gradientul de presiune în material:

$$\frac{dp}{dx} = \frac{1}{2\sqrt{a_p \pi \tau}} p(x) e^{-\frac{x^2}{4a_p \tau}}. \quad (4.27)$$

Determinăm extremul gradientului de presiune pentru etapa de relaxare (de lipsă a sursei de căldură) și anume cazul în care el se va egala cu „zero”:

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\tau} \text{grad}P &= -\frac{1}{4\sqrt{a_p \pi \tau^3}} p(x) e^{-\frac{x^2}{4a_p \tau}} + \\ &+ \frac{1}{2\sqrt{a_p \pi \tau}} p(x) e^{-\frac{x^2}{4a_p \tau}} \left(\frac{x^2}{4a_p \tau^2} \right) = 0 \end{aligned} \quad (4.28)$$

Din (4.28), cu unele mici modificări, obținem durata de timp de la deconectarea sursei de căldură până la dispariția gradientului de presiune în product:

$$\tau_p = \frac{x^2}{2a_p} = \frac{d^2}{8a_p}. \quad (4.29)$$

în care d este grosimea stratului de material, în m.

Durata de repaus nu trebuie să depășească timpul calculat cu formula (4.29), deoarece lipsa gradientului de presiune reduce esențial viteza de uscare, iar formarea vidului în produs provoacă absorbția umidității din zona de frontieră.

Pentru majoritatea materialelor, coeficientul difuziei molare este necunoscut, de aceea se propune metoda determinării acestui parametru fizic pentru un spectru larg de produse.

Coeficientul difuziei molare a_p este foarte dificil de determinat prin metoda analitică, în schimb poate fi obținut ușor în baza studiului relaxării presiunii în produs. În perioada de relaxare a presiunii, putem admite coeficientul transferului de fază $\mathcal{E} = 0$. Pentru aceasta, rezolvăm ecuația a treia din sistemul de ecuații diferențiale ale lui Lîkov A. V. de forma prezentată în (4.23).

Admitem următoarele condiții limită:

$$P(x,0) = f(x), \quad P(R, \tau) = 0. \quad (4.30)$$

Luând în considerație (2.30) rezolvarea ecuației se va scrie în modul următor:

$$P = \frac{1}{2\sqrt{a_p\pi\tau}} \int_0^\infty P(x) e^{-\frac{x^2}{4a\tau}} d\xi. \quad (4.31)$$

Integrala (4.31) poate fi rezolvată prin descompunerea în șirul Furie:

$$P = \frac{2}{R} \sum_{n=1}^\infty \sin \frac{\pi n \tau}{e} \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2 a_p \tau}{R^2}\right). \quad (4.32)$$

Pentru intervale mici ale raportului $\frac{a\tau}{R^2} \geq 0,1$ se poate de limitat numai la primul membru al șirului:

$$P \approx \exp\left(-\frac{\pi^2 a_m \tau}{4R^2}\right). \quad (4.33)$$

Din (4.33) obținem:

$$a_p = \frac{4R^2}{\pi^2} \left(\frac{\ln P_2 - \ln P_1}{\tau_2 - \tau_1} \right) \quad (4.34)$$

În baza curbelor de relaxare, se poate de determinat valoarea coeficientului de difuzie prin convecție, deci se poate de calculat curba de uscare în a doua perioadă.

Cinetica procesului de transfer de masă și de căldură poate fi calculată cu ajutorul ecuațiilor (4.01) și (4.02).

Din ecuația (4.01) obținem relația:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \left[\frac{\partial T}{\partial \tau} - \frac{\varepsilon r}{c} \cdot \frac{\partial u}{\partial \tau} - \frac{Q_v}{c\rho} \right] \frac{1}{a}. \quad (4.35)$$

Înlocuim ecuația (4.35) în (4.02):

$$(1 - \varepsilon) \frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{a_m}{a} \delta \left[\frac{\partial T}{\partial \tau} - \frac{\varepsilon r}{c} \cdot \frac{\partial u}{\partial \tau} - \frac{Q_v}{c\rho} \right]. \quad (4.36)$$

În perioada de relaxare, când sursa internă de căldură lipsește și $\varepsilon = 0$, formula (4.36) va obține următoarea formă:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{a_m}{a} \delta \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (4.37)$$

În perioada de aplicare a sursei interne de căldură, când $Q_v \neq 0$ și $\varepsilon \neq 0$:

$$\left(1 - \varepsilon + \frac{\varepsilon r}{c} \cdot \frac{a_m \delta}{a} \right) \frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{a_m \delta}{a} \left[\frac{\partial T}{\partial \tau} - \frac{Q_v}{c\rho} \right], \quad (4.38)$$

sau:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = \frac{a_m}{\left(1 - \varepsilon + \frac{\varepsilon r}{c} \cdot \frac{a_m \delta}{a} \right)} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{a_m \delta \left[\frac{\partial T}{\partial \tau} - \frac{Q_v}{c\rho} \right]}{a \left(1 - \varepsilon + \frac{\varepsilon r}{c} \cdot \frac{a_m \delta}{a} \right)} = f(\xi, \tau) \quad (4.39)$$

Ecuția obținută poate fi prezentată în forma:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a^* \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + f(\xi, \tau) \quad (4.40)$$

Această problemă poate fi de asemenea rezolvată cu ajutorul funcției sursei $G(x, \tau, \xi)$:

$$\frac{\partial G_\tau}{\partial \tau} = -a^* \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} \quad (4.41)$$

Derivata parțială al lui G_u în funcție de timp poate fi descrisă în forma:

$$\frac{\partial}{\partial \tau}(Gu) = u \frac{\partial G}{\partial \tau} + G \frac{\partial u}{\partial \tau} \quad (4.42)$$

Înlocuim (4.40) și (4.41) în (4.42) și obținem:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \tau}(Gu) &= -ua^* \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} + G \left[a^* \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + f(\xi, \tau) \right] = \\ &= a^* \left[G \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - u \frac{\partial^2 G}{\partial \xi^2} \right] + Gf(\xi, \tau). \end{aligned} \quad (4.43)$$

Integrăm ecuația (2.40) după x în limitele de la 0 până la ∞ și după τ în limitele de la 0 până la $t-\alpha$, în care α variază în limitele $0 < \alpha < \tau$. Totodată admitem limite ale creșterii funcției și a derivatei și obținem:

$$\begin{aligned} \int_0^\infty \left(G \frac{\partial u}{\partial \tau} \right)_{\tau=t-\alpha} d\xi &= \int_0^\infty (Gu)_{\tau=0} d\xi + \int_0^{t-\alpha} d\tau \int_0^\infty Gf(\xi, \tau) \xi + \\ &+ a^* \int_0^{t-\alpha} \int_0^\infty \left[G \frac{\partial^2 u}{\partial \xi^2} - u \frac{\partial^2 G}{\partial \xi^2} \right] d\xi d\tau. \end{aligned} \quad (4.44)$$

Admitem condițiile de frontieră $u(0, \tau) = \varphi(\tau)$, $u(x, 0) = \psi(x)$ și obținem:

$$u(x, \tau) = \frac{1}{2\sqrt{\pi a^* \tau}} \int_0^\infty \psi(\xi) e^{-\frac{x^2}{4a^* \tau}} dx + \frac{x}{2\sqrt{\pi a^*}} \int_0^t \varphi(\tau) e^{-\frac{x^2}{4a^* \tau}} d\tau + \frac{1}{2\sqrt{\pi a^*}} \int_0^t \frac{d\tau}{\sqrt{t-\tau}} \int_0^\infty f(\xi, \tau) e^{-\frac{x^2}{4a^* \tau}} dx. \quad (4.45)$$

Ecuția (4.45), după formă, diferă puțin de relația (4.15), deoarece au fost aplicate diferite condiții de frontieră. În ultimul caz, se admite temperatura la suprafață, dar în primul – derivata parametrului studiat.

Pentru cazul lipsei sursei interne de căldură, ecuația (4.45) obține forma:

$$u(x, \tau) = \frac{1}{2\sqrt{\pi a^* \tau}} \int_0^\infty \psi(\xi) e^{-\frac{x^2}{4a^* \tau}} dx + \frac{x}{2\sqrt{\pi a^*}} \int_0^t \varphi(\tau) e^{-\frac{x^2}{4a^* \tau}} d\tau. \quad (4.46)$$

Admitem că umiditatea inițială $u(x, 0) = \psi(x) = u_0$ constantă în volum, sursa internă de căldură și proprietățile termofizice ale produsului sunt constante și se egalează cu valorile sale medii. Atunci relația (4.45) poate fi prezentată în forma următoare:

$$u(x, \tau) = \frac{u_0}{2\sqrt{\pi a^* \tau}} \left(x - \frac{2x^3}{12a^* \tau} \right) \Big|_0^e + \frac{x}{2\sqrt{\pi a^*}} \int_0^\tau u_0 e^{-m\tau} \left(1 - \frac{2x^2}{4a^* \tau} \right) d\tau + \frac{1}{2\sqrt{\pi a^*}} f \int_0^t \frac{1}{\sqrt{\tau}} \left(x - \frac{x^3}{6a^* \tau} \right) d\tau. \quad (4.47)$$

Acceptând valori medii ale parametrilor termofizici în limitele studiate, se poate de obținut parametrii procesului (temperatura și umiditatea).

Viteză maximă de uscare este posibil de atins numai în prezența gradientelor mari ale transferului (de temperatură, de umiditate și de presiune). Folosirea la maxim a „efectului de pompă” la transferul umidității în produs este posibilă cu condiția că, în perioada activă (de prezență a sursei interne de căldură) se obține gradientul de temperatură maxim. Durata de repaus (de lipsă a sursei

interne de căldură) se determină cu formula (4.23). La depășirea acestei durate, viteza de uscare va scădea rapid drept consecință a reducerii esențiale a valorilor gradientelor menționate.

Regimul cel mai rațional de uscare a produselor complexe eterogene, în particular a celor oleaginoase, la aplicarea sursei interne de căldură, se recomandă următorul: produsul se încălzește până la atingerea valorii maxime a gradientului de temperatură (durata de timp se determină cu formula 4.22) și mai apoi sursa internă de căldură se deconectează pe o durată de timp calculată cu formula (4.23). După aceasta, ciclul se repetă multiplu până la umiditatea finală, corespunzătoare procesului tehnologic.

Verificarea caracterului adecvat al modelului matematic elaborat pentru determinarea duratei de timp la care se obține gradientul de temperatură maxim (4.22) cu funcțiile de regresie elaborate în baza datelor experimentale (fig. 4.10) a fost realizată conform criteriului Student [291].

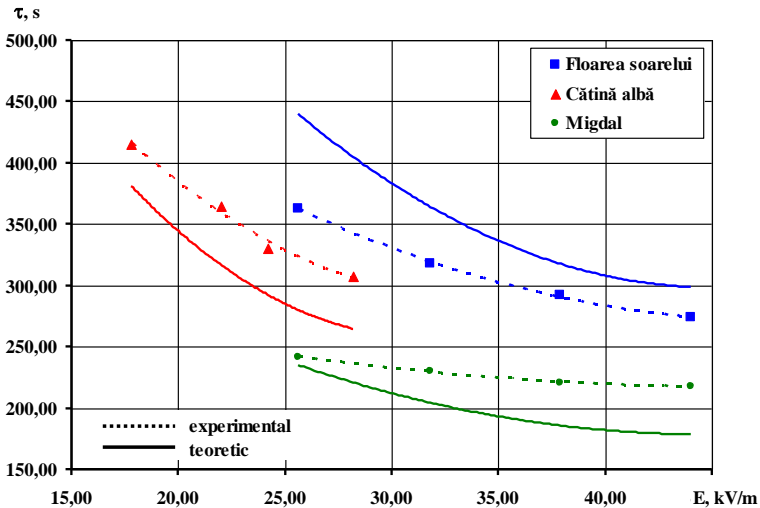


Fig. 4.11. Variația duratei de încălzire până la atingerea gradientului de temperatură valori maxime în funcție de E obținută în baza datelor experimentale (linii întrerupte) și în baza calculului teoretic (linie continue).

Astfel, în urma verificării caracterului adecvat, s-a obținut: pentru semințele de floarea-soarelui criteriul Student calculat $t_C = 1,21$, pentru cățina albă – $1,23$ și pentru miezul de sâmbure de migdal – $1,89$.

Condiția caracterului adecvat este inegalitatea $t_C < t_T$, în care t_T este valoarea tabelată a criteriului Student [292]. Conform tabelului valorilor criteriului Student pentru gradul de libertate 3 ($n - 1$) funcția matematică (4.22) descrie adecvat durata de încălzire până la obținerea gradientului de temperatură maxim cu o precizie de până la 20 % pentru cazul semințelor de floarea-soarelui și cătinii albe ($p \leq 0,1$; $t_T = 1,63$) și până la 10 % pentru miezul de sâmbure de migdal ($p \leq 0,2$; $t_T = 2,35$).

În fig. 4.11 sunt prezentate curbele dependenței duratei de încălzire până la atingerea gradientului de temperatură valori maxime de intensitatea câmpului electromagnetic, obținute în baza datelor experimentale și în baza calculului teoretic.

Din grafice, se observă că curbele obținute în baza calculului conform formulei 4.22 poartă același caracter ca și curbele obținute în baza datelor experimentale. Deci, conform criteriului Student și graficelor din figura 4.11, se poate confirma cu certitudine că este modelul matematic adecvat datelor experimentale și poate fi folosit în calcule inginerești la elaborarea procedeelor de uscare a produselor oleaginoase.

4.3. Determinarea intensității optime a câmpului electromagnetic la aplicarea prin impuls a sursei interne de căldură la uscarea produselor oleaginoase

Calitatea produselor finite depinde în mare măsură de parametrii regimului termic la care au fost supuse, și anume temperatura și durata de acționare. La încălzirea în câmp electromagnetic, temperatura produsului este funcție dependentă de intensitatea și frecvența câmpului electromagnetic, de proprietățile electrofizice și termofizice ale produsului și de distribuția inițială a câmpului de temperaturi.

Anterior, s-a determinat durata de încălzire a produsului în volum, cu scopul obținerii unui gradient de temperatură maxim care favorizează transferul de umiditate la uscare. Important este ca acest gradient de temperatură să se obțină la temperaturi ale produsului egale cu cele indicate de cerințele tehnologice către fiecare produs în parte.

Din formula (4.22) observăm că durata aplicării energiei câmpului electromagnetic în scopul obținerii gradientului de temperatură maxim este funcție dependentă de intensitatea câmpului electromagnetic E . Totodată, intensitatea câmpului electromagnetic influențează și valoarea numerică a temperaturii produsului, căpătată la finele duratei de tratare termică (la finele impulsului).

Deci, pentru a obține un gradient de temperatură maxim anume la temperatura dorită a produsului este necesar de determinat valoarea optimă a intensității câmpului electromagnetic.

Calculul E poate fi efectuat cu ajutorul primei ecuații diferențiale din sistemul Likov (formula 4.01).

Dacă de ignorat energia consumată la transformările de fază, atunci rezolvarea ecuației (4.01) va obține forma:

$$T(x, \tau) = \frac{T_0}{2\sqrt{\pi a \tau}} \int_0^{\infty} e^{-\frac{x^2}{4a\tau}} dx + \sqrt{\frac{a}{\pi}} \int_0^t f(\tau) e^{-\frac{x^2}{4a(t-\tau)}} d\tau + \frac{1}{2\sqrt{\pi a}} \cdot \frac{Q}{c\rho} \int_0^t \frac{d\tau}{\sqrt{t-\tau}} \int_0^{\infty} e^{-\frac{x^2}{4a(t-\tau)}} dx \quad (4.48)$$

Cum a fost menționat în capitolul 3, variația factorului de pierderi dielectrice k ($k = tg \delta \cdot \epsilon'$) este relativ mică și deci poate fi considerat constant. Atunci considerăm constantă și puterea sursei interne de căldură pe toată perioada de încălzire.

La încălzirea în volum, temperatura maximă se înregistrează în centrul produsului. De aceea, pentru a menține regimul termic în limitele indicate de cerințele tehnologice, pe noi ne va interesa numai temperatura din centrul produsului.

În acest caz, pentru $x = 0$, temperatura în centrul produsului se determină cu formula:

$$T(0, \tau) = T_0 - 2\sqrt{\frac{a}{\pi}} \int_0^\tau \frac{\alpha (T_S - T_M)}{\lambda \sqrt{(t - \tau)}} d\tau + \frac{1}{2\sqrt{\pi a}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{(t - \tau)}} \cdot \frac{Q_V R}{c\rho} d\tau \quad (4.49)$$

La valori mari ale coeficientului de cedare de căldură diferența $(T_S - T_M)$ poate fi ignorată și acceptată valoarea medie a temperaturii în perioada de încălzire. Atunci, integrarea formulei (4.48) după τ va fi:

$$T(0, \tau) = T_0 - 2\sqrt{\frac{a}{\pi}} \cdot \frac{\alpha}{\lambda} (T_S - T_M) \sqrt{\tau} + \frac{1}{4\sqrt{\pi a}} \cdot \frac{Q_V R \sqrt{\tau}}{c\rho}. \quad (4.50)$$

Înlocuim temperatura de la suprafața produsului T_P cu temperatura din centru T_C cu ajutorul relației cunoscute $\alpha(T_S - T_M) = \lambda \frac{T_C - T_M}{R}$ și înlocuim în (4.50):

$$T_C = T_0 - 2\sqrt{\frac{a}{\pi}} \cdot \frac{\alpha}{\lambda} \frac{(T_C - T_M)}{\left(1 + \frac{\alpha}{\lambda} R\right)} \sqrt{\tau} + \frac{1}{4\sqrt{\pi a}} \cdot \frac{Q_V R \sqrt{\tau}}{c\rho}. \quad (4.51)$$

Extrema cantității de căldură introduse în produs datorită sursei interne de căldură poate fi determinată în urma analizei funcției temperaturii în centrul produsului (4.51):

$$\frac{dT_C}{d\tau} = -\sqrt{\frac{a}{\pi}} \cdot \frac{\alpha}{\lambda} \frac{(T_C - T_M)}{\left(1 + \frac{\alpha}{\lambda} R\right) \sqrt{\tau}} + \frac{1}{8\sqrt{\pi a}} \cdot \frac{Q_V R}{c\rho \sqrt{\tau}} = 0 \quad (4.52)$$

Din (4.52) obținem:

$$Q_V = \frac{\alpha (T_C - T_M)}{R \left(1 + \frac{\alpha}{\lambda} R\right)} \quad (4.53)$$

Puterea sursei interne de căldură poate fi determinată și cu formula [2, 17]:

$$Q_V = 0.555 \cdot 10^{-6} \cdot f \cdot \varepsilon' \cdot tg\delta \cdot E^2 = 0.555 \cdot 10^{-6} \cdot f \cdot k \cdot E^2 \quad (4.54)$$

Rezolvarea ecuațiilor (4.53) și (4.54) în raport cu intensitatea câmpului electromagnetic, obținem:

$$E = \sqrt{\frac{\alpha(T_C - T_M)}{0.555 \cdot 10^{-6} \cdot f \cdot k \cdot R \left(1 + \frac{\alpha}{\lambda} R\right)}} \quad (4.55)$$

Astfel, la intensitatea câmpului electromagnetic, calculată cu formula 4,55, gradientul de temperatură obține valori maxime în cazul în care temperatura în centrul produsului atinge valoarea T_C , recomandată de cerințele tehnologice față de produs.

Aceeași caracter adecvat s-a obținut și referitor la modelul matematic pentru determinarea intensității câmpului electromagnetic la care gradientul maxim de temperatură se va obține la temperatura dorită a materialului (formula 4.55).

Verificarea caracterului adecvat al modelului matematic elaborat a fost realizată conform criteriului Student [291]. Astfel, pentru semințele de floarea-soarelui, criteriul Student calculat $T_C = 2,1$, pentru cățina albă – 1,4 și pentru miezul de sâmbure de migdal – 1,7. Conform tabelului valorilor criteriului Student, pentru gradul de libertate 3 ($n - 1$), funcția matematică (4.55) este adecvată funcțiilor experimentale (figura 4.11) cu o precizie de până la 20 % pentru cazul semințelor de floarea-soarelui și al cătinii albe ($p \leq 0,1$; $t_T = 2,131$) și până la 10 % pentru miezul de sâmbure de migdal ($p \leq 0,2$; $t_T = 1,64$).

În figura 4.12 sunt prezentate curbele dependenței temperaturii straturilor centrale ale produsului de intensitatea câmpului electromagnetic la momentul în care gradientul de temperatură obține valori maxime.

Din grafice se observă că curbele obținute în baza calculului conform formulei 4.22 poartă același caracter ca și curbele obținute în baza datelor experimentale. Deci, conform criteriului Student și graficelor din figura 4.12, se poate conchide că formula de calcul a intensității câmpului electromagnetic la care apare gradientul maxim de temperatură anume la temperatura dorită a straturilor centrale este adecvat datelor experimentale și poate fi folosit în calcule inginerești la elaborarea procedeeleor de uscare a produselor oleaginoase.

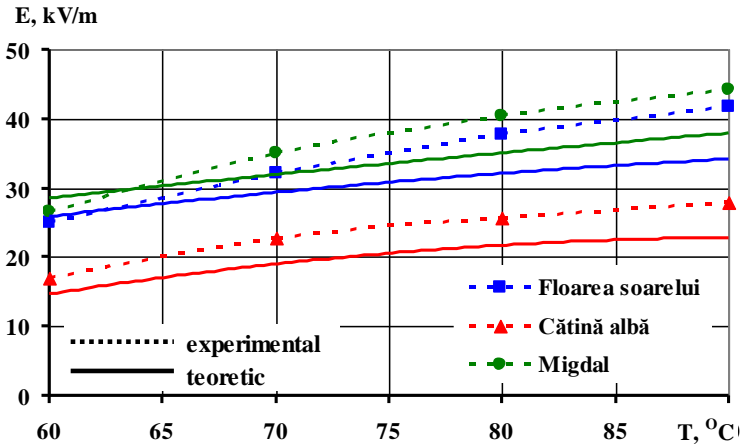


Fig. 4.12. Variația intensității câmpului electromagnetic de temperatura în centru produselor oleaginoase la care gradientul de temperatură atinge valori maxime obținută în baza datelor experimentale (linii întrerupte) și în baza calculului teoretic (linie continue).

4.4. Determinarea parametrilor optimi a impulsului discret de acționare electromagnetică asupra produselor oleaginoase în procesul de uscare.

În capitolele 4.1-4.3 a fost demonstrată posibilitatea și eficiența aplicării impulsionare a sursei interne de căldură la uscarea produselor oleaginoase.

În scopul optimizării procesului de uscare, în special a aportului de căldură în corespundere cu modificările proprietăților electrofizice și termofizice ale produsului pe parcursul uscării, conform modelelor matematice elaborate în capitolele 4.2 și 4.3, au fost calculate durata optimă de tratare termică (formula 4.22), de repaus (formula 4.29) și intensitatea optimă a câmpului electromagnetic (formula 4.55) în orice moment al procesului de uscare pentru diferite umidități ale produsului.

În figurile 4.13 ... 4.15 sunt prezentate funcțiile variației duratei de aplicare a sursei interne de căldură pe parcursul unui impuls, la care $\nabla\vec{T} = \max$ în funcție de: a) umiditatea produsului și b) intensitatea câmpului electromagnetic. După cum se observă din grafice, caracterul curbelor pentru toate produsele studiate (cățina albă – figura 4.13; miezul de sămbure de migdal – figura 4.14; semințele de floarea-soarelui – figura 4.15) este analogic.

Odată cu creșterea umidității produsului (figurele 4.13 a, 4.14 a și 4.15 a), durata de timp necesară pentru încălzirea acestor produse de la temperatura inițială, pe care o deținea în momentul conectării ulterioare a sursei interne de căldură, până la temperatura la care $\nabla\vec{T} = \max$. scade.

Astfel, durata de aport de energie pe parcursul unui impuls la încălzirea cătinii albe s-a redus de la 921 s la 4 % umiditate și $E = 17,8$ kV/m până la 99 s la 20 % umiditate și aceeași intensitate a agentului termic, deci procesul de tratare termică s-a intensificat de 9,3 ori. La intensitatea câmpului electromagnetic de 28,2 kV/m, durata de timp s-a redus de la 150 s ($W = 4\%$) până la 23 s ($W = 20\%$).

Aceeași tendință se observă și pentru celelalte produse oleaginoase studiate. Durata de tratare termică a miezului de sămbure de migdal în câmp U.H.F. de intensitatea 25,6 kV/m s-a redus de la 659 s ($W = 4\%$) până la 72 s ($W = 20\%$) și la intensitatea 44,0 kV/m – de la 56 s ($W = 4\%$) până la 14 s ($W = 20\%$). Durata de tratare termică a semințelor de floarea-soarelui la intensitatea 25,6 kV/m s-a redus de la 923 s ($W = 4\%$) până la 177 s ($W = 20\%$) și la intensitatea 44,0 kV/m – de la 83 s ($W = 4\%$) până la 37 s ($W = 20\%$).

Această scădere a duratei de timp este justificată prin faptul că, sub acțiunea câmpului electromagnetic, la creșterea umidității (cantității de molecule polare de apă) crește și degajarea de căldură din produs, deci creșterea atât a gradientului de temperatură, cât și a temperaturii în centrul produsului se accelerează. Totodată, observăm că, la umidități reduse ale produsului, durata de încălzire este destul de mare și eficacitatea procesului de uscare cauzată de aportul de energie prin impuls scade. Umiditatea la care nu mai are

sens aplicarea prin impuls a sursei interne de căldură poate fi depistată prin analiza raportului dintre durata impulsului și durata de uscare reală a produsului.

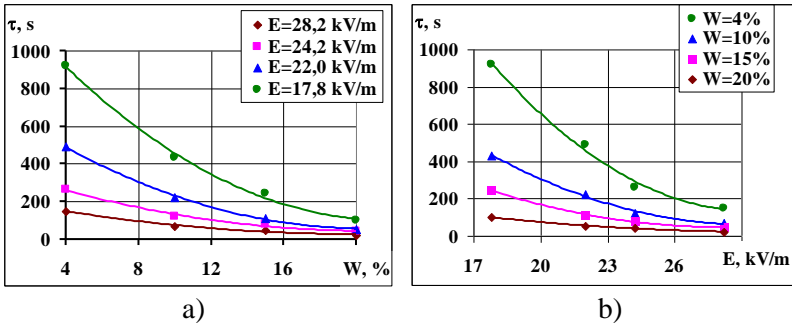


Fig. 4.13. Variația duratei de încălzire a cătinii albe până la obținerea gradientului de temperatură maximal în funcție de: a) umiditatea produsului; b) intensitatea câmpului electromagnetic.

Luând în considerație faptul, că tratările termice pe durate îndelungate de timp influențează negativ indicii calitativi ai produselor alimentare, în special a celor oleaginoase, graficele studiate ne indică un avantaj sporit aplicarea prin impuls a sursei de căldură anume la umidități înalte ale produsului, atunci când este suficientă o durată redusă de aport de energie.

Aceiași tendință de reducere a duratei aportului de energie pe parcursul impulsului se observă și la mărirea intensității câmpului electromagnetic (fig. 4.13 b; 4.14 b; 4.15 b). Cauza este aceeași, la mărirea intensității câmpului electromagnetic crește și cantitatea de căldură degajată în product, deci se reduce durata de încălzire pentru a atinge aceleași efecte: temperatura corespunzătoare a produsului și $\nabla \vec{T}_{\max}$. Durata maximă a aportului de energie pe parcursul unui impuls s-a obținut la valori minime studiate ale umidității (4%) și minime studiate ale intensității câmpului electromagnetic – pentru semințe de floarea-soarelui și miez de sămbure de migdal – 25,6 kV/m; pentru cătină albă – 17,8 kV/m).

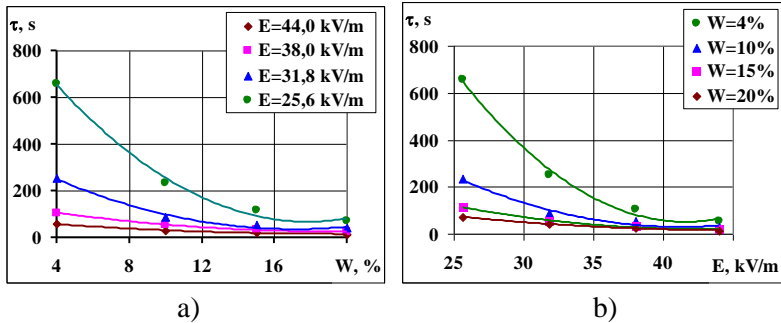


Fig. 4.14. Variația duratei de încălzire a miezului de sâmbure de migdal până la obținerea gradientului de temperatură maxim în funcție de: a) umiditatea produsului; b) intensitatea câmpului electromagnetic.

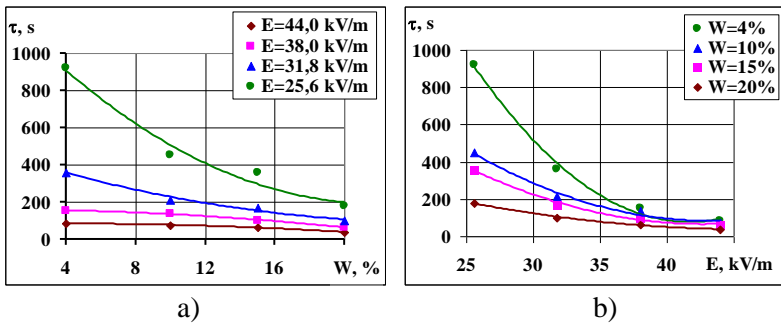


Fig. 4.15. Variația duratei de încălzire a semințelor de floarea-soarelui până la obținerea gradientului de temperatură maximal în funcție de: a) umiditatea produsului; b) intensitatea câmpului electromagnetic.

Graficele prezentate în figurile 4.13 ... 4.15 prezintă corelația duratei aportului sursei interne de căldură de: a) umiditatea produsului și b) intensitatea câmpului electromagnetic în parte, ceea ce provoacă unele dificultăți la automatizarea procesului de uscare. În acest scop, a fost obținută dependența generalizată complexă $\tau_A = f(E, W)$ la interacțiunea dintre funcțiile $\tau_A = f(W)$ și $\tau_A = f(E)$.

Pentru aceasta, s-au determinat funcțiile matematice ale graficelor dependențelor $\tau_A = f(W)$ (figurile 4.13 a; 4.14 a; 4.15 a) fiind prezentate ca parabole de ordinul 2.

$$\tau_A(W) = aW^2 + bW + c \quad (4.56)$$

în care a, b și c sunt coeficienți dependenți de intensitatea câmpului electromagnetic.

În baza funcțiilor matematice $\tau_A = f(W)$ obținute pentru fiecare intensitate a câmpului electromagnetic studiată în parte, au fost determinate funcțiile matematice $a = a(E)$, $b = b(E)$ și $c = c(E)$, care pot fi înlocuite în (4,56) și anume:

$$\tau_A(W, E) = a(E) \cdot W^2 + b(E) \cdot W + c(E) \quad (4.57)$$

Astfel, s-au obținut următoarele dependențe $\tau_A = f(E, W)$:

– pentru cățina albă

$$\tau_A(E, W) = (9.767 \cdot 10^{-3} E^2 - 0.662E + 11.323)W^2 + (-0.517E^2 + 33.064E - 538.553)W + (-109.093E + 3.191 \cdot 10^3) \quad (4.58)$$

– pentru miezul de sâmbure de migdal

$$\tau_A(E, W) = (-0.156E - 6.633)W^2 + (5.493E - 234.347)W + (-51.078E + 2.199 \cdot 10^3) \quad (4.59)$$

– pentru semințele de floarea-soarelui

$$\tau_A(E, W) = (0.518E^2 - 37.637E + 637.995)W^2 + (-13.812E^2 + 1.0.005 \cdot 10^3 E - 1.708 \cdot 10^4)W + (58.391E^2 - 4.28 \cdot 10^3 E + 7.38 \cdot 10^4) \quad (4.60)$$

Funcțiile generalizare 4.58...4.60 permit de a determina durata perioadei active (de încălzire în volum) în orice moment de timp al procesului de uscare a cătinii albe, a miezului de sâmbure de migdal și a semințelor de floarea-soarelui pentru cazul în care este cunoscută intensitatea câmpului electromagnetic și umiditatea produsului.

Cum s-a menționat anterior, la uscarea produselor umede în câmp UHF prin impuls, durata unui impuls de tratare termică este alcătuită din două perioade: perioada de încălzire și perioada de repaus (de relaxare). Interes major, din punct de vedere al completării teoriei fundamentale a fenomenelor de transfer de masă și de căldură în produsele capilare poroase umede, îl are și perioada de relaxare. În această perioadă, datorită deconectării sursei interne de căldură, are loc redistribuirea lentă spațială a câmpului de temperatură și de umiditate.

Variația duratei de relaxare pe parcursul unui impuls, în funcție de umiditatea produsului și de intensitatea câmpului electromagnetic cu care s-a acționat în momentul deconectării sursei interne de căldură, sunt prezentate în figurile 4.16 ... 4.18.

Graficele au fost obținute în baza modelului matematic, prezentat anterior (formula 4.29), care determină durata de timp necesară pentru ca presiunea din interiorul produsului, obținută în urma evaporării umidității la tratarea termică, să obțină valori nule. Coeficientul a_p a fost determinat experimental cu formula 4.34 pentru diferite umidități ale produsului și intensități ale câmpului electromagnetic.

Analiza graficelor din figurile 4.16-4.18 (a) indică că variația duratei necesare de relaxare în funcție de umiditatea produsului poartă același caracter pentru toate produsele oleaginoase studiate. Odată cu creșterea umidității, durata de relaxare scade conform unei legi parabolice, alura graficelor purtând o formă convexă.

Astfel, durata de relaxare a cătinii albe tratate termic în perioada activă într-un câmp cu intensitatea $E = 28,2$ kV/m a scăzut de la 53 s, la umiditatea de 4 %, până la 37 s, la umiditatea de 20 %, reducerea duratei de relaxare fiind de 1,43 ori (figura 4.16). După tratarea termică în perioada activă într-un câmp electromagnetic de 17,8 kV/m, aceeași variație a umidității a provocat reducerea duratei de relaxare de la 60 s până la 46 s – reducerea perioadei de relaxare fiind de 1,3 ori.

Tablou analogic se observă și la celelalte produse studiate: pentru tratarea termică preventivă în câmp electromagnetic cu $E = 44,0$ kV/m, odată cu creșterea umidității de la 4 % până la 20 %, durata de relaxare a miezului de sâmbure de migdal (figura 4.17 a)

s-a redus de la 36 s până la 22 s (de 1,63 ori) și a semințelor de floarea-soarelui (figura 4.18 a) – de la 54 s până la 37 s (de 1,46 ori); pentru tratarea termică preventivă în câmp electromagnetic cu $E = 25,6 \text{ kV/m}$, la aceeași variație a umidității, durata de relaxare a miezului de sâmbure de migdal s-a redus de la 58 s până la 33 s (de 1,75 ori) și a semințelor de floarea-soarelui – de la 43 s până la 35 s (de 1,22 ori).

Reducerea duratei de relaxare este cauzată de creșterea presiunii inițiale în interiorul produsului la momentul deconectării sursei interne de căldură, deci și a gradientului de presiune ∇P . Valorile înalte ale presiunii în interiorul produsului, la umidități mari ale acestuia, sunt consecință a doi factori: 1) creșterea temperaturii în perioada precedentă deconectării sursei de căldură datorită numărului sporit al moleculelor polare; 2) creșterea cantității de vapori de apă concentrați în același volum.

Gradientul de presiune înalt, fiind una din forțele motrice ale transferului de umiditate, accelerează eliminarea vaporilor de apă prin capilare în exterior, astfel reducând durata de timp necesară procesului de relaxare.

Durata de relaxare este în scădere și la mărirea intensității câmpului electromagnetic în perioada precedentă, de tratare termică.

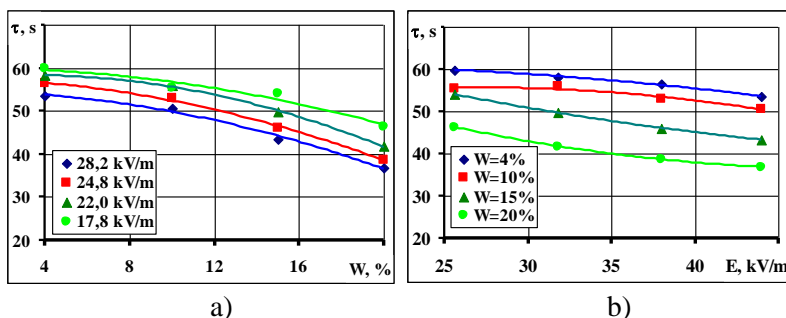


Fig. 4.16. Variația duratei de relaxare a cătinii albe în funcție de: a) umiditatea produsului; b) intensitatea câmpului electromagnetic la care au fost încălzite.

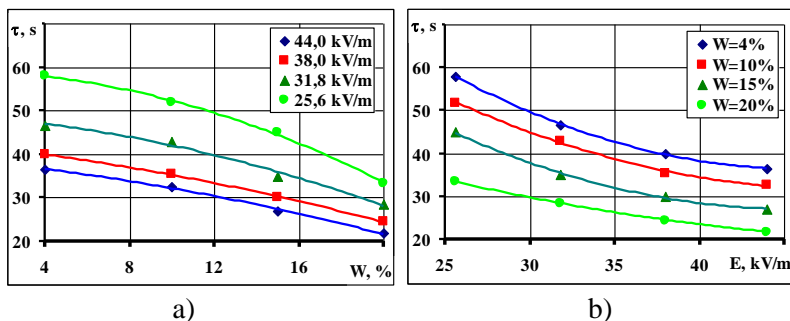


Fig. 4.17. Variația duratei de relaxare a miezului de sâmbure de migdal în funcție de: a) umiditatea produsului; b) intensitatea câmpului electromagnetic la care au fost încălzite.

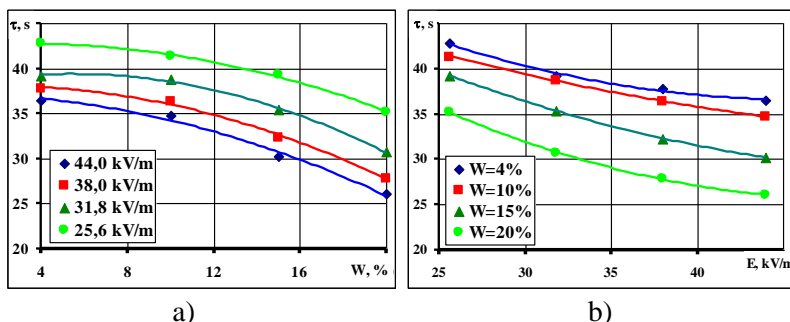


Fig. 4.18. Variația duratei de relaxare a semințelor de floarea-soarelui în funcție de: a) umiditatea produsului; b) intensitatea câmpului electromagnetic la care au fost încălzite.

Din figura 4.16 b) se observă că, la umidități constante ale cătinii albe, odată cu creșterea intensității câmpului electromagnetic în perioada de tratare termică, durata perioadei de relaxare scade. Astfel, la creșterea E de la 17,8 kV/m până la 28,2 kV/m, durata necesară de relaxare a cătinii albe cu umiditatea de 20 % se reduce de la 46 s până la 37 s.

La variația E de la 25,6 kV/m până la 44,0 kV/m, durata necesară de relaxare a miezului de sâmbure de migdal cu umiditatea

de 20 % se reduce de la 33 s până la 22 s (figura 4.17 b) și durata necesară de relaxare a semințelor de floarea-soarelui cu umiditatea de 20 % – de la 35 s până la 26 s (figura 4.18 b).

Acest fenomen se datorează faptului că, odată cu mărirea intensității câmpului electromagnetic în perioada precedentă celei de relaxare, crește și degajarea de căldură în straturile interioare ale produselor umede, deci crește și viteza de evaporare a umidității. Aceasta provoacă mărirea volumului de abur în capilare și a gradientului de presiune (∇P). Deoarece ∇P este una dintre forțele motrice ale transferului de umiditate, apoi mărirea acestui indice provoacă creșterea vitezei de eliminare a aburilor în exterior. Deci durata de relaxare scade.

În urma prelucrării matematice a funcțiilor $\tau_R = f(W)$ și $\tau_R = f(E)$, prezentate grafic în figurile 4.16 ... 4.18, s-au obținut funcțiile generalizare $\tau_R = f(E, W)$ pentru toate cele trei produse studiate:

– pentru cățina albă:

$$\begin{aligned} \tau_R(E, W) = & (5.677 \cdot 10^{-4} E^2 - 0.027E + 0.259)W^2 + \\ & + (6.364E^3 - 0.448E^2 + 10.353E - 78.093)W + (-0.484E + 68.756); \end{aligned} \quad (4.61)$$

– pentru miezul de sâmbure de migdal

$$\begin{aligned} \tau_R(E, W) = & (2.191 \cdot 10^{-3} E - 0.11)W^2 + \\ & + (-0.02E + 0.359)W + (-1.141E + 86.072); \end{aligned} \quad (4.62)$$

– pentru semințele de floarea-soarelui

$$\begin{aligned} \tau_R(E, W) = & (1.306 \cdot 10^{-4} E^2 - 9.003 \cdot 10^{-3} E + 0.117)W^2 + \\ & + (-2.857 \cdot 10^{-3} E^2 + 0.185E - 2.667)W + (-0.257E + 47.895); \end{aligned} \quad (4.63)$$

Funcțiile generalizate 4.56...4.58 permit de a determina durata perioadei de relaxare în orice moment de timp al procesului de uscare a cătinii albe, a miezului de sâmbure de migdal și a semințelor de floarea-soarelui pentru cazul în care este cunoscută intensitatea câmpului electromagnetic la momentul deconectării sursei interne de căldură și umiditatea produsului.

5. ASPECTE TEORETICE ȘI PRACTICE ALE PROCESULUI DE USCARE A PRODUSELOR OLEAGINOASE

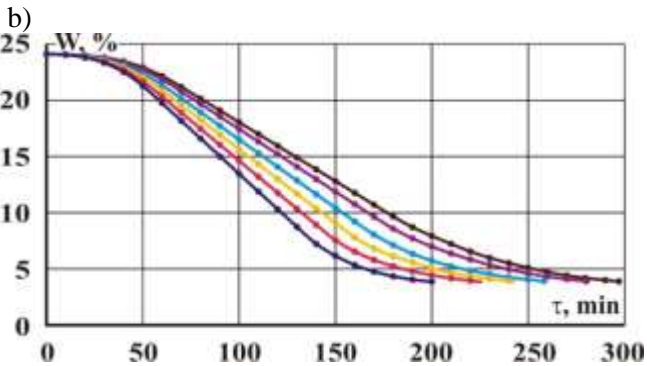
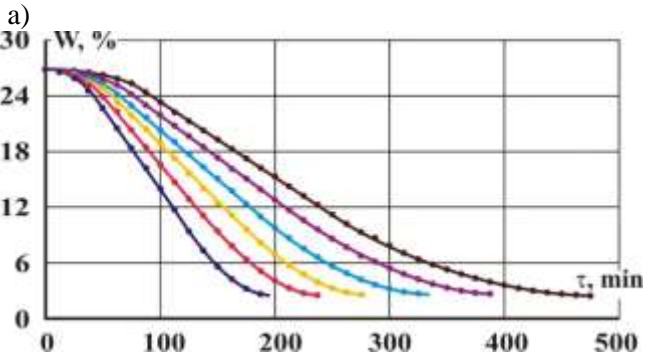
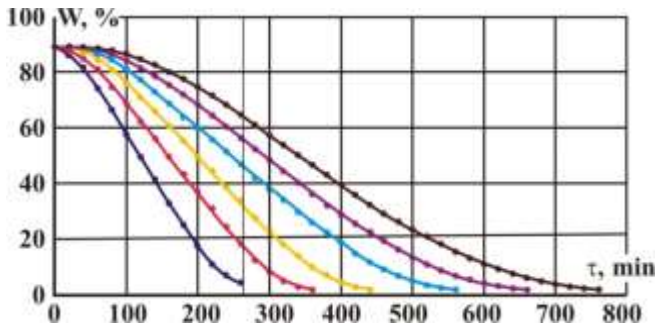
5.1. Analiza cineticii procesului de uscare a produselor oleaginoase prin convecție

Procesului de uscare au fost supuse fructele cătinii albe de soiul „Krușinovidnaia” cu umiditatea inițială de 89,00 %, miezul de sâmbure de migdal de soiul „Victoria” cu umiditatea inițială de 26,89 % și semințele de floarea-soarelui de soiul „Luceafărul” cu umiditatea inițială de 24,11 %. Uscarea prin convecție s-a efectuat cu aer încălzit, a cărui viteză a fost constantă la toate experiențele și a constituit 0,9 m/s. Valoarea vitezei aerului încălzit a fost determinată de posibilitățile tehnice ale instalației de laborator. Produsele au fost supuse uscării în strat dens.

Curbele de uscare $W = f(\tau)$ ale cătinii albe, ale miezului de sâmbure de migdal și ale semințelor de floarea-soarelui cu aport de căldură prin convecție la temperaturile agentului de uscare 60, 70, 80, 90, 100 și 110 °C sunt prezentate în figurile 5.1, 5.2 și 5.3. Din grafice se vede că durata procesului de uscare depinde într-o mare măsură de temperatura agentului de uscare. Astfel, la temperatura agentului de uscare 60 °C, durata de uscare a cătinii albe (fig. 5.1 a) de la umiditatea inițială de 89,0 % până la cea finală de 2,5 % a constituit 760 min., iar la temperatura 110 °C - 260 min. Procesul de uscare s-a intensificat de cca 3,0 ori.

Aceeași tendință se observă și la celelalte produse studiate: durata de uscare a miezului semințelor de migdal (fig. 5.1 b) până la umiditatea finală de 2,5 % s-a redus de la 483 min. la temperatura agentului de uscare 60 °C, până la 199 min., la temperatura agentului de uscare de 110 °C, intensificarea procesului fiind de cca 2,5 ori; durata procesului de uscare a semințelor de floarea-soarelui (fig. 5.1 c) la aceleași temperaturi ale agentului de uscare până la umiditatea finală de 3,5 % s-a redus de la 295 min. până la 198 - de cca 1,5 ori.

Caracterul curbelor pentru toate produsele studiate este practic același și corespunde cu cele descrise în literatură [97, 102, 113, 131, 216, 221, 269, 277].



c)

→ 60°C → 70°C → 80°C → 90°C → 100°C → 110°C

Fig.5.1. Curbele de uscare a produselor oleaginoase cu aport de energie prin convecție pentru diferite temperaturi ale agentului de uscare: a) cătină albă; b) miez de sâmbure de migdal; c) semințe de floarea-soarelui.

Corelația dintre durata de uscare și temperatura agentului de uscare pentru toate cele trei produse studiate este bine redată în graficul din figura 5.2. Din grafice se vede că, odată cu creșterea temperaturii agentului de uscare, durata procesului scade liniar (funcțiile matematice pentru limitele de temperatură ale agentului de uscare 60 – 110 °C sunt prezentate în tabelul 5.1). Totodată, este de menționat că, pentru produsele studiate, viteza de scădere a duratei de uscare, cauzată de creșterea temperaturii agentului de uscare, este diferită. Astfel, reducerea duratei de uscare a cătinii albe a fost de 10,0 min/°C, a miezului de sâmbure de migdal – de 4,4 min/°C și a semințelor de floarea-soarelui – de 2,0 min/°C.

Viteza variației duratei de uscare ca funcție de variația temperaturii agentului de uscare în mare măsură, după părerea noastră, este dependentă de conținutul inițial de umiditate liberă, de umiditate cu legături fizico-mecanice și fizico-chimice, de proprietățile structural-mecanice și fizico-chimice ale produselor.

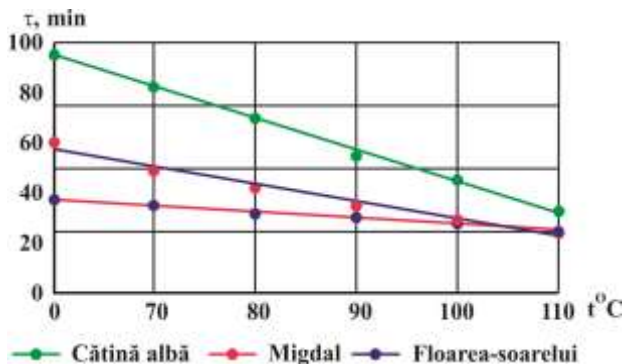


Fig.5.2. Curbele variației duratei de uscare a produselor oleaginoase în funcție de temperatura agentului de uscare la uscarea prin convecție.

O evaporare mai intensivă de pe suprafața produsului se observă la produsele cu o cantitate de umiditate în stare liberă mai mare [130, 216]. Astfel, odată cu creșterea temperaturii agentului de uscare, durata de uscare se reduce mai rapid pentru cătina albă cu umiditatea inițială de 89,00 % și mai lent pentru miezul sâmburelui

de migdal ($W = 26,89 \%$) sau a semințelor de floarea-soarelui ($W = 24,11 \%$) (figura 5.2).

Tabelul 5.1. Corelația matematică dintre durata procesului de uscare și temperatura agentului de uscare la uscarea produselor oleaginoase prin convecție

Productul studiat	Coeficientul de corelare R^2	Funcția matematică
Cătină albă	0,998	$\tau = -10,049 \cdot t + 1362,50$
Miez de sâmbure de migdal	0,982	$\tau = -5,529 \cdot t + 793,429$
Semințe de floarea-soarelui	0,965	$\tau = -1,931 \cdot t + 416,505$

În baza rezultatelor experimentale obținute, putem conchide că durata de uscare este influențată atât de masa volumetrică, cât și de structura interioară a produsului. La produsele de structură capilar-poroasă cu macrocapilare și pori bine evidențiați, cum este fructul de cătină albă, transferul de umiditate din straturile centrale către suprafață se realizează mai ușor, inclusiv prin eliminarea umidității în formă de vapori, în comparație cu miezul de sâmbure de migdal și semințele de floarea soarelui, care posedă o masă volumetrică mai sporită și o structură mai compactă în care predomină microcapilarele.

Nu mai puțin important este și conținutul de ulei din produse, care modifică conductibilitatea termică a produselor. Produsele cu un conținut sporit în ulei, cum sunt miezul de sâmbure de migdal (conținutul în ulei 48,5 %) și semințele de floarea-soarelui (conținutul în ulei 42,3 %), posedă o conductibilitate termică mai redusă în comparație cu cea a cătinii albe (conținutul în ulei 9,8 %) și deci temperatura straturilor exterioare este mai avansată în comparație cu cele interioare. Aceasta provoacă un gradient de temperatură contrasens deplasării umidității mai pronunțat, ceea ce conduce la ”frânarea” transferului de umiditate.

Caracterul variației temperaturii pe parcursul uscării prin convecție este prezentat în baza cătinii albe (fig. 5.3).

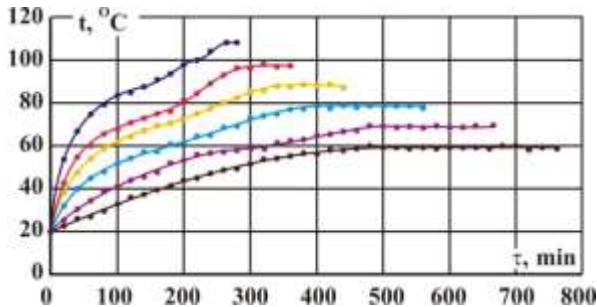
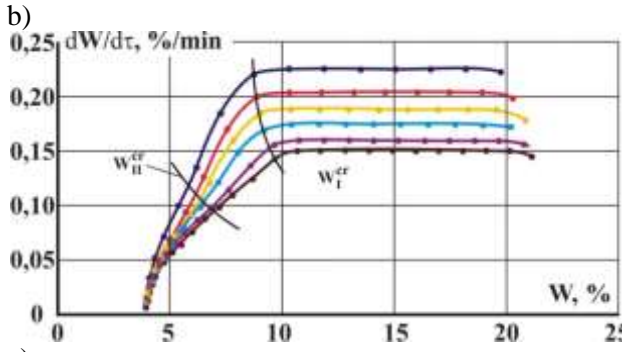
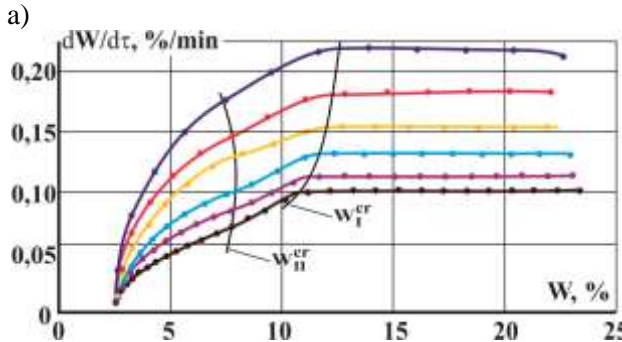
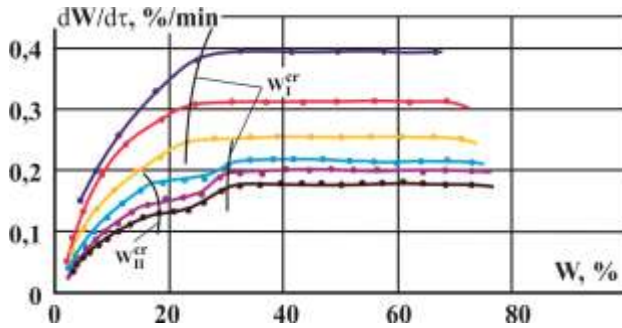


Fig.5.3. Curbele de temperatură ale cătinii albe la uscarea prin convecție la temperatura agentului de uscare de: — 60°C; — 70°C; — 80°C; — 90°C; — 100 °C și — 110°C.

Din grafice se observă (figura 5.3) că, la începutul procesului de uscare, creșterea temperaturii produsului este cea mai intensivă, ca mai apoi, când aceasta atinge valoarea temperaturii termometrului umed, să încetinească. Perioada, în care creșterea temperaturii cătinii albe devine mai lentă (pentru temperaturi ale agentului de uscare 60 – 90 °C) sau încetinește aproape complet (pentru temperaturi ale agentului de uscare 100 – 110 °C), corespunde perioadei de evaporare a umidității de pe suprafață și de migrație a soluțiilor lichide la suprafață. Această treaptă, corespunzătoare temperaturii termometrului umed, este confirmată și în diferite surse bibliografice [97, 131, 192, 216]. În cazul uscării cu agent de uscare de temperatura 110 °C, pe curba de temperatură a cătinii albe mai apare o extremă în apropierea temperaturii de fierbere. Această extremă corespunde apariției suprapresiunii în interiorul produsului.

Analiza curbelor vitezei de uscare $\frac{dW}{d\tau} = f(W)$ (figura 5.4) a

produselor oleaginoase studiate demonstrează că, la utilizarea aportului de căldură prin convecție, se adevăresc noțiunile practice și teoretice cunoscute în ceea ce privește mecanismul transferului de masă în procesul de uscare. Ca și în cazul surselor citate [130, 160, 216, 221, 273], se evidențiază două perioade: perioada vitezei de uscare constante și perioada vitezei de uscare în scădere.



c)

— 60°C — 70°C — 80°C — 90°C — 100°C — 110°C

Fig.5.4. Curbele vitezei de uscare ale produselor oleaginoase cu aport de energie prin convecție pentru diferite temperaturi ale agentului de uscare: a) cătină albă; b) miez de sâmbure de migdal; c) semințe de floarea-soarelui.

Perioada vitezei constante de uscare, în raport cu durata totală de uscare, pentru diferite produse este diferită: pentru cătina albă, în funcție de temperatura agentului de uscare, ea variază de la 40 % la 51 % din perioada totală de uscare, (figura 5.4 a) pentru miezul de sâmbure de migdal – 41 ... 45 % (figura 5.4 b) și pentru semințele de floarea-soarelui – 38 ... 41 % (figura 5.4 c). Perioada vitezei în scădere pentru cătina albă a fost de 30 ... 40 % din perioada totală de uscare, pentru miezul de sâmbure de migdal – 32 ... 33 % și pentru semințele de floarea-soarelui – 30 ... 39 %. Aceasta demonstrează că, în toate cele trei produse studiate, cantitatea de umiditate cu legături chimice este destul de mare. De aici rezultă și necesitatea unei intensificări suplimentare a perioadei vitezei de uscare în scădere.

La uscarea produselor oleaginoase mărirea temperaturii agentului de uscare este însoțită și de creșterea vitezei maxime de uscare (figura 5.4). Astfel, viteza maximă de uscare a cătinii albe a crescut de la 0,19 %/min., la temperatura agentului de uscare 60 °C, până la 0,39 %/min la temperatura agentului de uscare de 110 °C. Viteza de uscare a miezului de sâmbure de migdal în aceeași limită de creștere a temperaturii agentului de uscare s-a mărit de la 0,10 %/min. până la 0,22 %/min., iar viteza de uscare a semințelor de floarea-soarelui a crescut de la 0,15 %/min. până la 0,26 %/min. În așa mod, s-a observat o avansare a vitezei de uscare de cca. 2,2 ori pentru cătina albă și miezul de sâmbure de migdal și de 1,7 ori pentru semințele de floarea soarelui.

Interes deosebit în studiul cineticii procesului de uscare prin convecție prezintă constanta de uscare k_I , în prima perioadă de uscare și coeficientul de uscare k_{II} , în perioada a doua de uscare (figura 5.5).

Constanta de uscare k_I caracterizează transferul de umiditate din stratul de frontieră al produsului în mediul ambiant. Ea este dependentă, în mare măsură, de viteza și temperatura agentului de uscare, forma și dimensiunile suprafeței de evaporare, de condițiile de spălare a suprafeței de către fluxul de aer ș.a. [130, 202, 216, 276]:

$$k_I = \frac{dW/d\tau}{A \cdot (x_S - x_0)}, \quad \frac{\%}{s \cdot m^2 \cdot \frac{kg}{kg_{AU}}} \quad (5.1)$$

în care A este aria de contact a probei de product cu agentul de uscare, în m^2 ;

x_S – conținutul de umiditate a aerului saturat la suprafața produsului, în kg/kg_{AU} ;

x_0 – conținutul de umiditate a agentului de uscare, în kg/kg_{AU} ;

Dependența grafică a lui k_I de temperatura agentului de uscare este prezentată în figura 5.5 a). Din grafice se observă că variația constantei de uscare k_I la diferite produse în parte variază diferit. Pentru cătina albă și miezul de sâmbure de migdal, în perioada de la $60\text{ }^\circ\text{C}$ până la $80\text{ }^\circ\text{C}$, se observă o mică diminuare a valorii k_I (cătina albă – cu cca 13% și miezul de sâmbure de migdal – cu 8%), ca în continuare, de la $80\text{ }^\circ\text{C}$ până la $110\text{ }^\circ\text{C}$, să crească lent (cătina albă – cu cca 4% și miezul de sâmbure de migdal – cu 1%). Constanta de uscare a semințelor de floarea-soarelui pe toată perioada de creștere a temperaturii de la $60\text{ }^\circ\text{C}$ până la $110\text{ }^\circ\text{C}$ este în continuă scădere și diminuează cu 30 %.

Această diminuare a constantei de uscare k_I pentru cătina albă și pentru miezul de sâmbure de migdal până la $80\text{ }^\circ\text{C}$ și pentru semințele de floarea-soarelui pe tot intervalul de temperaturi este justificată prin creșterea gradientului de temperatură, care este direcționat în sens opus deplasării umidității în produs. Apariția rezistențelor suplimentare la deplasarea umidității, cauzată de gradientul de temperatură, provoacă un dezechilibru dintre intensitatea evaporării umidității de pe suprafața produsului și intensitatea aportului de umiditate pe suprafața din straturile interioare.

În cazul cătinii albe și al miezului de sâmbure de migdal, creșterea constantei de uscare k_I , la temperatura agentului de uscare superioare celei de $60\text{ }^\circ\text{C}$, se datorează slăbirii legăturilor dintre umiditate și produs, deci și reducerii rezistenței deplasării prin difuziune a umidității prin capilare către stratul de frontieră. La semințele de floarea soarelui, de o structură mai omogenă și cu capilare mai puțin pronunțate, rezistența deplasării umidității prin capilare rămâne considerabilă și la temperaturi superioare ale agentului de uscare. k_I , pentru acest caz, este în scădere pe toată perioada.

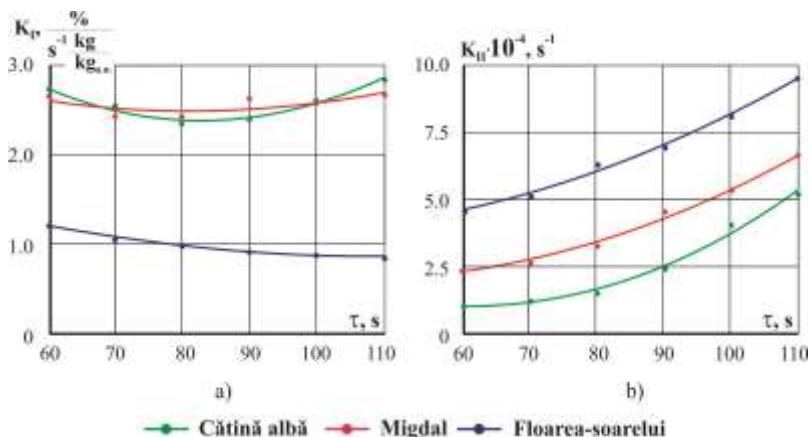


Fig.5.5. Corelația dintre temperatura agentului de uscare și:
 a) constanta de uscare K_I b) coeficientul de uscare K_{II} la uscarea unor produse oleaginoase prin convecție.

Modificarea nesemnificativă a valorilor k_I , ca funcție de temperatura agentului de uscare, ne permite să considerăm nejustificată intensificarea procesului de uscare a produselor vegetale prin mărirea temperaturii agentului de uscare.

Funcțiile matematice $k_1 = f(t)$, pentru limitele de temperatură ale agentului de uscare 60–110°C sunt prezentate în tabelul 5.2.

Tabelul 5.2. Corelația matematică dintre coeficientul de uscare k_I și temperatura agentului de uscare la uscarea produselor oleaginoase prin convecție

Productul studiat	R^2	Funcția matematică
Cătină albă	0.963	$k_I = 6,57 \cdot 10^{-4} t^2 - 0,109t + 6,95$
Miez de sâmbure de migdal	0.524	$k_I = 2,526 \cdot 10^{-4} t^2 - 0,041t + 4,153$
Semințe de floarea-soarelui	0.989	$k_I = 1,372 \cdot 10^{-4} t^2 - 0,030t + 2,541$

Influența temperaturii agentului de uscare asupra coeficientului de uscare din perioada a doua k_{II} este prezentată în figura 5.5 b).

Din grafice se observă că, odată cu creșterea temperaturii agentului de uscare, în limitele studiate de la 60 °C la 110 °C k_{II} , crește. Astfel, la variația menționată a temperaturii agentului de uscare, k_{II} a cătinii albe a crescut de 4,8 ori, a miezului de sâmbure de migdal de 2,4 ori și a semințelor de floarea-soarelui – de 2,1 ori. Diferența esențială dintre creșterea coeficientului de uscare k_{II} a cătinii albe în comparație cu k_{II} a miezului sâmburelui de migdal și a semințelor de floarea-soarelui este cauzată de structura diferită a acestor produse.

Funcțiile matematice $k_{II} = f(t)$ pentru limitele de temperatură ale agentului de uscare în limitele 60 și 110 °C sunt prezentate în tabelul 5.3.

Tabelul 5.3. Corelația matematică dintre coeficientul de uscare k_{II} și temperatura agentului de uscare la uscarea produselor oleaginoase prin convecție

Productul studiat	R ²	Funcția matematică
Cătină albă	0,991	$k_{II} = 1,815 \cdot 10^{-7} t^2 - 2,228 \cdot 10^{-5} t + 7.895 \cdot 10^{-4}$
Miez de sâmbure de migdal	0,992	$k_{II} = 1,09 \cdot 10^{-7} t^2 - 9,728 \cdot 10^{-6} t + 4.216 \cdot 10^{-4}$
Semințe de floarea-soarelui	0,993	$k_{II} = 8,006 \cdot 10^{-8} t^2 - 3,799 \cdot 10^{-6} t + 3.987 \cdot 10^{-4}$

Interes deosebit îl prezintă și caracterul variației valorilor primului punct critic W_I^{cr} ca funcție de temperatură. Astfel, din graficele vitezei de uscare (figura 5.4) se observă că, pentru cătina albă, la temperaturi relativ reduse ale agentului de uscare (60...80 °C), W_I^{cr} este constant, valoarea lui fiind de 30 %. La temperaturi mai avansate, în limitele 90...110 °C, odată cu creșterea temperaturii agentului de uscare, W_I^{cr} se deplasează în direcția umidității sporite, variind de la 23 la 28 %. Aceasta indică asupra faptului că, odată cu creșterea temperaturii produsului, vaporizarea în interior începe mai devreme. Același efect se observă și la miezul de sâmbure de migdal.

În ceea ce privește semințele de floarea-soarelui, comportamentul primului punct critic este diametral opus, odată cu creșterea temperaturii de la 60 °C la 110 °C, W_I^{cr} se deplasează în direcția umidității reduse de la 9,66 % la 8,75 %. Deplasarea menționată a primului punct critic este cauzată de surplusul de ulei din produs, care înlesnește înlăturarea umidității din capilare. La creșterea umidității, crește și cantitatea de ulei în straturile superficiale, care blochează capilarele. Înlăturarea acestei umidități este posibilă numai după apariția unei oarecare presiuni critice, care contribuie la destuparea capilarelor.

Conform teoriei academicianului A. V. Lîkov [216], pentru sistemele eterogene complexe, către care se referă și produsele vegetale oleaginoase umede, perioada vitezei de uscare în descreștere în unele cazuri, poate fi divizată în două etape – mai apare încă un punct critic în acest sector (W_{II}^{cr}) (figura 5.3). Al doilea punct critic este cauzat de faptul că, la umidități reduse, creșterea gradientului de presiune ∇P este nesemnificativ și aceasta înlesnește eliminarea aburilor deja creați în interiorul produsului. La temperaturi mai avansate, creșterea ∇P este mai pronunțată, ceea ce creează condiții mai favorabile de eliminare a aburului.

În figura 5.6 este redată corelația grafică dintre consumul specific de energie (raportat la un kg produs inițial), la uscarea produselor oleaginoase prin convecție, și temperatura agentului de uscare. Din grafice se observă că creșterea temperaturii agentului de uscare este însoțită și de creșterea consumului de energie. Aceasta se datorează faptului că, la temperaturi înalte ale agentului de uscare, se măresc pierderile de energie la încălzirea utilajului, în mediul ambiant și cele înlăturate cu agentul de uscare utilizat.

Indiferent de faptul că, cu creșterea temperaturii, căldura specifică de vaporizare a apei este în scădere (de la $2359 \frac{J}{kg \cdot K}$,

la temperatura de 60 °C, la $2229 \frac{J}{kg \cdot K}$ la temperatura de 110 °C)

[15], totuși reducerea consumului de energie la evaporare este mult mai mică în comparație cu creșterile pierderilor de energie.

La uscarea prin convecție, valoarea consumului de energie este dependentă și de umiditatea inițială a produsului; astfel, dacă consumul de energie, la uscarea unui kg de cătină albă cu umiditatea inițială de 89,00 %, a variat de la 4,08 kW ($t = 60^{\circ}\text{C}$) la 4,643 kW ($t = 110^{\circ}\text{C}$), media fiind de 4,49 %, apoi la uscarea miezului de sâmbure de migdal cu umiditatea de 26,89 %, variația consumului de energie la aceeași creștere a temperaturii agentului de uscare a fost de la 2,04 kW la 2,65 kW, media fiind numai de 2,30 kW. Astfel, consumul de energie la uscarea cătinii albe a fost de 1,95 ori mai mare în comparație cu cel al miezului de sâmbure de migdal. Consumul de energie la uscarea semințelor de floarea-soarelui cu umiditatea inițială de 24,11 % a crescut de la 1,59 kW/kg la 3,234 kW/kg, media fiind de 2,41 kW/kg, deci, în medie practic, fiind același ca și la miezul de sâmbure de migdal (vezi figura 5.6).

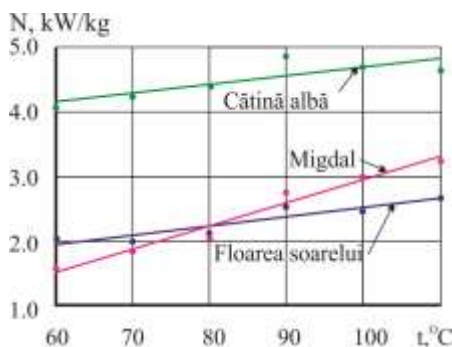


Fig.5.6. Corelația dintre consumul specific de energie și temperatura agentului de uscare la uscarea produselor oleaginoase prin convecție.

Variația consumului de energie ca funcție de temperatura agentului de uscare în limitele $60...110^{\circ}\text{C}$, are loc conform legii lineare, coeficientul de corelare cu datele experimentale fiind de 0,695 pentru cătina albă, 0,854 – pentru miezul de sâmbure de migdal și de 0,965 – pentru semințele de floarea-soarelui.

Această creștere a consumului de energie, provocată de mărirea temperaturii agentului de uscare ne permite să concluzionăm că această metodă de intensificare este ineficientă.

În tabelul 5.4 sunt prezentate rezultatele proceselor de uscare prin convecție a cătinii albe, a miezului de sâmbure de migdal și a semințelor de floarea-soarelui la viteza agentului de uscare 1,1 m/s.

Tabelul 5.4. Caracteristicile cinetice ale procesului de uscare prin convecție a produselor oleaginoase

T, °C	$dW/d\tau \cdot 10^{-3}$, %/s	W _{cr} , %	$\frac{K_I, \%}{m^2 \cdot s \frac{kg}{kg_{SU}}}$	$K_{II} \cdot 10^{-4}$, s ⁻¹	Duratele perioadelor de uscare, min		N, kW/kg
					τ_1	τ_2	
Cătină albă							
60	2.989	27.194	2.730	1.083	429	331	4.079
70	2.962	27.106	2.562	1.239	375	285	4.246
80	3.211	24.289	2.361	1.523	322	239	4.396
90	3.756	18.362	2.402	2.477	255	186	4.862
100	4.616	14.604	2.611	4.048	208	153	4.692
110	6.515	14.368	2.850	5.207	158	103	4.643
Miez de sâmbure de migdal							
60	1.680	9.704	2.667	2.365	275	208	2.039
70	1.875	9.554	2.451	2.696	240	154	1.994
80	2.193	9.405	2.437	3.223	203	137	2.119
90	2.733	8.621	2.641	4.539	177	107	2.542
100	3.033	8.275	2.592	5.344	149	92	2.476
110	3.627	8.035	2.687	6.673	125	74	2.653
Semințe de floarea-soarelui							
60	2.533	9.402	1.222	4.604	191	107	1.589
70	2.667	9.121	1.060	5.108	181	103	1.835
80	2.917	8.492	0.985	6.352	162	98	2.041
90	3.133	8.417	0.920	6.936	150	95	2.763
100	3.400	8.101	0.884	8.093	137	90	2.998
110	4.333	7.821	0.845	9.564	124	76	3.234

Analiza datelor prezentate în tabelul 5.4. ne indică asupra faptului că, la creșterea temperaturii agentului de uscare, procesul se intensifică, totuși aceasta s-a sondat și cu o creștere a consumului de energie pentru cătina albă cu 9 %, pentru miezul de sâmbure de migdal – cu 30% și pentru semințele de floarea-soarelui – cu 100 %. Aceasta ne permite de a constata că intensificarea procesului de uscare a produselor oleaginoase studiate este nejustificată și sunt necesare alte căi de soluționare a problemei, cum ar fi încălzirea în câmp U.H.F.

5.2. Analiza cineticii procesului de uscare a produselor oleaginoase în câmp UHF cu aport de energie în regim continuu

Studiul cineticii procesului de uscare a produselor oleaginoase în câmp U.H.F. s-a realizat în baza aceluiași soiuri ale obiectelor de uscare, și anume: cătină albă – soiul „Krușinovidnaia”, miez de sâmbure de migdal – soiul „Victoria” și semințe de floarea-soarelui – soiul „Luceafărul”.

Procesul de uscare s-a realizat cu aport de energie termică numai prin acțiunea câmpurilor electromagnetice U.H.F. (produsul s-a aflat într-un flux de aer cu temperatura corespunzătoare mediului ambiant de cca 20°C) și cu aport combinat de energie termică – prin acțiunea câmpurilor electromagnetice U.H.F. și în flux de aer cald cu temperatura de la 60 °C la 110 °C . Viteza fluxului de aer a fost constantă și a constituit 1,1 m/s.

În baza cercetărilor parametrilor electrofizici ai produselor oleaginoase prezentate în capitolul III s-a depistat că, la umidități sporite ale acestora, câmpurile electromagnetice U.H.F. provoacă descărcări electrice în produs, ceea ce conduce la supraîncălziri și arsuri locale sau totale. De aceea, pentru produsele oleaginoase cu umiditatea inițială relativ redusă, cum sunt miezul de sâmbure de migdal (26,89 %) și semințele de floarea-soarelui (24,11 %), a fost posibilă aplicarea sursei U.H.F. pe toată perioada de uscare. Pe când cătina albă, de la umiditatea de 89,00 % până la 25,00 %, s-a uscat prin metoda pur convectivă și numai apoi – prin aport de energie U.H.F.. Deoarece uscarea prin

convecție a cătinii albe a fost descrisă anterior, în continuare este analizat procesul de uscare numai în perioada de la 25 % până la 3 % – perioada la care s-a aplicat energia câmpurilor U.H.F.

Conform rezultatelor studiului realizat în același capitol trei, frecvența câmpului electromagnetic a fost aleasă de 27 MHz. Intensitatea minimă a câmpului electromagnetic (E_{min}) s-a acceptat pentru cătina albă 17,8 kV/m, iar pentru miezul de sâmbure de migdal și semințele de floarea-soarelui – 25,6 kV/m. Anume la aceste intensități ale câmpurilor electromagnetice, temperaturile produselor studiate atingeau valori de cca 60 °C – temperatura minimă la care s-a studiat uscarea prin convecție. Diferența esențială dintre E_{min} aplicată cătinii albe și celorlalte produse studiate este cauzată de proprietățile fizice și mecanice ale acestora și de raportul diferit dintre conținutul în umiditate și în ulei în produs. În produsele cu un conținut mai sporit de umiditate în raport cu uleiul, au loc degajări mai mari de căldură și deci, pentru a obține aceeași valoare a temperaturii produsului, este suficientă o intensitate mai redusă a câmpului electromagnetic. Intensitatea maximă a câmpului electromagnetic (E_{max}) pentru cătina albă a fost de 28,2 kV/m, iar pentru miezul de sâmbure de migdal și de semințele de floarea-soarelui – de 44,0 kV/m. La intensități ale câmpului electromagnetic mai sporite decât cele menționate apăreau descărcări electrice cu arsuri locale ale produselor.

În figura 5.7 sunt prezentate curbele de uscare $W = f(\tau)$ ale cătinii albe (figura 5.7. a), ale miezului de sâmbure de migdal (figura 5.7. b) și ale semințelor de floarea-soarelui (figura 5.7. c) la uscarea în câmp U.H.F. și în flux de aer de temperatura mediului – 20 °C.

Caracterul curbelor de uscare corespunde întru totul datelor bibliografice [79, 76, 192, 213, 312]. În grafice este bine evidențiată perioada de încălzire a produsului, perioada vitezei de uscare constante și perioada vitezei de uscare în scădere.

Graficele indică că, odată cu creșterea intensității câmpului electromagnetic, durata procesului de uscare se reduce. Astfel, dacă, la intensitatea câmpului electromagnetic de 17,8 kV/m, procesul de uscare a cătinii albe de la 25,0 % la 3,0 % s-a realizat în 107 min., apoi, la intensitatea câmpului electromagnetic de 28,2 kV/m, au fost suficiente doar 78 min. Deci durata procesului de uscare s-a redus de 1,4 ori.

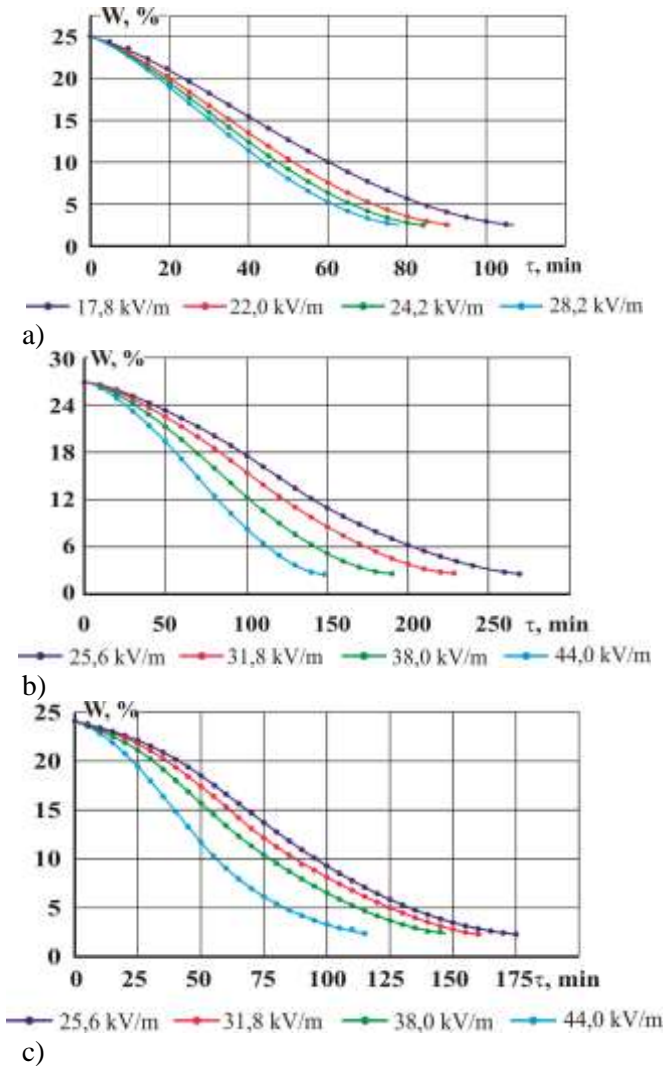


Fig.5.7. Curbele de uscare ale produselor oleaginoase cu aport de energie U.H.F., temperatura agentului de uscare – 60 °C: a) cătină albă; b) miez de sâmbure de migdal; c) semințe de floarea-soarelui.

Același fenomen de reducere a duratei de uscare persistă și la celelalte produse oleaginoase studiate. La creșterea intensității câmpului electromagnetic de la 25,6 kV/m la 44,0 kV/m, durata de uscare a miezului de sâmbure de migdal (figura 5.7. b), în limitele de umiditate de la 26,89 % la 3,0 %, s-a redus de la 267 min. la 147 min. Deci s-a observat o intensificare a procesului de uscare de 1,80 ori. Procesul de uscare a semințelor de floarea-soarelui (figura 5.7. c), în limitele de umiditate de la 24,11 % până la 3,0 %, s-a redus de la 175 min. la 115 min. Astfel, la aceeași variație a intensității câmpului electromagnetic de la 25,6 kV/m până la 44,0 kV/m, procesul de uscare a semințelor de floarea-soarelui s-a redus de 1,52 ori.

Curbele de uscare ale cătinii albe, ale miezului de sâmbure de migdal și ale semințelor de floarea-soarelui, la uscarea în câmp U.H.F. și temperatura agentului de uscare 60 °C, sunt prezentate în figura 5.8.

La mărirea intensității câmpului electromagnetic, se observă aceeași intensificare a procesului de uscare. Astfel, variația intensității câmpului electromagnetic de la 17,8 kV/m la 28,2 kV/m a provocat o reducere a duratei de uscare a cătinii albe de 1,33 ori, a miezului de sâmbure de migdal – de 1,81 ori și a semințelor de floarea-soarelui – de 1,48 ori.

Totodată, în comparație cu uscarea în câmp U.H.F. și curenți de aer cu temperatura 20 °C se observă o oarecare creștere a duratei de uscare, deci procesul parcurge mai lent. Astfel, durata de uscare a cătinii albe, la aplicarea U.H.F. ($E=17,8$ kV/m) în flux de aer cu temperatura de 60 °C, s-a redus cu 14 min. în comparație cu aceeași intensitate a câmpului U.H.F., dar în flux de aer cu temperatura de 20 °C (figurile 5.7 a și 5.8. a). Același fenomen se observă și la celelalte produse oleaginoase studiate: durata de uscare a miezului de sâmbure de migdal în câmp U.H.F. ($E = 25,6$ kV/m), la temperatura agentului de uscare 60 °C, s-a redus cu 23 min., în comparație cu temperatura agentului de uscare 20 °C (figurile 5.7 b și 5.8. b), și a semințelor de floarea-soarelui în aceleași condiții – cu 24 min (figurile 5.7 c și 5.8. c).

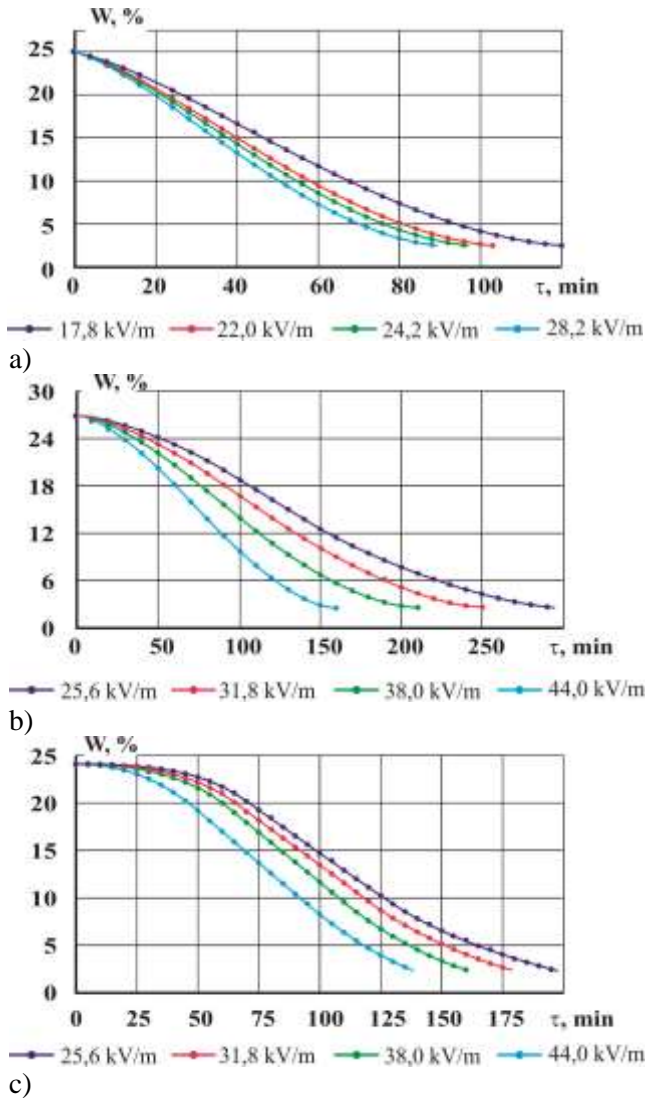


Fig.5.8. Curbele de uscarea ale produselor oleaginoase cu aport de energie U.H.F., temperatura agentului de uscare – 60 °C: a) cătină albă; b) miez de sâmbure de migdal; c) semințe de floarea-soarelui.

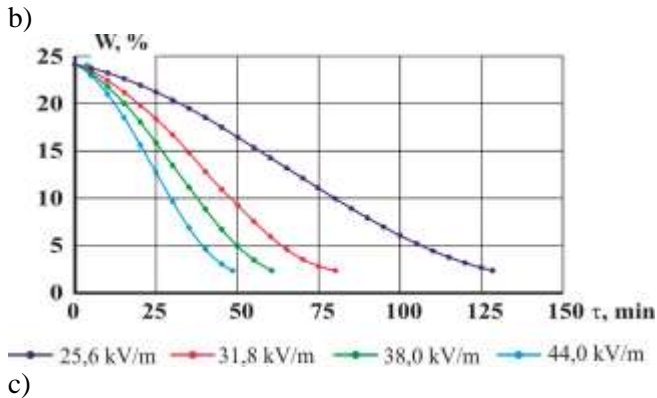
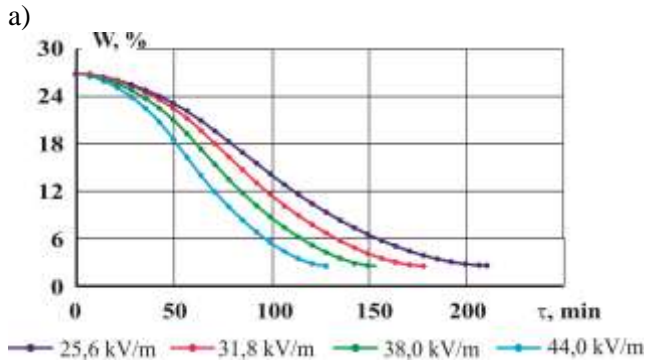
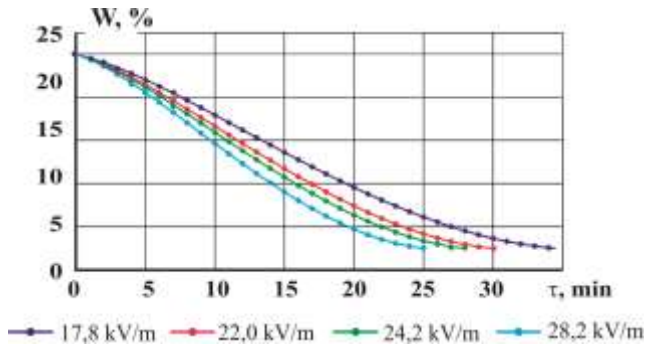


Fig.5.9. Curbele de uscare ale produselor oleaginoase cu aport de energie U.H.F., temperatura agentului de uscare – 110 °C: a) cătină albă; b) miez de sâmbure de migdal; c) semințe de floarea-soarelui.

Această creștere a duratei de uscare, odată cu mărirea temperaturii agentului de uscare până la 60 °C, este cauzată de reducerea gradientului de temperatură în produs, care, la încălzirea în volum, este dependent și de temperatura mediului în care se află.

Dependența duratei de uscare ca funcție de temperatura agentului de uscare $\tau = f(t)$ este bine redată în graficele din figura 5.10. Din grafice se observă că, la încălzirea în câmp U.H.F., odată cu creșterea temperaturii agentului de uscare până la cca 50 °C, se observă și o creștere a duratei procesului de uscare, cauzată, cum s-a menționat, de reducerea gradientului de temperatură și de creșterea diferenței dintre presiunea parțială a vaporilor de apă de la suprafața produsului și presiunea parțială a vaporilor de apă ai agentului de uscare. La mărirea în continuare a temperaturii agentului de uscare, procesul se intensifică, observându-se o reducere a duratei de uscare. Intensificarea procesului la temperaturi înalte ale agentului de uscare se datorează creșterii energiei cinetice a moleculelor de apă din agentul de uscare și deci accelerării deplasării acestora.

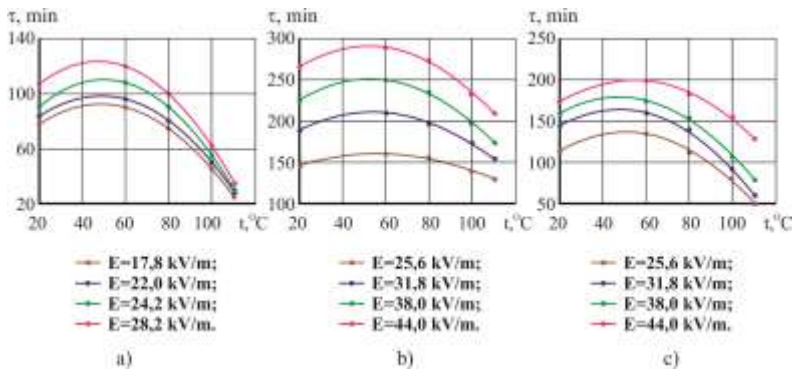


Fig.5.10. Curbele variației duratei de uscare a produselor oleaginoase la uscarea în câmp U.H.F. în funcție de temperatura agentului de uscare: a) cătină albă; b) miez de sămbure de migdal; c) semințe de floarea-soarelui.

Dependența duratei de uscare a produselor oleaginoase, ca funcție de intensitatea câmpului electromagnetic $\tau = f(E)$, este prezentată în graficele din figura 5.11. Din grafice se observă o reducere stabilă a duratei de uscare pe tot parcursul creșterii intensității câmpului electromagnetic în limitele studiate. Această reducere a duratei de uscare se datorează creșterii gradientului de temperatură din produs, și diferenței dintre presiunile parțiale de la suprafața produsului și a agentului de uscare.

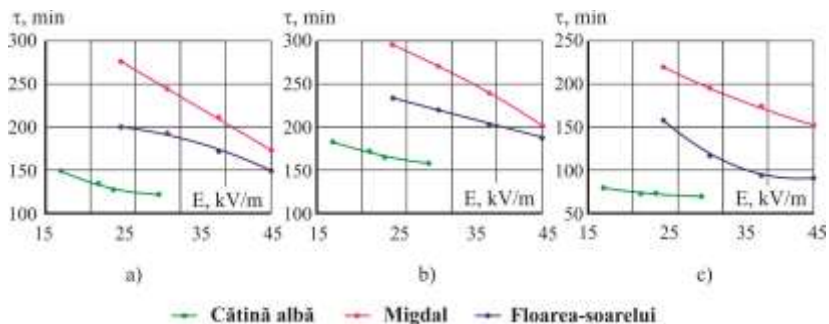


Fig.5.11. Curbele variației duratei de uscare a produselor oleaginoase la uscarea în câmp U.H.F. în funcție de intensitatea câmpului electromagnetic: a) $t = 20$ °C; b) $t = 60$ °C; c) $t = 110$ °C.

Analiza comparativă a graficelor din figura 5.11 ne indică că durata procesului de uscare a produselor oleaginoase studiate este diferită. Migdalul, de o structură omogenă pronunțată, cu capilare mai puțin evidențiate, necesită și o durată mai mare de uscare, în comparație cu semințele de floarea-soarelui care posedă o structură mai puțin omogenă și capilare mai pronunțate. Cătină albă, de structură capilar-poroasă bine determinată, necesită cea mai redusă durată de uscare.

Înșuși timpul reducerii duratei de uscare a produselor oleaginoase studiate ca funcție de intensitatea câmpului electromagnetic, de asemenea, este diferit.

Astfel, la mărirea intensității câmpului electromagnetic în limitele menționate, procesul de uscare a cătinii albe s-a redus în medie cu $2,788 \text{ min.}/(\text{kV}\cdot\text{m}^{-1})$, a miezului de sâmbure de migdal – cu $6,522 \text{ min.}/(\text{kV}\cdot\text{m}^{-1})$ și a semințelor de floarea-soarelui – cu $3,261 \text{ min.}/(\text{kV}\cdot\text{m}^{-1})$. Acest indice permite de a concepe eficiența intensificării procesului de uscare, obținută prin mărirea intensității câmpului electromagnetic. Conform datelor estimate, se observă că cel mai puțin este influențată de creșterea intensității câmpului electromagnetic durata de uscare a cătinii albe. Aceasta se datorează legăturilor slabe ale umidității cu scheletul acestui produs, care se distruge la un consum mult mai redus de energie în comparație cu legăturile apei cu scheletul migdalului sau a semințelor de floarea-soarelui. Totodată, datorită structurii capilar-poroase bine determinate a cătinii albe, rezistențele deplasării umidității prin acestea este mică, și deci, sunt însoțite de un consum mai mic de energie.

Caracterul variației temperaturii produsului pe parcursul uscării în câmp U.H.F. este prezentat în baza cătinii albe (figura 5.12).

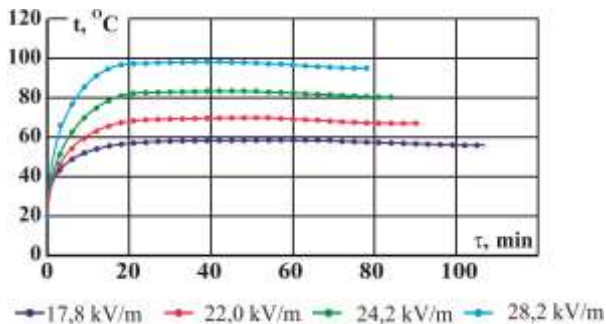


Fig.5.12. Curbele de temperatură ale cătinii albe la uscare în câmp U.H.F. la temperatura agentului de uscare $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Din figura 5.12 se observă că, odată cu aplicarea câmpului electromagnetic, temperatura cătinii albe crește până atinge valori constante, dependente de intensitatea câmpului electromagnetic. Aceste valori ale temperaturii au fost de: $57,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – la intensitatea câmpului electromagnetic $E = 17,8 \text{ kV/m}$; $70,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – la $E = 22,0$

kV/m; 82,6 °C – la $E = 24,2$ kV/m și 97,4 °C – la $E = 28,2$ kV/m. Temperatura indicată s-a menținut pe toată perioada vitezei de uscare constante și corespunde temperaturii de vaporizare a umidității pentru cantitatea de căldură degajată în produs sub acțiunea intensității corespunzătoare a câmpului U.H.F.. În perioada vitezei de uscare în scădere, se observă o mică diminuare a temperaturii produsului cu cca 5 %. Reducerea temperaturii produsului în perioada a doua de uscare este consecință a reducerii numărului de molecule polare de apă la o unitate de produs, deci și a cantității de căldură degajată în produs.

Graficele variației vitezei de uscare a produselor oleaginoase în funcție de umiditatea produsului ($dW/d\tau = f(W)$), pentru cazul încălzirii în câmp U.H.F. la temperatura agentului de uscare 20 °C, sunt prezentate în figura 5.13. Din figură se vede că caracterul curbilor corespunde conceptului actual teoretic [79, 131, 217] și practic [22, 222, 294] existent. În grafice sunt prezente toate cele trei perioade: de încălzire, a vitezei constante de uscare și a vitezei de uscare în scădere. Valoarea maximă a vitezei de uscare la toate produsele și pentru toate intensitățile câmpului electromagnetic se află în limitele perioadei vitezei constante.

Mărirea intensității câmpului electromagnetic este însoțită de creșterea valorii maxime a vitezei de uscare. Astfel, la uscarea cătinii albe, mărirea intensității câmpului electromagnetic de la 17,8 kV/m până la 28,8 kV/m a provocat o creștere a vitezei maxime de uscare de la 0,285 %/min. la 0,395 %/min., observându-se o intensificare a procesului de cca 1,4 ori. Același fenomen a persistat și la uscarea în câmp U.H.F. a miezului de sâmbure de migdal și la semințelor de floarea-soarelui. La mărirea intensității câmpului electromagnetic de la 25, 6 kV/m la 44,0 kV/m, viteza de uscare a miezului de sâmbure de migdal s-a majorat de la 0,14 %/min. la 0,23 %/min. iar a semințelor de floarea-soarelui – de la 0,19 %/min. la 0,31 %/min., obținându-se o avansare a vitezei de uscare de cca 1,6 ori.

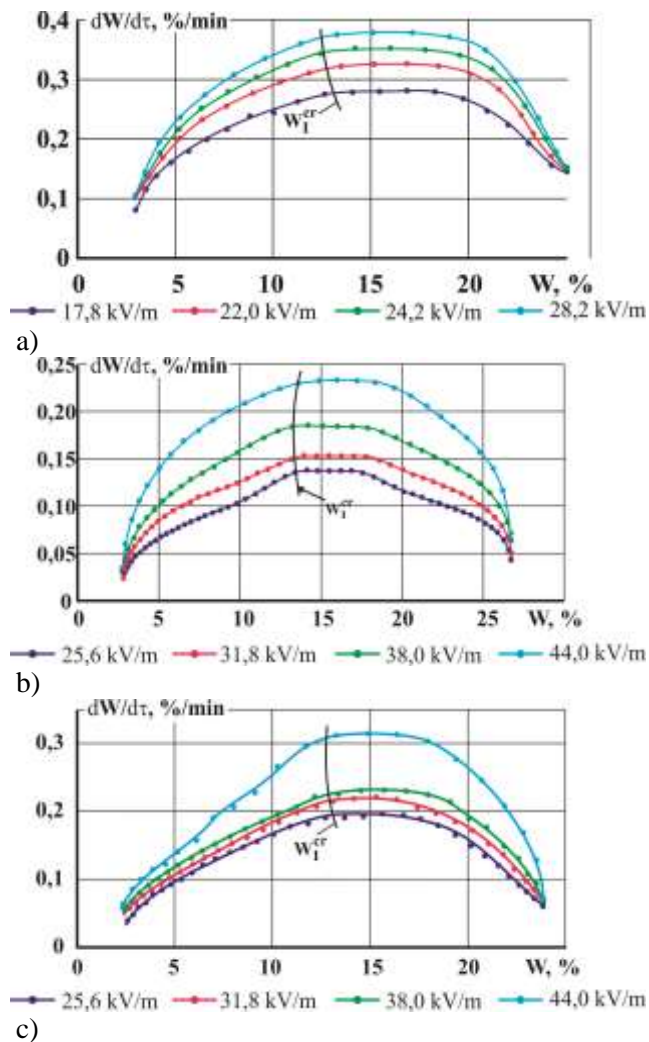


Fig.5.13. Curbele vitezei de uscare a produselor oleaginoase cu aport de energie UHF și temperatura agentului de uscare 20 °C: a) cătină albă; b) miez de sâmbure de migdal; c) semințe de floarea-soarelui.

Specific încălzirii în câmp U.H.F. la temperatura agentului de uscare 20 °C pentru toate produsele studiate este prezența în graficele curbelor vitezei de uscare a perioadei de încălzire. Uscarea produselor are loc din momentul conectării sursei interne de căldură, observându-se o creștere lentă a vitezei de uscare până la atingerea valorii maxime, corespunzătoare vitezei constante de uscare. Eliminarea din produs a umidității în perioada de încălzire este justificată prin temperatura redusă a agentului de uscare în comparație cu cea a produsului, la care, din start, apare forța motrice a procesului – diferența dintre presiunea parțială a umidității aerului saturat de la suprafața produsului și a umidității agentului de uscare. Mai mult ca atât, odată cu creșterea temperaturii produsului, această diferență de presiune parțială crește și ea [276]:

$$\frac{dW}{d\tau} = A \cdot k_l (p_s - p_0), \quad (5.2)$$

în care p_s – presiunea parțială a aerului saturat la suprafața produsului, în kg/kg_{a.u.};

p_0 – presiunea parțială a agentului de uscare, în kg/kg_{a.u.}.

Deci, conform ecuației transferului de masă, la uscarea cu aport de energie U.H.F., creșterea temperaturii produsului în perioada de încălzire provoacă și mărirea vitezei de uscare. Această creștere a temperaturii, însoțită de creșterea vitezei de uscare, a avut loc până la atingerea temperaturii de evaporare, corespunzătoare sursei respective de energie, la care viteza de uscare s-a stabilit și a devenit constantă.

Este cunoscut că apariția perioadei vitezei constante de uscare indică asupra prezenței umidității libere în produs [130, 144, 183, 216]. Durata perioadei vitezei constante de uscare poate fi considerată ca funcție de cantitatea de umiditate liberă în produs, dar totodată, este dependentă și de formele legăturilor apei cu scheletul și de intensitatea aplicării energiei. Conform curbelor din figura 5.13, durata perioadei vitezei de uscare constante, în raport cu durata totală a procesului, pentru diferite produse variază diferit.

Astfel, odată cu creșterea intensității câmpului electromagnetic de la 17,8 kV/m la 28,2 kV/m, raportul dintre durata vitezei constante de uscare și durata totală de uscare a cătinii albe a crescut

de la 19 la 26 %. La variația intensității câmpului electromagnetic de la 28,2 kV/m la 44,0 kV/m, raportul dintre durata vitezei constante de uscare și durata totală de uscare a miezului de sâmbure de migdal a crescut de la 10 % până la 14 %, iar a semințelor de floarea-soarelui s-a redus de la 18 % la 14 %.

Reducerea acestui raport, concomitent cu mărirea intensității câmpului electromagnetic, în cazul semințelor de floarea-soarelui, se datorează legăturilor relativ puternice dintre apă și scheletul produsului.

La toate intensitățile câmpului electromagnetic studiate, primul punct critic (W_{K1}) este, practic, constant și la toate produsele studiate se află în limitele umidității de cca 13 %.

Caracterul curbelor, în perioada vitezei în scădere, pentru toate produsele studiate sunt de formă convexă (figura 5.11). Aceasta indică asupra faptului că partea ponderabilă de energie se consumă la eliminarea umidității din straturile interioare, deci la ruperea legăturilor energetice dintre apă și material. Este de presupus că, în această perioadă, umiditatea din straturile interioare se elimină în formă de vapori, formând o oarecare suprapresiune. Totodată, în această perioadă are loc eliminarea umidității legată prin adsorbție.

În perioada vitezei de uscare în scădere a miezului de sâmbure de migdal, la intensități reduse ale câmpului electromagnetic (25,6 și 38,0 kV/m) și la umiditate de cca 10 % (figura 5.13 b) se observă apariția unui al 2-lea punct critic W_{K2} . Apariția acestui punct critic în perioada vitezei de uscare în scădere la miezul de sâmbure de migdal ne face să presupunem că, până la atingerea umidității de 10 %, apa se deplasează prin capilare parțial în stare lichidă, iar, în continuare – numai în stare de vapori. Totodată, conform figurii 5. 13 b, la creșterea în continuare a intensității câmpului electromagnetic, W_{KII} lent dispare. Dispariția punctului al doilea critic la $E > 38,0$ kV/m ne indică că, în acest caz, încălzirea produsului are loc cu o așa intensitate, încât umiditatea începe să se evaporeze din start, deplasându-se prin produs preponderent în formă de vapori.

În figurile 5.14 și 5.15 sunt prezentate curbele vitezei de uscare la aport combinat de energie: prin convecție și în câmp U.H.F. la temperatura agentului de uscare 60 °C (figura 5.14) și la temperatura agentului de uscare 110 °C (figura 5.15).

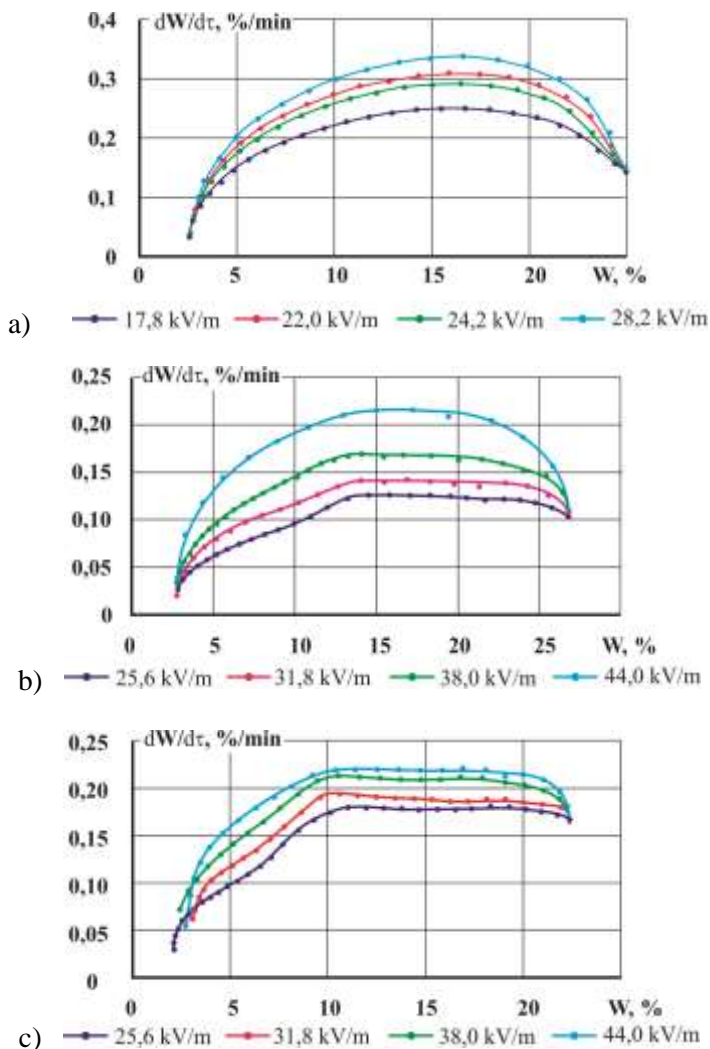


Fig.5.14. Curbele vitezei de uscare a produselor oleaginoase cu aport de energie UHF și temperatura agentului de uscare 60 °C: a) cătină albă; b) miez de sămbure de migdal; c) semințe de floarea-soarelui.

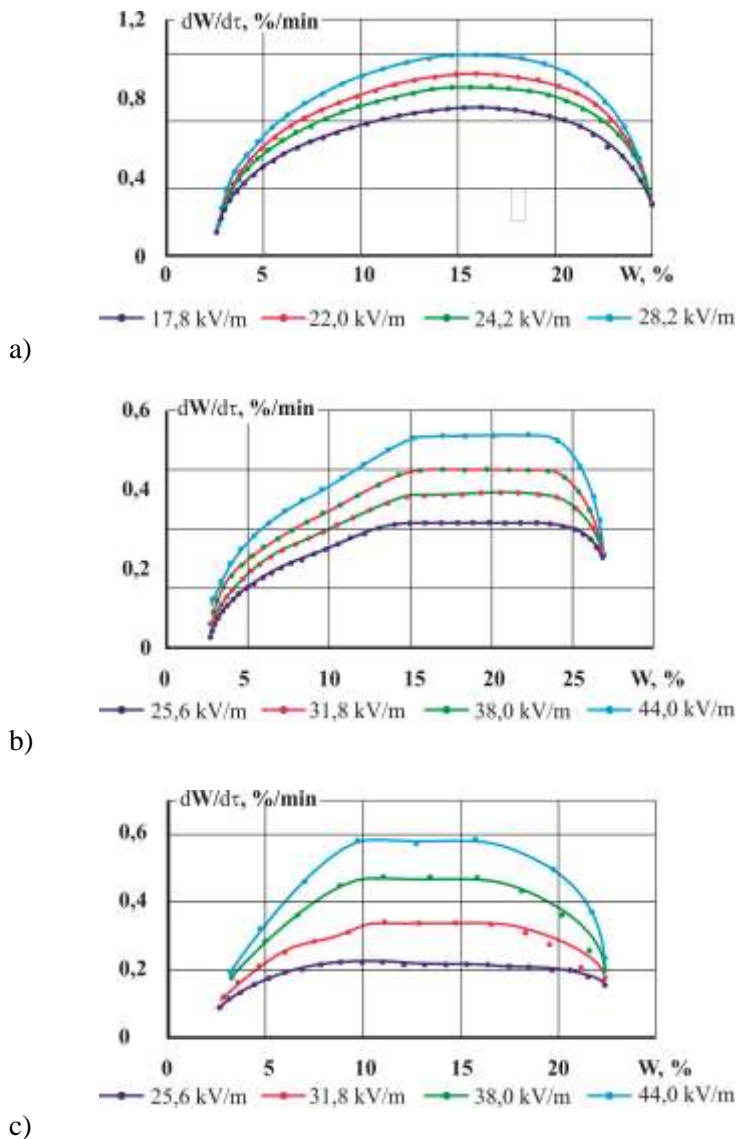


Fig.5.15. Curbele vitezei de uscare a produselor oleaginoase cu aport de energie UHF și temperatura agentului de uscare 110 °C: a) cătină albă; b) miez de sâmbure de migdal; c) semințe de floarea-soarelui.

La uscarea combinată, analogic uscării în câmp U.H.F., la temperatura agentului de uscare 20 °C, mărirea intensității câmpului electromagnetic este însoțită de creșterea valorii maxime a vitezei de uscare. Astfel, la uscarea cătinii albe, mărirea intensității câmpului electromagnetic de la 17,8 kV/m la 28,8 kV/m, la temperatura agentului de uscare 60 °C, a provocat o creștere a vitezei de uscare de la 0,245 %/min. la 0,335 %/min (figura 5.14.a) și la temperatura de 110 °C – de la 0,87 %/min. la 1,20 %/min (figura 5.15 a).

Același fenomen a persistat și la uscarea în câmp U.H.F. a miezului de sâmbure de migdal și a semințelor de floarea-soarelui. La temperatura agentului de uscare de 60 °C, mărirea intensității câmpului electromagnetic de la 25, 6 kV/m la 44,0 kV/m provoacă o creștere a vitezei de uscare a miezului de sâmbure de migdal de la 0,13 %/min. până la 0,22 %/min., iar a semințelor de floarea-soarelui – de la 0,18 %/min. la 0,23 %/min.

La temperatura agentului de uscare de 110 °C, mărirea intensității câmpului U.H.F. de 17,8 kV/m la 28,8 kV/m provoacă o creștere a vitezei de uscare a cătinii albe de la 0,87 %/min. la 1,20 %/min., iar mărirea intensității câmpului U.H.F. de la 25, 6 kV/m la 44,0 kV/m provoacă aceeași creștere a vitezei de uscare a miezului de sâmbure de migdal de la 0,32 %/min. la 0,53 %/min. și a semințelor de floarea-soarelui – de la 0,22 %/min. la 0,59 %/min.

Dacă de comparat valorile vitezelor maxime de uscare la uscare combinată – prin convecție în câmp U.H.F. (temperatura agentului de uscare > 60 °C) cu cele la uscarea în câmp U.H.F. (temperatura agentului de uscare 20 °C), atunci observăm că, la temperatura de 60 °C, viteza de uscare a cătinii albe s-a redus în mediu cu 11,1 %, a miezului de sâmbure de migdal și a semințelor de floarea-soarelui – cu 7,0 %. La temperatura agentului de uscare 110 °C, în comparație cu 20 °C, viteza de uscare a cătinii albe s-a mărit în mediu cu 200,0 %, a miezului de sâmbure de migdal – cu 139,4 % și a semințelor de floarea-soarelui – cu 68,0 % (figura 5.16).

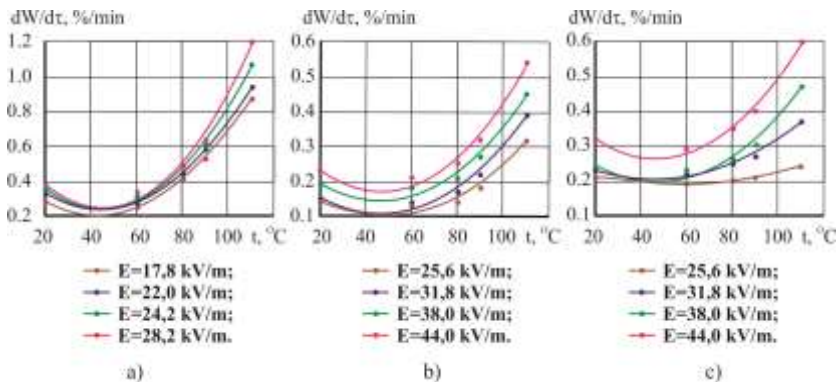


Fig.5.16. Corelația dintre viteza de uscare maximă a produselor oleaginoase și temperatura agentului de uscare la aplicarea energiei UHF: a) cătină albă; b) miez de sămăbure de migdal; c) semințe de floarea-soarelui.

Tot din figura 5.16 se observă că valori minime ale vitezei de uscare pentru toate produsele studiate se obțin la temperatura agentului de uscare 50 $^{\circ}C$. La mărirea în continuare a temperaturii agentului de uscare, viteza de uscare începe și ea să crească, atingând valori corespunzătoare celei de la temperatura de 20 $^{\circ}C$ la temperaturi ale agentului de uscare de cca 70 $^{\circ}C$. Aceasta ne permite să concluzionăm că intensificarea procesului de uscare prin mărirea temperaturii agentului de uscare la uscarea în câmp U.H.F. este justificată numai începând cu temperatura de 70 $^{\circ}C$. Reducerea vitezei de uscare odată cu creșterea temperaturii agentului de uscare până la temperatura de cca 50 $^{\circ}C$ este cauzată de reducerea gradientului de temperatură – una din forțele motrice ale procesului. Mărirea în continuare a temperaturii agentului de uscare provoacă creșterea energiei cinetice a moleculelor de umiditate din stratul de frontieră, ceea ce și ajută la creșterea vitezei de uscare.

În figura 5.17 este prezentată corelația dintre constanta de uscare K_I și intensitatea câmpului electromagnetic la aplicarea curenților U.H.F. în procesul de uscare. Din grafice se observă că, la temperatura agentului de uscare 20 $^{\circ}C$ și 60 $^{\circ}C$, pentru toate produsele studiate, constanta de uscare K_I are o tendință de reducere a valorilor sale, observându-se o mică creștere la intensități avansate

ale câmpului electromagnetic, începând cu 35 kV/m (figurile 5.17 a; 5.17.b). La temperatura agentului de uscare 110 °C, constanta de uscare K_I este în creștere în toată limita de intensități ale câmpului electromagnetic studiate. Aceasta și justifică valorile înalte ale vitezei de uscare în prima perioadă la această temperatură a agentului de uscare (figura 5.17 c).

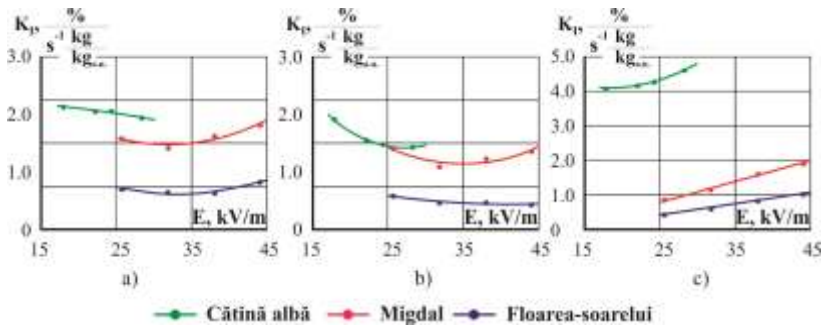


Fig.5.17. Corelația dintre constanta de uscare K_I și intensitatea câmpului electromagnetic la uscarea produselor oleaginoase în câmp UHF: a) temperatura agentului de uscare 20 °C; b) temperatura agentului de uscare 60 °C; c) temperatura agentului de uscare 110 °C.

În figura 5.18 este prezentată corelația dintre coeficientul de uscare K_{II} și intensitatea câmpului electromagnetic la aplicarea curenților U.H.F. în procesul de uscare.

După cum se observă din grafice, la toate temperaturile studiate ale agentului, odată cu creșterea intensității câmpului electromagnetic, se mărește și valoarea coeficientului de uscare K_{II} . Aceasta ne demonstrează faptul că, datorită creșterii gradientului de temperatură și de presiune și datorită aplicării moleculelor de apă ale unei energii cinetice suplimentare, aplicarea sursei interne de căldură intensifică procesul de uscare, în special, în perioada a doua de uscare – perioada cea mai dificilă la uscarea prin convecție.

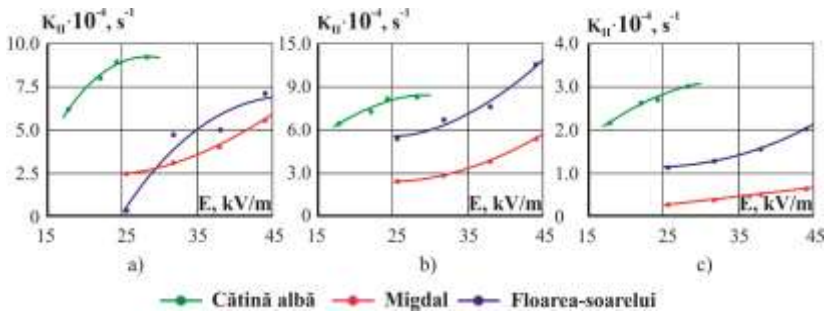


Fig.5.18. Corelația dintre coeficientul de uscare K_d și intensitatea câmpului electromagnetic la uscarea produselor oleaginoase în câmp U.H.F.: a) temperatura agentului de uscare 20 °C; b) temperatura agentului de uscare 60 °C; c) temperatura agentului de uscare 110 °C.

În figura 5.19 este redată corelația grafică dintre consumul specific de energie N (kW/kg) la uscarea unui kg de produse oleaginoase prin metoda combinată: convecție în câmp U.H.F. și temperatura agentului de uscare t (°C).

Din grafice (figura 5.19) se vede că această corelație poartă un caracter nelinear, observându-se pentru toate produsele și pentru toate intensitățile câmpului electromagnetic studiate două extreme bine evidențiate: la temperatura agentului de uscare de cca 50 °C și la temperatura agentului de uscare de cca 100 °C.

Mărirea temperaturii agentului de uscare la tratarea termică a produselor umede în câmp U.H.F. de la 20 °C la 50 °C, conduce la reducerea valorii gradientului de temperatură ∇T , care, la rândul său, micșorează viteza deplasării umidității din straturile centrale ale produsului către cele superficiale. Aceasta provoacă creșterea rezistențelor deplasării umidității prin spațiul intercelular, deci și a consumului de energie necesar pentru depășirea lor.

Creșterea în continuare a temperaturii agentului de uscare de la 50 °C la cca 80 °C este însoțită de o diminuare ușoară a consumului specific de energie datorată compensării reducerii influenței gradientului de temperatură prin creșterea energiei cinetice a

moleculilor de apă aflate la suprafață. Aceasta le atribuie o mobilitate mai avansată.

În limitele de temperaturi de la 80 °C și până la 110 °C, pentru diferite produse, variația consumului specific de energie a fost diferită. Aceasta depinde, în mare măsură, de valoarea rezistențelor deplasării umidității în produs, care, la rândul său, sunt funcție de dimensiunile capilarelor, forma legăturilor umidității de scheletul produsului etc. Totodată, este de menționat că, în această limită de temperaturi, caracterul curbelor este analogic cu cel al uscării prin convecție (figura 5,19, cazul $E = 0$ kV/m). Reducerea consumului specific de căldură la uscarea combinată, în comparație de cea prin convecție, este justificată prin reducerea duratei de uscare, deci și a pierderilor de energie cu agentul de uscare și în mediul ambiant.

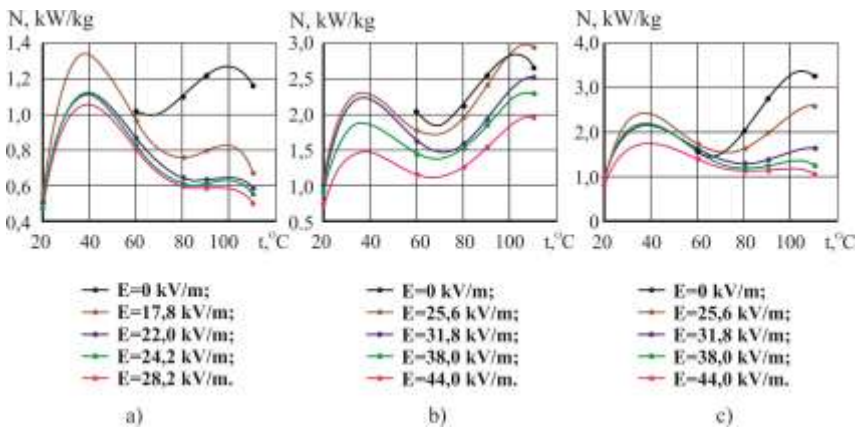


Fig.5.19. Corelația dintre consumul de energie la uscarea combinată (U.H.F. + convecția) a unui kg de produse oleaginoase și temperatura agentului de uscare: a) cătină albă; b) miez de sâmbure de migdal; c) semințe de floarea-soarelui.

Interes deosebit prezintă și variația consumului specific de energie în funcție de variația intensității câmpului electromagnetic (figura 5.20).

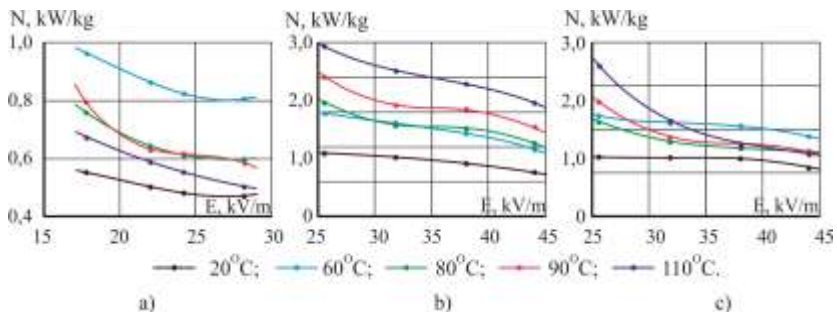


Fig.5.20. Corelația dintre consumul specific de energie la uscarea combinată (UHF + convecția) a produselor oleaginoase: a) cătină albă; b) miez de sâmbure de migdal; c) semințe de floarea-soarelui.

După cum se observă din grafice (figura 5.20), pentru toate trei produse oleaginoase studiate, la mărirea intensității câmpului electromagnetic, deci și a puterii sursei interne de căldură, consumul specific de energie este în scădere. Reducerea consumului specific de energie pentru acest caz este consecință a reducerii duratei tratării termice.

Deci putem conchide, că intensificarea procesului de uscare prin mărirea intensității câmpului electromagnetic poate fi considerată eficientă.

În tabelul 5.5 sunt prezentate rezultatele procesului de uscare combinată: prin convecție în combinație cu curenții U.H.F. a cătinii albe, la viteza agentului de uscare 1,1 m/s.

Din tabelul 5.5, observăm că durata minimă a procesului de uscare a cătinii albe prin metoda combinată – 25 min. a fost la intensitatea câmpului electromagnetic 28,2 kV/m și la temperatura agentului de uscare 110 °C. Acest regim de uscare s-a însoțit de un consum de energie de 0,504 kW/kg produs inițial. Din punct de vedere al eficienței energetice, se evidențiază regimul de uscare combinat la aceeași intensitate a câmpului electromagnetic de 28,2 kV/m, la temperatura agentului de uscare corespunzătoare mediului ambiant – de 20 °C. Regimul menționat s-a sondat cu un consum de energie de 0,473 kW/kg produs inițial și cu o durată de 78 min.

Tabelul 5.5. Caracteristicile cinetice ale procesului de uscare combinată prin convecție + UHF a cătinii albe

T, în °C	dW/dτ 10 ⁻³ , %/s	Wcr, %	K _I , % $\frac{m^2 \cdot s}{kg_{SU}}$	K _{II} 10 ⁻⁴ , s ⁻¹	Duratele perioadelor de uscare, min		N, kW/kg
					τ ₁	τ ₂	
E=17,8 kV/m							
20	4.67	9.832	2.144	6.213	63	44	0.553
60	4.17	9.694	1.957	6.424	69	51	0.964
110	14.50	10.194	4.085	21.590	19.5	15.5	0.674
E=22,0 kV/m							
20	5.48	10.008	2.050	7.994	54	37	0.502
60	4.85	9.878	1.555	7.292	58	45	0.863
110	16,67	10.282	4.167	26.340	16.5	13.5	0.588
E=24,2 kV/m							
20	5.95	10.111	2.051	8.965	47	37	0.480
60	5.15	9.555	1.482	8.161	56	40	0.824
110	17,83	10.417	4.269	27.080	15.5	12.5	0.554
E=28,2 kV/m							
20	6.38	10.197	1.939	9.226	42	36	0.473
60	5.60	10.282	1.428	8.283	49	41	1.835
110	20,00	10.683	4.596	30.160	13.5	11.5	0.504

În tabelul 5.6, sunt prezentate rezultatele procesului de uscare combinată: prin convecție în combinație cu curenții U.H.F. a miezului de sâmbure de migdal, la viteza agentului de uscare 1,1 m/s.

Tabelul 5.6. Caracteristicile cinetice ale procesului de uscare combinată prin convecție + UHF a miezului de sâmbure de migdal

T, în °C	$dW/d\tau \cdot 10^{-3}$, %/s	W _{cr} , %	K_I , % $\frac{m^2 \cdot s \cdot kg}{kg_{SU}}$	$K_{II} \cdot 10^{-4}$, s ⁻¹	Duratele perioadelor de uscare, min		N, kW/kg
					τ_1	τ_2	
E=25,6 kV/m							
20	2.30	11.974	1.588	2.471	143	124	1.093
60	2.10	12.018	1.411	2.364	154	136	1.769
110	5.33	11.074	0.869	2.528	70	56	2.93
E=31,8 kV/m							
20	2.58	10.988	1.419	3.142	131	95	1.010
60	2.37	10.242	1.099	2.856	148	102	1.619
110	6.50	11.173	1.169	3.713	65	40	2.507
E=38,0 kV/m							
20	3.10	10.426	1.629	4.027	111	190	0.920
60	2.83	10.298	1.229	3.761	123	210	1.438
110	7.54	10.591	1.631	4.932	55	93	2.278
E=44,0 kV/m							
20	3.90	10.622	1.823	5.611	88	59	0.765
60	3.60	10.479	1.631	5.395	97	63	1.154
110	8.97	10.895	1.931	6.252	46	32	1.958

Din tabel, se observă că regimul optim de uscare a miezului de sâmbure de migdal atât din punct de vedere al consumului de energie, cât și din punct de vedere al intensificării, procesului este la intensitatea câmpului electromagnetic de 44,0 kV/m. Totodată, o intensificare maximă a procesului s-a depistat la temperatura agentului de uscare maxim de 110 °C, la care durata de uscare a fost de 32 min. Procesul a fost însoțit de un consum de energie de 1,958 kW/kg produs inițial. Consumul minim de energie de 0,765 kW/kg produs inițial a fost la temperatura agentului de uscare 20 °C.

În tabelul 5.7 sunt prezentate rezultatele procesului de uscare combinată: prin convecție în combinație cu curenții U.H.F. a semințelor de floarea-soarelui la viteza agentului de uscare 1,1 m/s.

Tabelul 5.7. Caracteristicile cinetice ale procesului de uscare combinată prin convecție + UHF a semințelor de floarea-soarelui

T, în °C	dW/dτ·10 ⁻³ , %/s	Wcr, %	K _I , % $\frac{m^2 \cdot s \cdot kg}{kg_{SU}}$	K _{II} ·10 ⁻⁴ , s ⁻¹	Duratele perioadelor de uscare, min		N, kW/kg
					τ ₁	□ ₂	
E=25,6 kV/m							
20	3.233	8.597	0.691	0.306	122	53	1.024
60	3,183	9.388	0.587	5.462	116	84	1.743
110	3.600	7.679	0.471	11.270	75	55	2.591
E=31,8 kV/m							
20	3.667	8.995	0.634	4.699	101	59	1.021
60	3.417	8.031	0.466	6.725	114	61	1.619
110	6.183	8.806	0.632	12.79	44	36	1.637
E=38,0 kV/m							
20	3.850	7.726	0.622	5.006	93	52	1.003
60	3,617	8.694	0.469	7.593	111	49	1.561
110	7.917	8.806	0.867	15.59	37	23	1.216
E=44,0 kV/m							
20	5.250	7.970	0.823	7.116	72	43	0.855
60	5,017	7.703	0.427	10.56	89	46	1.390
110	9.783	8.949	1.043	20.22	30	20	1.076

Regimul optim de uscare combinată a semințelor de floarea-soarelui, ca și a miezului de sămbure de migdal, a fost la intensitatea câmpului U.H.F. de 44,0 kV/m. Durata minimă de uscare – 50 min. a fost la temperatura agentului de uscare 110 °C, fiind însoțită de un consum de energie de 1,076 kW/kg produs inițial. Consumul minim de energie – 0,855 kW/kg produs inițial a fost la temperatura agentului de uscare de 20 °C, procesul având o durată de 115 min.

Analiza datelor prezentate în tabelele 5.5, 5.6 și 5.7 confirmă ipoteza avantajului utilizării în calitate de sursă de energie a câmpurilor electromagnetice U.H.F. atât din punct de vedere al reducerii consumului de energie, cât și din punct de vedere al intensificării procesului de uscare. Astfel, la mărirea intensității câmpului electromagnetic în procesul de uscare a cătinii albe de la 17,8 la 28,2 kV/m, la temperatura agentului de uscare constante de 20 °C, consumul de energie s-a redus de 1,32 ori și durata procesului de uscare – de 1,37 ori. Aceeași tendință se observă și la celelalte temperaturi ale agentului de uscare studiate. La mărirea intensității câmpului electromagnetic în limitele de la 25,6 la 44,0 kV/m și la aceeași temperatură a agentului de uscare de 20 °C, consumul de energie pentru miezul de sâmbure de migdal s-a redus de 1,42 ori și durata procesului de uscare – de 1,81 ori, iar la uscarea semințelor de floarea-soarelui consumul de energie s-a redus de 1,20 ori și durata procesului – de 1,52 ori.

5.3. Analiza cineticii procesului de uscare a produselor oleaginoase în câmp UHF cu aport de energie în regim de impuls

În capitolul 4 ”Studiul fenomenelor de transfer în materialele complexe eterogene la aplicarea sursei interne de căldură în impuls” s-a demonstrat posibilitatea și avantajul aplicării periodice a sursei interne de căldură, astfel încât pe tot procesul de uscare, ∇T să-și mențină valori maxime.

Analiza cineticii procesului de uscare a produselor oleaginoase în câmp U.H.F. cu aport de energie în regim de impuls s-a realizat în baza aceluiași produse oleaginoase studiate anterior, și anume: cătina albă, miezul de sâmbure de migdal și semințele de floarea-soarelui.

S-a studiat cinetica procesului de uscare pentru cazul temperaturii agentului de uscare de 20 °C, la care, la aportul continuu de energie a câmpului U.H.F., s-a depistat un consum minim de energie, confirmat prin valorile maxime ale gradientului de temperatură.

Intensitatea câmpului electromagnetic s-a calculat pentru fiecare produs în parte, astfel încât la momentul atingerii de către

gradientul de temperatură a valorilor maxime, temperatura produsului să nu depășească cea recomandată de regimul tehnologic. Pentru cătina albă, conform [3, 40, 320], s-a acceptat temperatura de cca 60 °C, temperatură la care sunt evitate pierderile de acid ascorbic, dar suficientă pentru descompunerea fermenților. Conform formulei 4.55, la temperatura cătinii albe de 60°C, gradientul de temperatură va obține valori maxime la intensitatea câmpului electromagnetic de 17,8 kV/m.

Temperatura miezului de sâmbure de migdal în procesul de uscare s-a acceptat în conformitate cu hotărârea Ministerului agriculturii SUA în colaborare cu Asociația producătorilor de migdal din statul California [1, 13, 35, 36], conform căreia, începând cu 1 septembrie 2007, toată producția de migdal, în mod obligatoriu, este tratată termic la o temperatură de 93 °C, în scopul distrugerii bacteriilor de salmonelă. Pentru menținerea valorilor maxime ale gradientului de temperatură la acest regim, conform formulei 4.55, s-a acceptat intensitatea câmpului electromagnetic de 44,0 kV/m.

Cinetica procesului de uscare a semințelor de floarea-soarelui în regim de impuls a fost studiată pentru temperatura produsului de cca 90 °C, care, conform formulei 4.55, a fost menținută cu aceeași intensitate a câmpului electromagnetic de 44,0 kV/m. Conform [68, 104, 248, 318], anume tratarea termică în limitele temperaturilor de 80–90°C miezul semințelor obține duritatea necesară pentru presare, are loc distrugerea finală a structurii miezului, se formează multipli pori, are loc dizolvarea completă a fosfatidelor în ulei.

Uscarea s-a realizat prin aport de energie U.H.F. în regim de impuls. Duratele de încălzire și de repaus pe parcursul unui impuls s-au calculat online în funcție de modificarea proprietăților electrofizice și termofizice ale produsului. Calculul duratei de încălzire (de aport al energiei U.H.F.) s-a efectuat conform formulei 4.22, iar calculul duratei de repaus (de lipsă a câmpului U.H.F.) – conform formulei 4.29.

În figura 5.21-5.23 a) sunt prezentate curbele de uscare $W = f(\tau)$ (curbele 1 și 2) ale cătinii albe (figura 5.21. a), ale miezului de sâmbure de migdal (figura 5.22. a) și ale semințelor de floarea-soarelui (figura 5.23. a) la uscarea în câmp U.H.F. în regim de impuls și flux de aer de temperatura mediului – 20 °C.

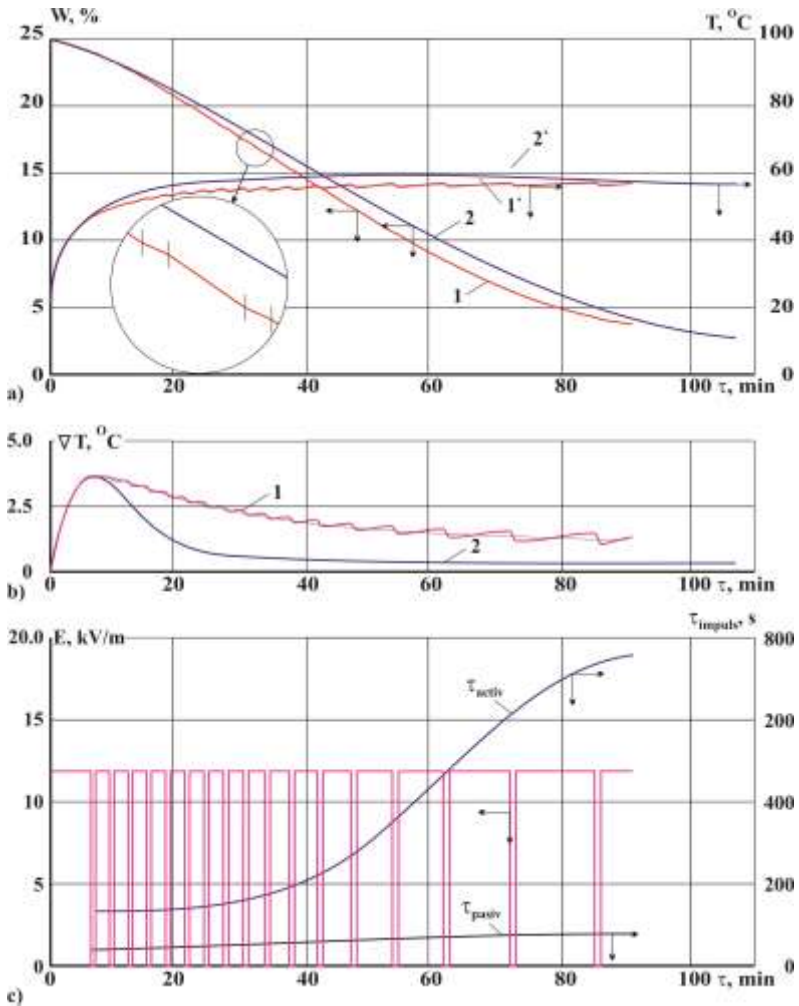


Fig.5.21. Caracteristicile cinetice ale procesului de uscare a cătinii albe în câmp UHF: a) curbele de uscare și de temperatură (1, 1' - regim de impuls, 2, 2' - regim continuu); b) variația gradientului de temperatură în funcție de durata procesului de uscare (1 - regim de impuls, 2 - regim continuu); c) variația duratei perioadei active (de aport de energie) și a celei pasive (de repaos) în funcție de durata procesului de uscare.

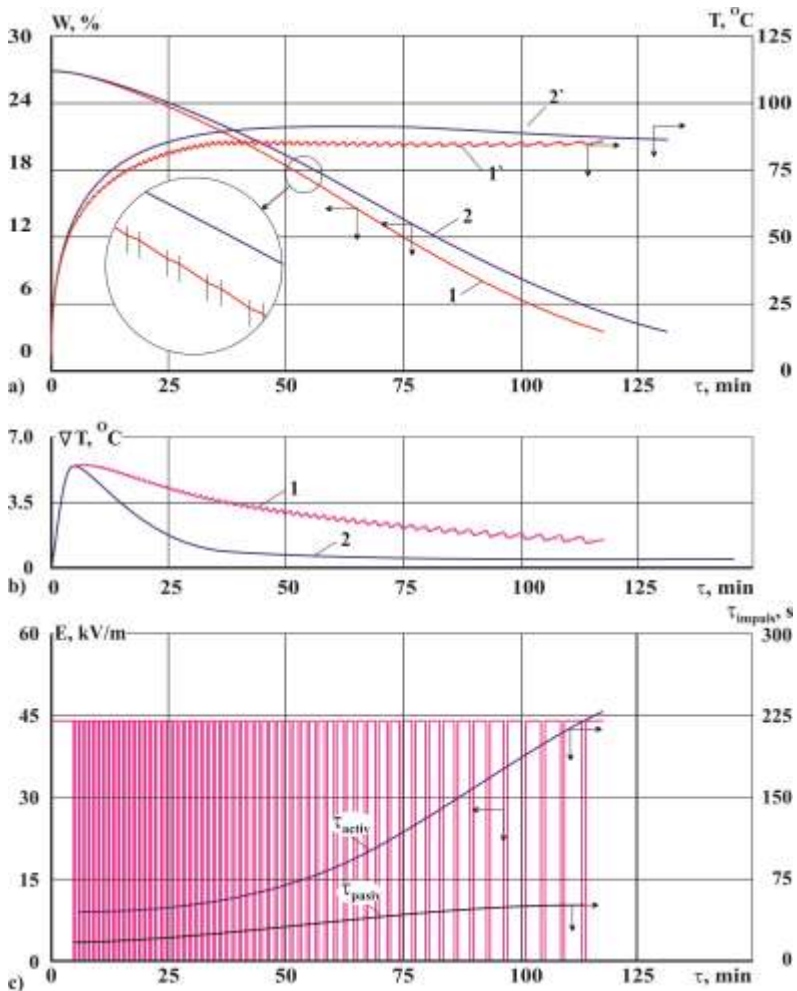


Fig.5.22. Caracteristicile cinetice ale procesului de uscare a miezului de sâmbure de migdal în câmp UHF: a) curbele de uscare și de temperatură (1, 1' - regim de impuls, 2, 2' - regim continuu); b) variația gradientului de temperatură (1 - regim de impuls, 2 - regim continuu) în funcție de durata procesului de uscare; c) variația duratei perioadei active (de aport de energie) și a celei pasive (de repaos) în funcție de durata procesului de uscare.

Caracterul grafic general al curbelor de uscare prin impuls (curbele 1) întru totul corespunde caracterului curbelor de uscare cu aport de energie continuu (curbele 2), cu excepția unei mici devieri în timp. Aceasta încă odată confirmă afirmația teoreticienilor A.V. Likov, A. S. Ghinzburg; V. V. Crasnikov, M. A. Grișin ș.a. [109, 130, 144, 202, 213], precum că caracterul curbelor, în mare măsură, este funcție de structura fizico-mecanică a produsului și de formele de legătură a umidității cu scheletul. Totodată, pe curbele de uscare sunt bine evidențiate perioadele cu aport de energie U.H.F. (panta cu un unghi de înclinare avansat) și perioadele de relaxare (panta cu un unghi de înclinare redus).

Din grafice se observă că, la aportul sursei interne de energie prin impuls, durata de uscare, în comparație cu aportul continuu de energie, s-a redus. Astfel, durata de uscare a cătinii albe a fost de 90,8 min. (cu 15,1 % mai redusă în raport cu uscarea în câmp U.H.F. continuu), durata de uscare a miezului de sămbure de migdal a fost de 118,3 min. (cu 19,6% mai redusă) și a semințelor de floarea-soarelui – 94,5 min. (cu 17,8% mai redusă).

Pe curbele de uscare cu aport de energie U.H.F. prin impuls (curbele 1 din figura 5.21-23 a) sunt bine evidențiate unele ondulații (curba mărită în cerc) cu apariția extremelor. Vârful de extremă apare la momentul deconectării sursei de energie. Aceasta indică faptul că, la momentul deconectării sursei de energie, are loc redistribuirea formelor de rezistență a transferului de masă și de căldură în direcția reducerii acestora, ceea ce favorizează transferul de umiditate.

În aceleași figuri 5.21-23 a) (curbele 1` și 2`) este prezentat caracterul variației temperaturii produselor oleaginoase pe parcursul procesului de uscare. După cum se observă din grafice, pentru ambele cazuri de aport de energie (continuu și în formă de impuls), odată cu creșterea duratei de uscare, temperatura produselor crește până la atingerea unor valori maxime.

Valoarea temperaturii maxime obținute este funcție dependentă de intensitatea câmpului electromagnetic, de proprietățile electrofizice și termofizice ale produsului și de metoda de aport de energie. Pentru cazul aportului continuu al energiei U.H.F. (figurile

5.21-23 a) curbele 2`), ele au fost următoarele: cătină albă – 59,4°C; miez de sâmbure de migdal – 91,3 °C și semințe de floarea-soarelui – 96,0 °C. Pentru cazul aportului câmpului U.H.F. prin impuls (figurile 5.21-23 a) curbele 1`) valorile maxime ale temperaturii produselor au fost mai reduse, și anume: cătină albă – 56,1°C; miez de sâmbure de migdal – 85,2 °C și semințe de floarea-soarelui – 88,7 °C.

Durata de creștere a temperaturii pentru diferite produse este diferită și a constituit: pentru cătina albă – 23 min, pentru miezul de sâmbure de migdal și pentru semințele de floarea-soarelui – 34 min. În continuare, pe toată perioada vitezei de uscare constante, pentru ambele metode ale aportului de energie, temperatura produsului s-a menținut relativ constantă, toată energia aplicată produsului consumându-se la evaporarea umidității aflate în stare liberă și la depășirea rezistențelor la deplasarea acesteia prin capilare către straturile exterioare.

În perioada vitezei de uscare în scădere, la încălzirea prin impuls, produsul își menține temperatura maximă obținută (curbele 1`), pe când la încălzirea continuă se observă o scădere a temperaturii cu cca 5 % (curbele 2`). Scăderea temperaturii produsului, la încălzirea continuă, este cauzată de creșterea consumului de energie la ruperea legăturilor chimice și mecanice dintre umiditate și scheletul produsului și de reducerea cantității de căldură degajată în produs drept consecință a reducerii numărului de molecule polare de apă, lucru menționat și în literatură [38, 45, 51].

Fenomenul de scădere a temperaturii produsului în perioada a doua de uscare, practic, dispare la încălzirea prin impuls. Aceasta se datorează redistribuirii uniforme a umidității pe perioada de relaxare, de lipsă a aportului de energie.

Este de menționat că, la uscarea cu aport de energie prin impuls, creșterea temperaturii poartă un caracter pulsant, ceea ce permite de a obține o distribuire mai lentă a temperaturii în volum.

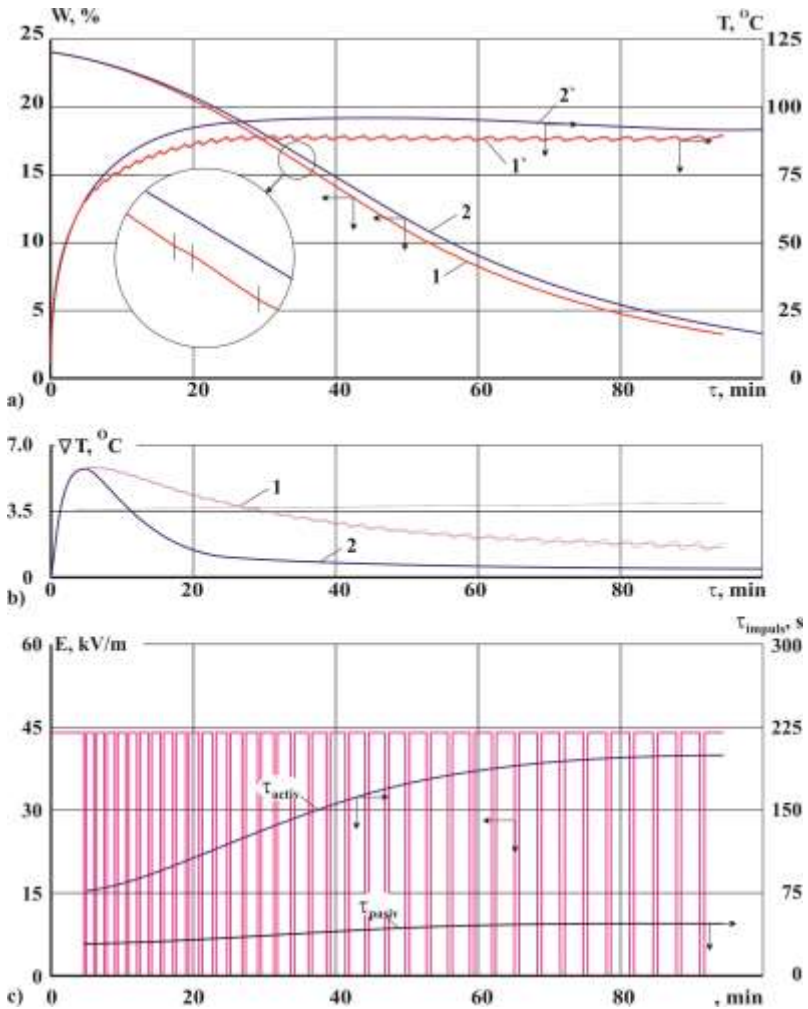


Fig.5.23. Caracteristicile cinetice ale procesului de uscare a semințelor de floarea-soarelui în câmp UHF: a) curbele de uscare și de temperatură (1, 1'- regim de impuls, 2, 2'- regim continuu); b) variația gradientului de temperatură (1 - regim de impuls, 2 - regim continuu) în funcție de durata procesului de uscare; c) variația duratei perioadei activeși a celei pasiveîn funcție de durata procesului de uscare.

Fenomenul de scădere a temperaturii produsului în perioada a doua de uscare practic dispare la încălzirea prin impuls. Aceasta se datorează redistribuirii uniforme a umidității pe perioada de relaxare, de lipsă a aportului de energie.

Este de menționat, că la uscarea cu aport de energie prin impuls, creșterea temperaturii poartă un caracter pulsant, ceea ce permite de a obține o distribuire mai lentă a temperaturii în volum.

După cum s-a menționat anterior, una din forțele motrice ale procesului de uscare este gradientul de temperatură. În figurile 5.21-5.23 b), este prezentată variația valorii gradientului de temperatură pe parcursul procesului de uscare a produselor oleaginoase pentru cazul aportului de căldură continuu (curba 2) și prin impuls (curba 1).

Din grafice se observă că, la încălzirea continuă în câmp U.H.F., gradientul de temperatură crește până la o valoare oarecare maximă, dependentă de proprietățile termofizice ale produsului și de puterea sursei de căldură, în cazul nostru, de intensitatea câmpului electromagnetic, și mai apoi scade până la o oarecare altă valoare constantă minimă (curba 2). Valorile maxime și minime ale gradientului de temperatură sunt prezentate în tabelul 5.8.

Tabelul 5.8. Valorile maxime și minime ale gradientului de temperatură la uscarea produselor oleaginoase în câmp UHF.

Produsul	Regimul de aport de energie	E, în kV/m	Durata de atingere a ∇T_{\max} , min	∇T_{\max} , °C/m	∇T_{\min} , °C/m
Cătină albă	continuu	17,8	429±20,3	3,6±0,17	0,3±0,02
	prin impuls	17,8	475±23,2	3,7±0,17	1,2±0,05
Miez de sămbure de migdal	continuu	44,0	291±14,1	5,4±0,25	0,5±0,02
	prin impuls	44,0	315±15,6	5,6±0,27	1,2±0,06
Semințe de floarea-soarelui	continuu	44,0	275±13,3	5,8±0,27	0,6±0,02
	prin impuls	44,0	297±14,5	5,9±0,26	1,2±0,05

* P < 0,05

Fenomenul menționat este descris în capitolul 4 al prezentei lucrări. Aplicarea în formă de impuls a sursei interne de căldură din momentul atingerii de către gradientul de temperatură a unor valori maxime cu duratele de aport de energie și de repaus calculate conform formulelor 4.58 – 4.60 și 4.61 – 4.63 a permis menținerea valorilor avansate a acestui gradient pe tot parcursul procesului de uscare (curbele 1 din figurile 5.21-5.23). Astfel, dacă, la aportul continuu de energie U.H.F., viteza maximă de scădere a gradientului de temperatură a fost în medie de 0,26 °C/(m·min.) (cătină albă – 0,21 °C/(m·min.); miez de sâmbure de migdal – 0,22 °C/(m·min.); semințe de floarea-soarelui – 0,34 °C/(m·min.)), apoi la aportul prin impuls a energiei U.H.F. – numai 0,09 °C/(m·min.) (cătină albă – 0,073 °C/(m·min.); miez de sâmbure de migdal – 0,074 °C/(m·min.); semințe de floarea-soarelui – 0,11 °C/(m·min.)). Deci gradientul de temperatură pe parcursul uscării s-a menținut de cca 2,9 ori mai mare.

În figura 5.21-23 c), este prezentată variația duratei perioadei active (de aport de energie) și a perioadei pasive (de repaus) a unui impuls de aport de energie U.H.F. în funcție de durata procesului de uscare. Aceste perioade s-au calculat conform formulelor 4.58 – 4.60 și 4.61 – 4.63 din considerentele ca gradientul de temperaturi să obțină valori maxime. Intensitatea câmpului electromagnetic s-a calculat conform formulei 4.55, astfel încât gradientul de temperatură să-și mențină valori maxime la temperatura în centrul produsului corespunzătoare cerințelor tehnologice. În așa mod, din grafice se observă că, pentru cazul menținerii intensității câmpului electromagnetic constant (cătină albă – 17,8 kV/m, miez de sâmbure de migdal și semințe de floarea-soarelui – 44,0 kV/m), atât durata activă, cât și durata pasivă a impulsului, pe parcursul uscării produselor oleaginoase, sunt în creștere. Cu atât mai mult, durata perioadei active crește mai rapid în comparație cu durata perioadei pasive.

Funcțiile matematice ale duratelor active și pasive ale impulsului de aport de energie U.H.F. la uscarea produselor oleaginoase sunt prezentate în tabelul 5.9. Ele reflectă adecvat acest proces, începând cu al 2-lea impuls sau de la a 380-a secundă pentru cătina albă și de la a 280-a secundă pentru miezul de sâmbure de migdal și pentru semințele de floarea soarelui.

Tabelul 5.9. Funcțiile matematice ale duratelor active și pasive a impulsului UHF la uscarea produselor oleaginoase

Produsul	Perioada impuls.	E, în kV/m	Funcția matematică (τ_{act} și τ_{pas} în s; τ în min)
Cătină albă	activă	17,8	$\tau_{act} = 0,132\tau - 3,524\tau + 145,92$
	pasivă	–	$\tau_{pas} = -3,0 \cdot 10^{-3} \tau^2 + 0,449\tau + 37,184$
Miez de sămbure de migdal	activă	44,0	$\tau_{act} = 5,0 \cdot 10^{-6} \tau^2 - 6,7 \cdot 10^{-3} \tau + 46,711$
	pasivă	–	$\tau_{pas} = -2,0 \cdot 10^{-7} \tau^2 + 6,9 \cdot 10^{-3} \tau + 13,675$
Semințe de floarea-soarelui	activă	44,0	$\tau_{act} = -4,0 \cdot 10^{-6} \tau^2 + 4,1 \cdot 10^{-2} \tau + 41,047$
	pasivă	–	$\tau_{pas} = -6,0 \cdot 10^{-7} \tau^2 + 6,7 \cdot 10^{-3} \tau + 19,802$

Creșterea duratei active (aportului de energie) a impulsului pe parcursul uscării este consecință a reducerii conținutului în umiditate, deci și a cantității de căldură degajată într-o unitate de timp sub acțiunea câmpului electromagnetic. Durata pasivă (de relaxare) crește datorită reducerii conductibilității termice a produsului la deshidratare [128, 148, 196, 198].

Aplicarea prin impuls a energiei câmpurilor electromagnetice a permis reducerea duratei totale de tratare termică a cătinii albe în câmp U.H.F. de 0,84 ori sau cu 14,17 min. (durata sumară a tuturor perioadelor de repaus ale impulsurilor pe parcursul uscării), a miezului de sămbure de migdal – de 0,73 ori sau cu 61,01 min. și a semințelor de floarea-soarelui – de 0,79 ori sau cu 37,77 min.

În figura 5.24 sunt prezentate curbele vitezei de uscare a produselor oleaginoase studiate cu aportul de energie U.H.F. prin impuls.

Din figură se observă că curba vitezei de uscare, la aplicarea energiei U.H.F. prin impuls (curba 1) în mediu, trasează aceeași formă ca și curba vitezei de uscare în câmp U.H.F. continuu, dar posedă un caracter oscilant. Extremele maxime ale oscilațiilor (impulsului) corespund perioadei active (de aport de energie), iar extremele minime – perioadei de repaus (de relaxare).

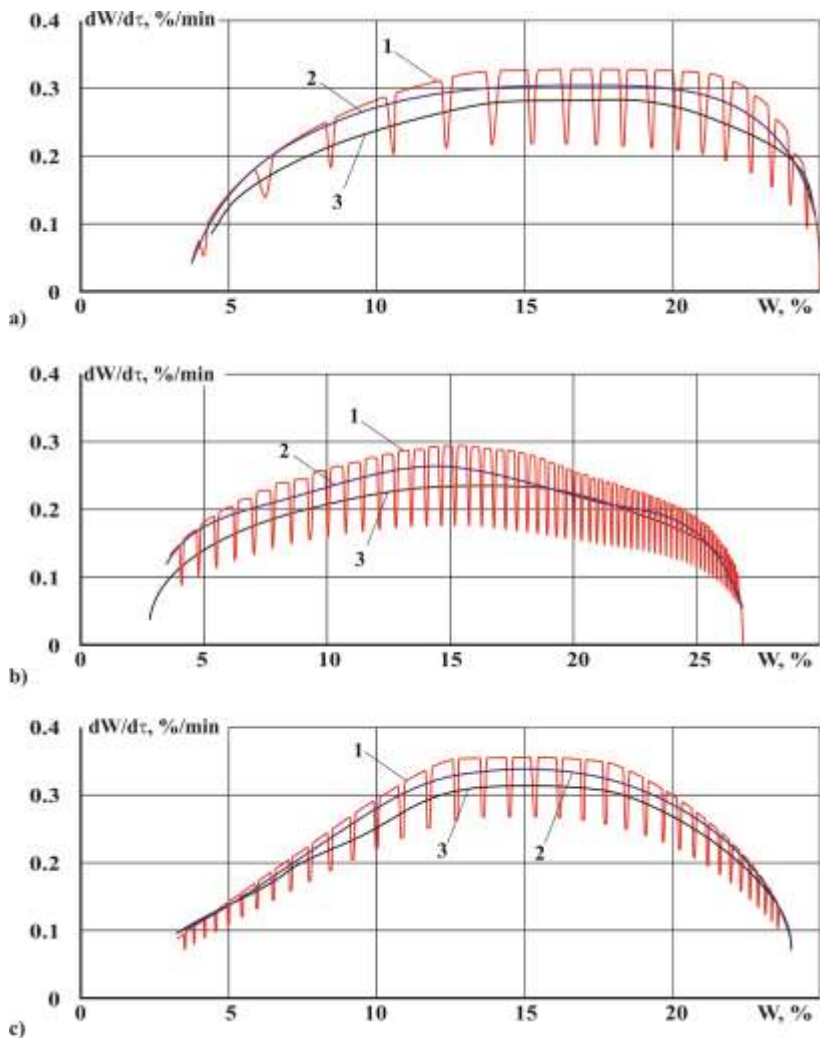


Fig.5.24. Curbele vitezei de uscare ale produselor oleaginoase în câmp UHF (1 – în regim de impuls, 2 – regresia funcției în regim de impuls, 3 – în regim continuu): a) cătină albă; b) miez de sâmbure de migdal; c) semințe de floarea-soarelui.

Astfel, viteza de uscare maximă în perioadele active ale aportului de energie la uscarea cătinii albe (figura 3.24 a) a fost de 0,328 %/min. și în perioadele pasive – de 0,218 %/min. În comparație cu viteza de uscare maximă, la aportul continuu de energie, s-a observat o creștere cu 116 % în perioadele active și o diminuare cu 77 % în perioadele pasive.

Același tablou persistă și la celelalte produse studiate. Viteza de uscare maximă în perioadele active ale aportului de energie, la uscarea miezului de sâmbure de migdal (figura 3.24 b), a fost de 0,219 %/min., în comparație cu aportul continuu de energie, creșterea fiind cu 124 %, iar în perioadele pasive de 0,176 %/ min, diminuarea în raport cu aportul continuu de energie fiind cu 75%. La uscarea semințelor de floarea-soarelui (figura 3.24 c), viteza de uscare maximă în perioadele active a fost de 0,359 %/min., în comparație cu aportul continuu de energie, creșterea fiind cu 114 %, iar în perioadele pasive – de 0,268 %/min., diminuarea fiind cu 85%.

În figura 5.25 sunt prezentate diagramele constantei de uscare K_I (a) și a coeficientului de uscare K_{II} (b) ale procesului de uscare cu aport de energie U.H.F. prin impuls și continuu.

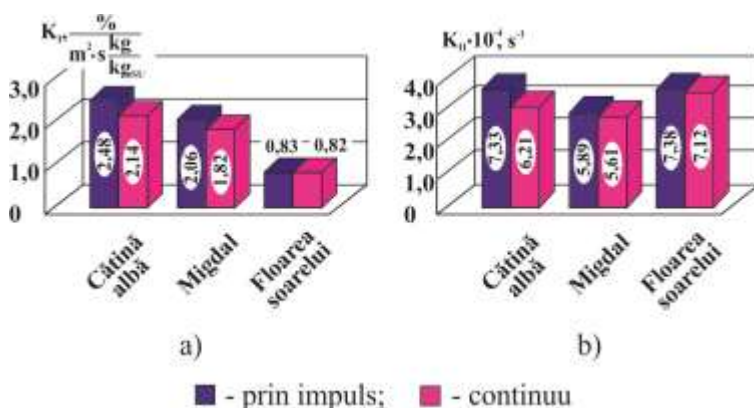


Fig.5.25. Constanta de uscare K_I (a) și coeficientul de uscare K_{II} (b) la uscarea produselor oleaginoase cu aport de energie UHF prin impuls și continuu.

Din grafice (figura 5.25) se observă că atât constanta de uscare K_I (a), cât și coeficientul de uscare K_{II} (b), la uscarea cu aport de energie U.H.F. prin impuls, este în creștere în raport cu cel continuu. Astfel, la uscarea cătinii albe cu aport de energie U.H.F. prin impuls ($E = 17,8$ kV/m) K_I a crescut cu 15,8 %, a miezului de sâmbure de migdal ($E = 44,0$ kV/m) – cu 12,8 % și a semințelor de floarea-soarelui – cu 0,4 %. K_{II} la uscarea cătinii albe prin impuls s-a mărit cu 17,9 %, a miezului de sâmbure de migdal – cu 5,0 % și a semințelor de floarea-soarelui – cu 3,7 %. Creșterea constantei de uscare și a coeficientului de uscare la uscarea prin impuls sunt consecința creșterii gradientului de temperatură, care, la rândul său accelerează transferul de masă în interiorul produsului.

Analiza comparativă a consumului specific de energie la uscarea produselor oleaginoase cu aport de energie U.H.F. prin impuls în raport cu aportul de energie continuu este bine redată în fig. 5.26.

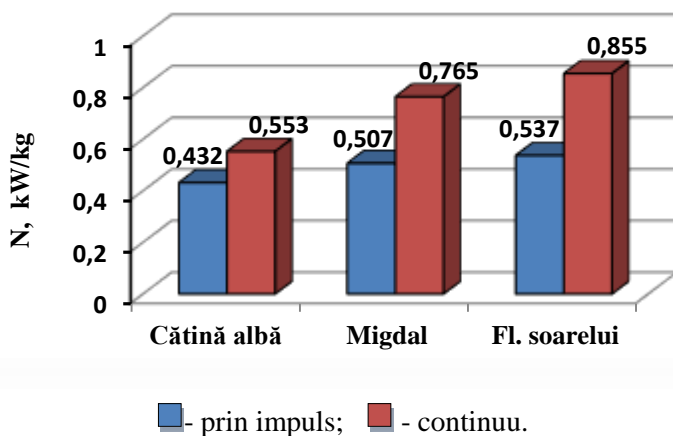


Fig.5.26. Consumul specific de energie la uscarea produselor oleaginoase în câmp UHF cu aportul de energie prin impuls și continuu. Temperatura agentului de uscare 20 °C.

Din grafic se observă o reducere a consumului specific de energie la uscarea cătinii albe cu aport de energie prin impuls, în

raport cu aportul de energie continuu cu 21,8 %, la uscarea miezului de sâmbure de migdal – cu 33,7 % și la uscarea semințelor de floarea-soarelui – cu 37,2 %.

Aceste reduceri ale consumului de energie sunt cauzate de reducerea duratei de uscare la aceeași intensitate a câmpului electromagnetic, de faptul că deshidratarea are loc și în perioadele de repaus (de relaxare) prin consumul energiei cumulative și utilizării mai eficiente a efectelor de inerție, de valorile înalte ale gradientului de temperatură, care reduc rezistențele la deplasarea umidității prin capilare. Totodată, reducerea consumului de energie este consecință și a înlăturării parțiale a umidității de pe suprafața produsului în stare lichidă sub acțiunea energiei cinetice a fluxului de aer.

În tabelul 5.8 sunt prezentate rezultatele procesului de uscare a produselor oleaginoase cu aport de energie U.H.F. prin impuls, la viteza agentului de uscare 1,1 m/s și temperatura 20 °C.

Tabelul 5.8. Caracteristicile cinetice ale procesului de uscare a produselor oleaginoase cu aport de energie UHF prin impuls

Produsul	E, kV/m	dW/dτ · 10 ⁻³ , %/s	W _{cr} , %	K _I ,*	K _{II} · 10 ⁻⁴ , în s ⁻¹	Duratele perioadelor de uscare, min		N, kW/kg
						τ ₁	τ ₂	
Cătină albă	17,8	5,467	7,326	2,484	7,326	62,6	28,2	0,432
Sâmbure de migdal	44,0	3,650	5,896	2,057	6,896	68,3	50,0	0,507
Semințe de floarea-soarelui	44,0	5,983	7,382	0,827	7,382	61,1	33,4	0,537

*K_I, în % / [m²·s(kg/kg_{SU})]

Analiza datelor prezentate în tabelul 5.8 confirmă ipoteza avantajului utilizării sursei de energie a câmpurilor electromagnetice U.H.F. cu aportul acesteia prin impuls. Astfel, aplicarea impulsională

a câmpului U.H.F. la uscarea cătinii albe a permis reducerea duratei de uscare cu 16,2 min (15 %) în raport cu aportul continuu de energie U.H.F. (tabelul 5.5) și a consumului de energie cu 21,8 %. La uscarea miezului de sâmbure de migdal, durata de uscare s-a redus cu 28,7 min (19 %) și consumul de energie – cu 33,7 %. La uscarea semințelor de floarea-soarelui, durata de uscare s-a redus cu 20,5 min. (18 %) și consumul de energie – cu 37,2 %.

5.4. Influența parametrilor proceselor de uscare la calitatea probelor uscate

Pentru evaluarea eficienței procedeele de uscare cercetate, o importanță deosebită au indicii calitativi ai produselor uscate. Eficiente pot fi considerate acele metode de uscare, care, pe lângă intensificarea procesului, însoțită de un consum redus de energie, asigură și o calitate înaltă a produsului finit.

În procesul prelucrării termice a produselor agroalimentare și, în particular, oleaginoase, au loc un șir de modificări biochimice, care și determină indicii calitativi ai materiei finite uscate. Aceste modificări sunt dependente de temperatura materialului, de durata de tratare termică, de metoda aportului de energie, de periodicitate etc.

În tabelul 5.9 sunt prezentați indicii calitativi ai probelor de cătină albă obținute la uscarea prin convecție.

Din tabelul 5.9 se observă că, la uscarea prin convecție, odată cu ridicarea temperaturii agentului de uscare de la 60 °C la 110 °C, conținutul în vitamina C crește de la 94,62 mg/100g s.u. la 127,55 mg/100g s.u. Deci s-a depistat o creștere a conținutului în vitamina C de cca 1,3 ori. Păstrarea mai eficientă a vitaminei C la temperaturi mai avansate a agentului de uscare se datorează reducerii duratei de tratare termică, fapt confirmat și în literatură [20, 55, 60].

Cum s-a menționat în capitolul 2, cătina albă este caracterizată prin valoarea medicamentoasă a uleiului pe care îl conține.

Tabelul 5.9. Indicii de calitate a cătinii albe uscate prin convecție

Temperatura agentului de uscare, în °C	Temperatura medie a produsului, în °C	Conținutul de vitamina C, în mg/100g s.u.	Pierderile de vit. C, în %	Conținutul de ulei, în %
martor	–	228,72±11,32	–	11,93±0,57
60	59	94,62±3,92	58,6±3,2	8,43±0,42
70	68	97,66±4,11	57,3±3,0	8,41±0,42
80	78	103,04±4,63	54,9±2,8	8,42±0,42
90	88	108,43±5,72	52,6±2,4	8,39±0,41
100	97	119,27±6,47	47,8±2,1	8,48±0,42
110	108	127,55±8,54	44,2±1,2	8,68±0,42

Conform datelor prezentate în tabelul 5.9 , creșterea temperaturii agentului de uscare de la 60 °C până la 100 °C a influențat conținutul slab în ulei din probele uscate, acesta practic menținându-se constant în limitele 8,43 %. O mică creștere a conținutului în ulei s-a observat la temperatura de 110 °C, aceasta, posibil, fiind consecință a reducerii esențiale a duratei de uscare. Dependența obținută a conținutului în ulei în produs, ca funcție de temperatura agentului termic, este confirmată și în sursele bibliografice studiate [29, 30, 44].

Indicii calitativi (conținutul în vitamina C și conținutul în ulei) ai cătinii albe uscate prin convecție în combinație cu câmpul electromagnetic U.H.F. și la aport de energie prin impuls sunt prezentate în tabelul 5.10

Conform datelor din tabelul 5.10, putem conchide că, la uscarea cătinii albe prin metoda combinată, variația conținutului în vitamina C, în funcție de temperatura agentului termic, poartă, practic, același caracter – crește odată cu mărirea temperaturii agentului de uscare, cauza fiind similară uscării prin convecție. Astfel, pentru intensitatea câmpului electromagnetic de 17,8 kV/m la

mărirea temperaturii agentului de uscare de la 60 °C la 110 °C, conținutul de vitamina C a crescut de la 107,15 mg/100g s.u. la 135,78 mg/100g s.u. și la intensitatea câmpului electromagnetic de 28,2 kV/m – de la 110,27 mg/100g s.u. la 138,14 mg/100g s.u. Pentru ambele cazuri ale câmpului electromagnetic, s-a observat o creștere a conținutului în vitamina C de cca 1,3 ori.

Tabelul 5.10. Indicii de calitate a cătinii albe uscate prin convecție în combinație cu câmpul electromagnetic U.H.F.

Temperatura agentului de uscare, în °C	Temperatura medie a produsului, în °C	Conținutul de vitamina C, în mg/100g s.u.	Pierderile de vitamina C, în %	Conținutul de ulei, în %
martor	–	228,78±11,32	–	11,81±0,57
Aport de energie U.H.F continue (E =17,8 kV/m)				
20	59	117,87±6,52	46,3±2,3	8,64±0,43
60	63	107,15±4,48	53,1±2,3	8,60±0,47
90	94	119,32±5,98	47,8±2,4	8,61±0,45
110	108	135,78±6,85	40,6±2,1	8,94±0,51
Aport de energie U.H.F continue (E =k28,2 V/m)				
20	98	119,04±6,45	45,3±2,3	8,66±0,41
60	107	110,27±4,71	51,8±2,7	8,63±0,44
90	116	122,14±6,11	46,6±2,4	8,65±0,42
110	122	138,14±6,97	39,6±2,0	8,98±0,52
Aport de energie U.H.F prin impuls (E =k17,8 V/m)				
20	56	132,25±6,53	42,2±2,1	8,69±0,45

Interes deosebit prezintă păstrarea vitaminei C la uscarea cătinii albe în câmp U.H.F. continuu sau aplicat prin impuls pentru cazul produsului aflat într-un flux de aer de temperatura mediului ambiant – de 20 °C (încălzirea pur U.H.F.). Din tabelul 5.10 se observă că, la încălzirea în câmp continuu U.H.F. la temperatura agentului de uscare 20 °C, intensitatea câmpului electromagnetic influențează slab variația conținutului în vitamina C. Astfel, la creșterea intensității câmpului U.H.F. de la 17,8 kV/m la 28,2 kV/m,

conținutul în vitamina C a crescut de la 117,87 mg/100g s.u. la 119,04 mg/100g s.u., de numai 1,01 ori. În schimb, pentru ambele intensități ale câmpului electromagnetic, conținutul în vitamina C a probelor uscate în flux de aer de temperatura 20 °C este cu cca 8,5% mai mare în comparație cu uscarea la aceleași intensități ale câmpului electromagnetic și temperatura agentului de uscare de 60 °C.

Este de menționat divergența dintre conținutul în vitamina C a probelor de cătină albă obținută la uscarea cu agent de uscare de temperatura 20 °C și intensitatea câmpului electromagnetic 17,8 kV/m, dar aplicată continuu și prin impuls. La uscarea prin impuls, s-a depistat un conținut în vitamina C de 132,25 mg/100g s.u., de 1,1 ori mai mult în comparație cu aportul de energie continuu. Aceasta încă odată confirmă ipoteza că, la păstrarea vitaminei C în produsul supus tratării termice, influență mai majoră, în raport cu temperatura, o are durata de tratare termică.

Conținutul în ulei în probele de cătină albă uscate prin convecție în combinație cu câmpul U.H.F. continuu sau prin impuls sunt prezentate în tabelul 5.10. Conform datelor din tabel, se observă că, ca și în cazul încălzirii pur prin convecție, conținutul în ulei din probele uscate, practic, nu depinde de temperatura agentului de uscare în medie 8,65 %. La fel, conținutul în ulei s-a menținut, practic, constant și la variația intensității câmpului electromagnetic. Astfel, la creșterea intensității de la 17,8 kV/m la 28,2 kV/m, s-a depistat o creștere a conținutului în ulei cu numai cca 0,02 %.

Deoarece produsele studiate sunt considerate valoroase prin conținutul în uleiuri vegetale de calitate, un interes deosebit prezintă și influența metodelor de tratare termică aplicate în procesul de uscare asupra compoziției chimice și structurii acestor uleiuri.

Pentru compararea compoziției chimice a uleiurilor extrase din miez de sâmbure de migdal și din semințele de floarea-soarelui, tratate termic prin diferite metode (prin convecție și în câmp U.H.F.), a fost aplicată spectroscopia RMN ¹H. Spectroscopia RMN ¹H a fost efectuată în incinta Catedrei de Chimie Anorganică și Fizică a Universității de Stat din Moldova (șef catedră – dr. hab., prof. univ., membru corespondent al AȘM Aurelian Gulea).

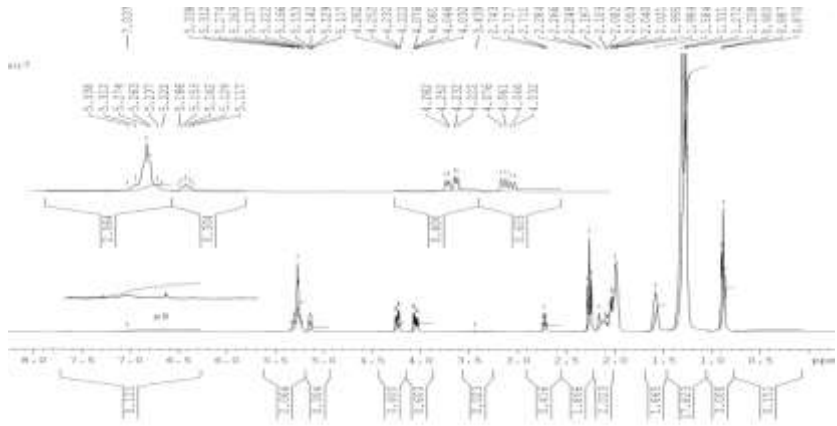


Fig. 5.27 Spectroscopia RMN ^1H a uleiului din miez de sâmbure de migdal uscat prin convecție la temperatura agentului de uscare $90\text{ }^\circ\text{C}$.

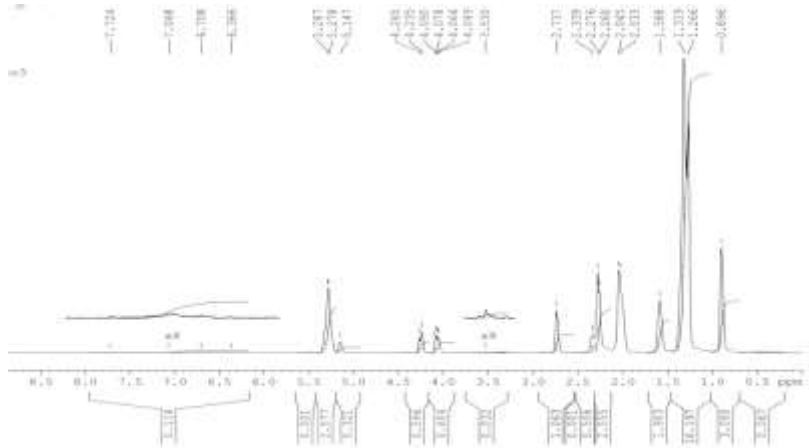


Fig. 5.28 Spectroscopia RMN ^1H a uleiului din semințe de floarea-soarelui uscae prin convecție la temperatura agentului de uscare $90\text{ }^\circ\text{C}$.

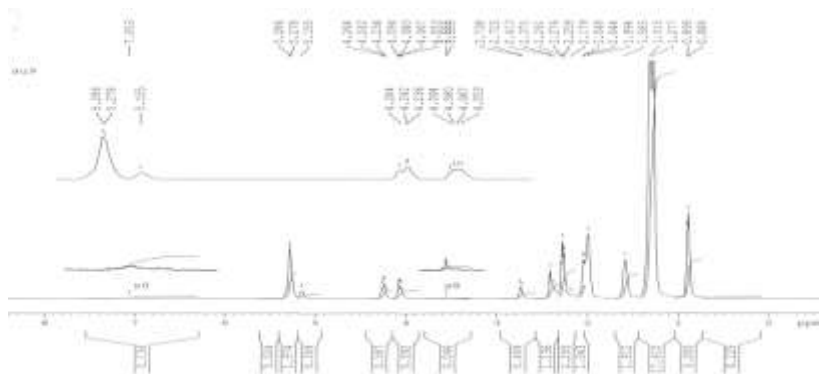


Fig. 5.29 Spectroscopia RMN ^1H a uleiului din miez de sâmbure de migdal uscat în câmp U.H.F prin impuls la intensitatea câmpului electromagnetic $E=44,0$ kV/m.

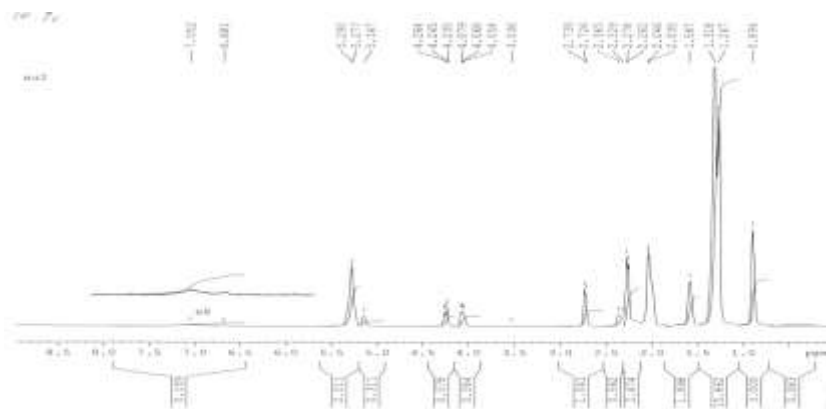


Fig. 5.30 Spectroscopia RMN ^1H a uleiului din semințe de floarea-soarelui uscate în câmp U.H.F prin impuls la intensitatea câmpului electromagnetic $E=44,0$ kV/m.

Caracterul complex al spectrelor RMN ^1H înregistrate pentru uleiurile obținute din probele de miez de sâmbure de migdal și de semințe de floarea-soarelui, uscate prin convecție la temperatura agentului termic $90\text{ }^\circ\text{C}$ (figurile 5,27-5,28), în câmp U.H.F. prin impuls la intensitatea câmpului electromagnetic 44 kV/m (figurilr 5,29-5,30) și în câmp continuu U.H.F. la diferite intensități ale câmpului

electromagnetic, se explică prin neechivalența magnetică a diferitor tipuri de protoni din compoziția moleculelor de gliceride, precum și prin faptul că gliceridele se află în diferite stări structurale: în formă de molecule individuale sau în formă de molecule asociate de diferite ordine, formate în rezultatul interacțiunilor Van der Waals.

Analiza comparativă a spectrelor pentru toate probele de ulei de migdal și de floarea-soarelui a arătat, că acestea sunt în mare măsură asemănătoare și conțin semnalele grupelor de protoni CH_3 -, $-\text{CH}_2$ -, $-\text{CH}=\text{}$ (tabelul 5. 11), prezente în compoziția esterilor acizilor oleic și linoleic conținuți de uleiurile cercetate, așa cum fiecare din uleiuri conține același set de acizi, dar în diferit raport de masă.

Valorile deplasărilor chimice (ppm) din spectrele RMN ^1H ale probelor de ulei de migdal și floarea-soarelui sunt prezentate în tabelul 5.11.

Tabelul. 5.11 Valorile deplasărilor chimice (ppm) din spectrele RMN ^1H a probelor de ulei de floarea-soarelui și migdal

Proba	Mod de prelucrare	$\delta(-\text{CH}_3)$	$\delta(-\text{CH}_2-)$	$\delta(-\text{CH}_2-\text{O}-)$	$\delta(-\text{CH}=\text{CH}-)$	$\delta(-\text{CH}_2-\text{COO}-)$
Ulei de migdal	Convecție	0,87	1,29	2,26	4,20	5,26
	U.H.F continuu E=25,6,0 kV/m	0,88	1,28	2,28	4,19	5,27
	U.H.F continuu E=44,0 kV/m	0,87	1,27	2,28	4,19	5,26
	U.H.F impuls E=44,0 kV/m	0,88	1,29	2,29	4,19	5,27
Ulei de floarea-soarelui	Convecție	0,89	1,29	2,26	4,16	5,27
	U.H.F continuu E=25,6,0 kV/m	0,89	1,28	2,25	4,17	5,27
	U.H.F continuu E=44,0 kV/m	0,84	1,26	2,29	4,15	5,27
	U.H.F impuls E=44,0 kV/m	0,89	1,29	2,25	4,16	5,28

Este cert faptul, că compoziția chimică și structura, nu sunt dependente de modul de prelucrare a probelor, legătura dublă nu este afectată în procesul de prelucrare, ceea ce exclude petrecerea procesului de oxidare.

5.5. Realizarea tehnică a procesului de uscare a unor produse oleaginoase cu aplicarea energiei UHF.

În prezent, în condiții industriale, uscarea produselor oleaginoase, cum sunt: cățina albă, miezul de sâmbure de migdal, semințele de floarea-soarelui se realizează la soare, prin convecție, în uscătorii tip tunel, cu benzi transportoare sau uscătorii verticale.

Aceste metode de uscare, din punct de vedere procesual și tehnologic, conțin un șir de dezavantaje [18, 46, 199, 221, 216], astfel:

- durata de uscare îndelungată și, drept consecință, apariția microflorei;
- consum sporit de energie la încălzirea instalației și cu agentul de uscare eliminat din camera de uscare;
- instalații voluminoase cu un consum sporit de metal;
- posibilități reduse de automatizare complexă a procesului etc.

Aceste dezavantaje ale metodelor existente de uscare a produselor oleaginoase pot fi înlăturate total sau parțial, folosind energia U.H.F. prin impuls.

5.5.1. Construcția și principiul de funcționare a instalației de uscare în câmp U.H.F cu transportot oscilant.

În figura 5. 31 este prezentată instalația pentru uscarea semințelor de floarea-soarelui în câmp electromagnetic de frecvență înaltă, aplicat prin impuls.

Elementele principale ale instalației sunt dozatorul elicoidal 1, destinat pentru alimentarea instalației cu materie primă, ghidul de unde 6 pentru alimentarea camerei de uscare cu energie cu U.H.F., transportorul oscilatoriu cu suprafața portantă perforată 18, sistemul de încălzire și vehiculare a agentului termic, generatorul de oscilații.

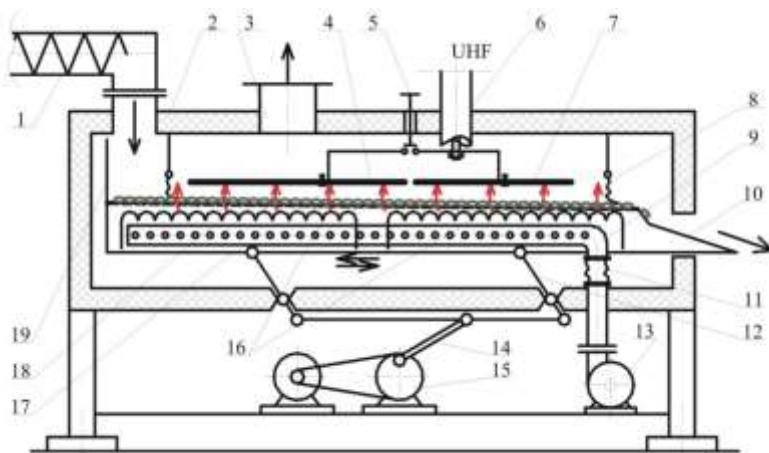


Fig. 5.31. Instalația de uscarea produselor oleaginoase în câmp UHF prin impuls cu transportor oscilant: 1 – dozator elicoidal; 2 – corp; 3 – conductă de agent de uscarea umed; 4, 7 – electrozi; 5 – întrerupător; 6 – ghid coaxial de unde; 8 – plasă metalică flexibilă; 9 conductă de agent de uscarea proaspăt; 10 – placă de descărcare; 11 – conductă flexibilă; 12 – pârghie; 13 – ventilator; 14 – rabator; 15 – discul excentricului; 16 – calorifere; 17 – placa inferioară a cutiei; 18 – placa perforată portantă a transportorului; 19 – ghidaj.

Transportorul elicoidal 1 prezintă un cilindru orizontal, în interiorul căruia este montat un melc. Cilindrul și melcul sunt confecționați din oțel inoxidabil. Arborele melcului se sprijină pe două lagăre de alunecare laterale.

Camera de uscarea 2 prezintă o cutie cu pereții dubli. Pereții cutiei sunt confecționați din foi de oțel inoxidabil. Spațiul dintre foi este umplut cu izolator termic.

În interiorul camerei de uscarea este montat transportorul oscilatoriu 18. El prezintă o cutie, a căreia placa superioară este perforată și servește în calitate de suprafață portantă. Între placa superioară perforată 18 și cea inferioară a transportorului se află caloriferele electrice 16 și conducta de aer 9.

În calitate de generator al oscilațiilor servește un excentric acționat de un motor electric. Excentricul prezintă discul 15 și rabatorul 14. Frecvența oscilațiilor poate fi modificată prin schimbarea turației discului, iar amplitudinea oscilațiilor – prin schimbarea poziției de cuplare a rabatorului cu discul. Prin modificarea frecvenței și amplitudinii oscilațiilor pot fi obținute diferite viteze ale materialului pe suprafața perforată 18. Aceasta dă posibilitate de a regla durata aflării produsului în camera de uscare.

În partea superioară a suprafeței perforate se află plăcile 4 și 7, care servesc în calitate de electrozi. Electrozii prezintă niște plăci din textolit, pe care sunt alipite fâșii din cupru de lățimea 10 mm la o distanță de 5 mm între ele. Conexiunea acestor fâșii între ele permite de a obține aplicarea impulsională a energiei U.H.F. cu porțiuni de aport de câmp electromagnetic și porțiuni de repaus. Electrozii sunt uniți la ghidul coaxial 6, iar transportorul oscilatoriu este unit la pământ. Între plăci și suprafața perforată a transportorului se și creează câmpul electromagnetic de frecvență înaltă. Întrerupătorul 5 permite de a crea câmp electromagnetic în tot spațiul camerei de uscare sau numai pe o porțiune. Distanța dintre suprafața perforată 18 și electrozi este reglabilă. Pentru protejarea mediului ambiant de câmpurile electromagnetice, în fața gurii de alimentare și de evacuare a produsului sunt montate plasele metalice flexibile 8.

Agentul de uscare, prin intermediul conductei 9, este vehiculat la caloriferele 16, unde, după necesitate, are loc încălzirea până la temperatura solicitată. În continuare, cu ajutorul ventilatorului 13, este suflat prin suprafața perforată 18 și stratul de produs pentru asigurarea înlăturării umidității evaporate din produs.

Semințele de floarea-soarelui, cu ajutorul transportorului dozator 1, nimeresc pe suprafața portantă perforată 18. Datorită oscilațiilor transportorului oscilatoriu și unghiului de înclinație a suprafeței portante, ele alunecă din zona de încărcare în direcția gurii de evacuare, deplasându-se astfel prin toată camera de uscare. Pe parcursul deplasării prin camera de uscare, semințele de floarea-soarelui sunt acționate de câmpul electromagnetic și suflate de agentul de uscare. Agentul de uscare umed prelucrat se evacuează din camera de lucru prin conducta 3, iar semințele – uscate prin gura de evacuare, alunecând pe placa de descărcare 10.

5.5.2. Construcția și principiul de funcționare a instalației de uscare cu tobă.

Pe baza cercetărilor efectuate, a fost propusă construcția instalației pentru uscarea produselor oleaginoase cu aplicarea impulsională a energiei U.H.F. și eliminarea umidității cu un flux de aer – agent de uscare.

Proiectul-schiță a acestei instalații este prezentat în figura 5.32. Instalația constă din trei părți constructive de bază – alimentatorul, transmisia și uscătoria tip tobă. Alimentatorul prezintă un buncăr 1, elaborat din foaie din oțel inoxidabil de grosimea de 2 mm, marca X18H10T. Buncărul este executat în formă de o piramidă secționată, însă unghiul de înclinare a pereților laterali este ales din condițiile creării forței de frecare între pereți și produs pentru a asigura amestecarea gravitațională. În partea superioară a buncărului de alimentare, este amplasat amestecătorul 2. El prezintă un arbore amplasat între două fusuri întărite rigid de corpul buncărului. În fiecare fus sunt montați rulmenți mobili elaborați în formă de două bușe de bronz. În scopul creării efectului de amestecare a produsului, la rotirea arborelui, pe suprafața lui sunt fixate la un anumit pas rigole executate din plăci de foi inoxidabile. Alături, stau fixate, diametral opuse una de alta pe arbore, suprafețe plane.

În partea inferioară a buncărului alimentator este amplasat transportorul melcat 3. Rotirea arborelui șnecului se realizează în două reazeme – rulmenți mobili. Fundul buncărului alimentator este executată în formă de jgheab, ale căror dimensiuni cărora corespund dimensiunilor melcului de alimentare. Suportul de rulmenți mobili, în scopul protejării lor de nimerire a materialelor străine și a sucului eliminat din produs, este protejat cu o garnitură de etanșare din părțile de contact cu produsul.

Din buncărul alimentator produsul, trece în uscătoria tip tobă prin jgheabul 4.

Uscătoria tip tobă prezintă toba 5 înclinată cu un unghi oarecare față de orizont. Toba este executată din oțel inoxidabil de marca X18H10T. Ea este fixată în cadrul 6, executat din colțar laminat în profil. În punctele diametrale de fixare, toba este dotată cu

două capete de țevă: 7 și 8. Țeava 7 din partea de jos a instalației este destinată pentru evacuarea din instalație a produsului uscat. Țeava 8 din partea superioară se folosește pentru evacuarea agentului de uscare umed.

Pe axa tobei este amplasat trunchiul de con rotativ perforat 9. Rotirea trunchiului de con se realizează pe baza arborelui gol prins rigid de tobă. Fixarea rigidă a arborelui cu trunchiul de con perforat se efectuează prin flanșă frontală.

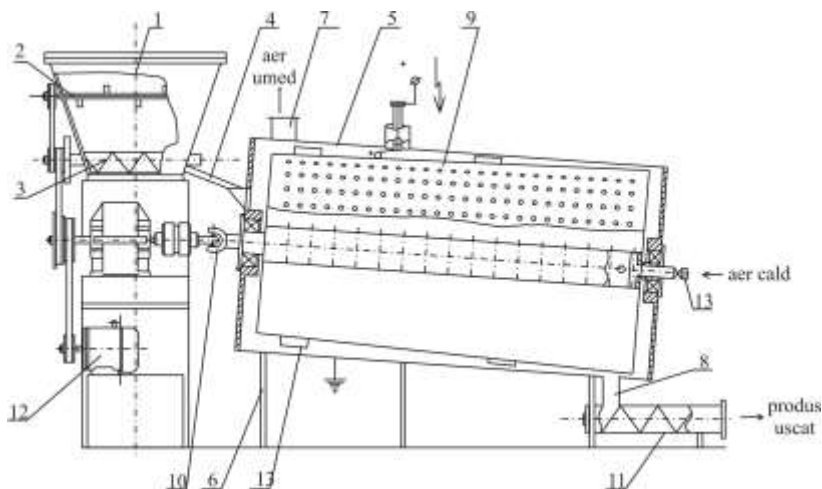


Fig. 5.32. Instalație cu tobă pentru uscarea produselor oleaginoase în câmp electromagnetic UHF cu aport de energie prin impuls: 1 – buncăr, 2 – amestecător; 3 – transportor melcat; 4 – jgheab; 5- tobă; 6 – cadru; 7 – țevă; 8 – țevă; 9 – trunchi de con perforat; 10 – cardan; 11 – transportor melcat; 12 – motor electric; 13 – ștuț;

Mișcarea de rotație a trunchiului de con se realizează pe baza articulației mobile tip cardan 10, care este legată cu transmisia de bază a instalației și motorul electric 12.

Datorită conicității trunchiului de con, jocul dintre tobă și trunchiul de con este variabil: la intrarea produsului în uscător – mai

mare, iar la ieșire – mai mic.

Suprafața laterală a trunchiului de con este obținută în urma încovoierii foi metalice executate din alamă. Dimensiunile și forma orificiilor perforate se stabilește în corelație cu dimensiunile geometrice ale produsului, în așa fel ca: 1 – să excludă posibilitatea trecerii libere a produsului prin orificii; 2 – să aibă pierderi minime de substanțe folositoare; 3 – să treacă liber, prin orificii agentul de uscare. Agentul de uscare alimentează uscătorul prin ștuțul 13.

Pe suprafața laterală a trunchiului de con perforat, sunt fixate plăci la un anumit pas, care formează o suprafață elicoidală. În acest fel, plăcile amplasate sub unghi față de axa de rotire a tobei, creează nu doar efectul de amestecare, dar și deplasarea produsului către mecanismul de descărcare a camerei de uscare.

Câmpul electromagnetic de frecvență înaltă se formează între învelișurile așa – numitului condensator coaxial. În calitate de înveliș interior, sau „+”, servește suprafața exterioară a cilindrului perforat, iar pentru cel exterior, sau „-”, servește suprafața interioară a cilindrului exterior. Alimentarea instalației cu curent de frecvență înaltă se realizează prin impulsuri de la generatorul U.H.F., prin ghidul de unde coaxial. Durata impulsului și a repausului dintre ele se dirijează cu un sistem de automatizare tip „Berghoff”.

Intensitatea câmpului electromagnetic (E), care apare în jocul inelar, se determină după formulă [14]:

$$E = \frac{U}{r \cdot \ln \frac{D}{d}}, \quad (5.3)$$

în care: U – tensiunea pe căptușeala condensatorului coaxial, V;
 D, d – corespunzător, diametrul interior al tobei exterioare și diametrul exterior al cilindrului perforat, m;
 r – distanța dintre tobă și cilindrul perforat, m.

Din formula (5.3) se observă că, pentru cazul în care r este variabil (cazul nostru), E va fi și ea o mărime variabilă, cu atât mai mult, odată cu reducerea distanței dintre tobă și cilindrul perforat, intensitatea câmpului electromagnetic crește. Deci, conform figura 5.32, creșterea lui E are loc de la punctul de intrare a produsului în

toba de uscare până la ieșirea lui. În așa mod, și valoarea căldurii emanate la prelucrarea produsului cu curenți de frecvență înaltă se mărește pe măsura ieșirii deplasării produsului prin camera de lucru.

Descărcarea produsului uscat se realizează prin intermediul capătului de țevă 8, amplasat în partea inferioară a tobei metalice 5. Din țeava 8, produsul, cu transportorul melcat 11, se transportă și se descarcă.

5.5.3. Construcția și principiul de funcționare a instalației de uscare cu verticală.

În figura 3.33 a) este propusă o instalație verticală de uscare a produselor oleaginoase cu aport de energie U.H.F. prin impuls. Instalația este o construcție modulară, alcătuită din modulul de alimentare și preîncălzire 1, modulele de uscare 2 și modulul de descărcare 3. Numărul modulelor de uscare este variabil și depinde de durata procesului de uscare.

Modulul de alimentare și preîncălzire (figura 5.33 b) este alcătuită din buncărul alimentator 4, ecluza 5 și camera de preîncălzire 6 cu electrodul 7, arborele distribuitor cu plăci 8 și țeava de evacuare 9 a agentului de uscare umed. Ecluza și arborele distribuitor 8 sunt puse în funcțiune de la mecanismele de alimentare autonome 10 și 11. Secția este înzestrată cu un captor de temperatură, montat în partea inferioară a camerei de preîncălzire și cu două captoare de nivel, montate ambele în partea superioară a camerei de preîncălzire la o distanță de 3 cm pe înălțime unul în raport cu altul.

Alimentarea uscătorului și preîncălzirea au loc în modul următor. Produsul, din buncărul de alimentare 4 este preluat cu ecluza 5 și îndreptat în camera de preîncălzire. În momentul în care camera s-a umplut (semnalizează captorul de nivel inferior), concomitent se alimentează cu curenți U.H.F. electrodul 7 și se pune în funcțiune arborele distribuitor cu plăci 8. Între electrodul 7 și corpul camerei de preîncălzire se formează câmp electromagnetic, care și influențează preîncălzirea produsului.

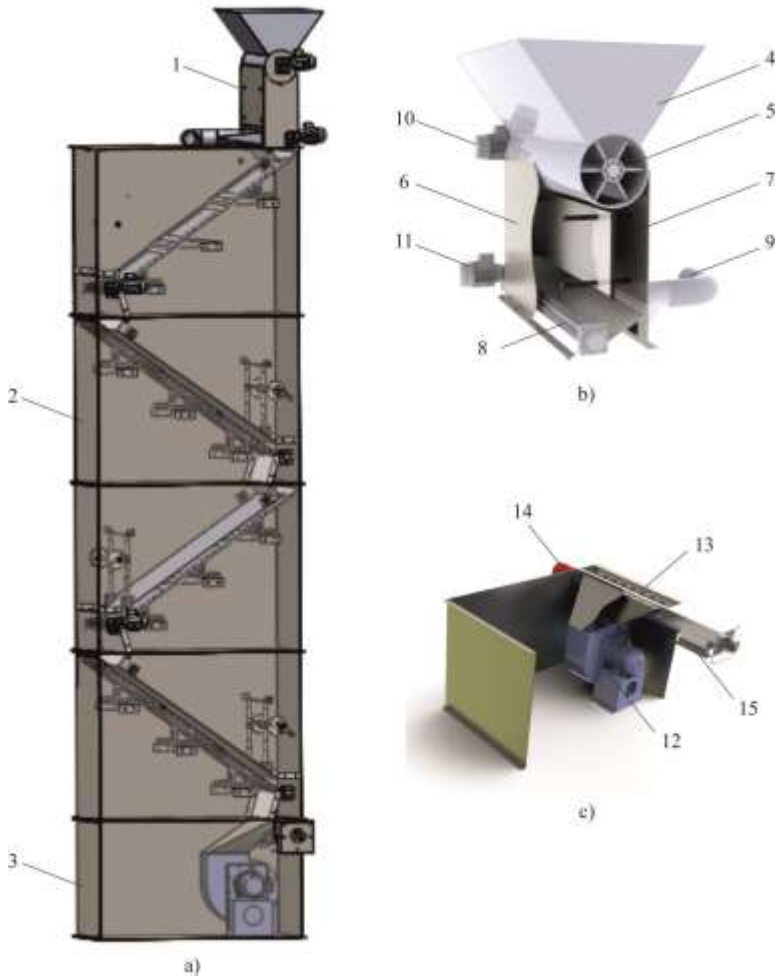


Fig. 5.33. Instalație verticală pentru uscarea produselor oleaginoase în câmp electromagnetic UHF cu aport de energie prin impuls: a) vederea generală: 1 – modulul de alimentare și preîncălzire, 2 – modulul de uscare; 3 – modulul de descărcare. b) modulul de alimentare și preîncălzire: 4 – buncăr; 5 – ecluză; 6 – camera de preîncălzire; 7 – electrod; 8 – arbore cu palete; 9 – țevă de evacuare; 10, 11 – mecanisme de transmisie. c) modulul de descărcare: 12 – ventilator; 13 – transportor melcat; 14 – transmisie; 15 – gură de evacuare.

Arborele distribuitor cu plăci preia produsul cald și îl transmite în primul modul de uscare, distribuindu-l uniform pe toată lățimea instalației și asigurând un debit constant de produs la intrare. Ecluza funcționează periodic, menținând nivelul de produs în camera de preîncălzire în limitele dintre cele două captoare ale nivelului. Reglarea grosieră a temperaturii are loc prin înlocuirea electrodului cu altul de o înălțime mai mare sau mai mică, astfel, modificând durata de tratare termică, iar reglarea fină – prin modificarea intensității câmpului electromagnetic.

În secția de descărcare (figura 5.33 c) este montat ventilatorul 12 destinat pentru vehicularea agentului de uscare în uscător, melcul 13 cu care se preia produsul uscat din ultimul modul de uscare și se elimină din uscător prin gura de eliminare 15. Melcul este pus în funcțiune de către mecanismul de acționare autonom 14.

Modulul de uscare este prezentat în figura 5.34. El este alcătuit dintr-un plan înclinat format din trei plăci 1 autonome din oțel inoxidabil alimentar, amplasate fiecare în parte pe câte un traductor tensosensor 2. Unghiul de înclinație a planului se acceptă cu $3...5^{\circ}$ mai mare decât unghiul de frecare dintre produs și placă. În partea superioară a planului înclinat se află electrodul 3, montat de corp prin articulațiile 4, dintr-o parte, și prin mecanismul de reglare 5, din altă parte. Electrocul 3 este confecționat din textolit, pe a cărui parte interioară sunt gravate perpendicular plăcuțe din cupru de lățimea 10 mm la o distanță între ele de 5 mm. Conectarea în grupuri a acestor plăcuțe, cu unirea ulterioară a lor la generatorul U.H.F., permite obținerea efectului de acționare a câmpului U.H.F. prin impuls. Durata impulsului este determinată de viteza de trecere a produsului prin cameră și de numărul de plăcuțe grupate la un loc. În partea inferioară a modulului, se află un arbore distribuitor cu plăci 6, care este pus în funcțiune de la mecanismul de acționare 8. Modulul se finisează cu placa de distribuție a fluxului de aer 8.

Principiul de funcționare al modulului de uscare este următorul: produsul, încălzit prealabil în modulul de preîncălzire, cade pe prima placă 1 și alunecă pe ea sub acțiunea forței proprii de greutate. În continuare, trece pe a doua și a treia placă, formând astfel un strat de produs de o grosime bine determinată, aflat în mișcare.

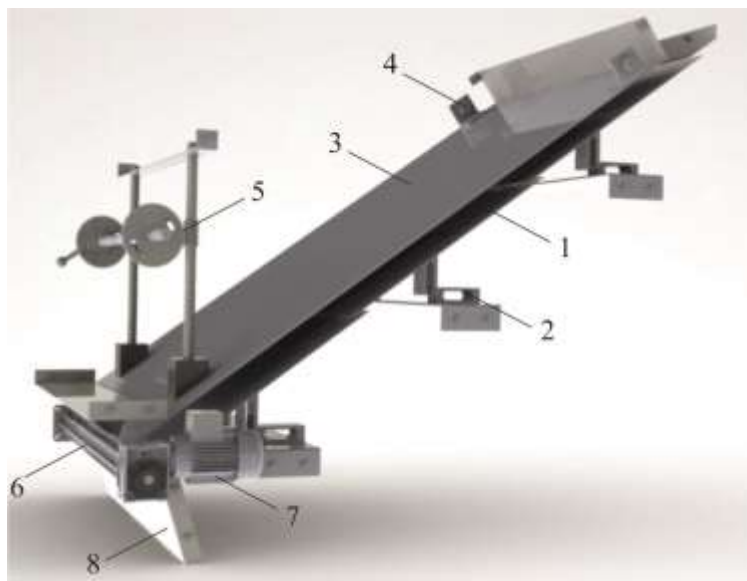


Fig. 5.34. Modulul de uscare a instalației verticale pentru uscarea produselor oleaginoase în câmp electromagnetic UHF cu aport de energie prin impuls: 1 – placă din oțel inoxidabil, 2 – traductor tenzosensibil; 3 – electrod; 4 – articulație; 5 – mecanism de reglare a distanței dintre placă și electrod; 6 – arbore cu plăci; 7 – transmisie; 8 – placă.

La capătul plăcii a treia 1, arborele distribuitor cu plăci 6 preia produsul și îl transmite următorului modul de uscare. Anume turația arborelui distribuitor cu plăci 6 și determină viteza de alunecare a produsului pe plăcile înclinate și grosimea stratului acestuia.

Pe parcursul alunecării, produsul trece periodic prin zone cu câmp U.H.F., format între placa înclinată și electrodul 3 cu plăcuțe, unde are loc încălzirea. Numărul de plăcuțe din cupru, conectate în grup, deci și durata de tratare termică a unui impuls, sunt dependente de umiditatea produsului în zona respectivă. Variația umidității produsului aflat instantaneu pe fiecare din plăcile 1 este înregistrată de traductorii tenzosensibili 3 pe care se sprijină plăcile. Semnalul de

la traductorii tensosensori se transmite sistemului de automatizări tip „Berghoff”, care modifică numărul de plăcuțe conectate în grupuri și numărul de plăcuțe deconectate de la sursa de energie U.H.F. Umiditatea, evaporată în urma tratării termice, se înlătură cu un flux de aer (agent de uscare) vehiculat de la ventilatorul centrifugal din modulul de descărcare. Agentul de uscare este suflat prin spațiul dintre plăcile 1 și electrodul 3. Direcționarea agentului de uscare dintr-un modul în altul se realizează cu ajutorul plăcii 8. Din uscător el este evacuat prin țeava de evacuare, montată în modulul de alimentare și preîncălzire.

Bibliografie

1. Arif F Mustafa, Yvan P Chouinard, Daniel R Ouellet, Henry Soita. Effects of moist heat treatment on ruminal nutrient degradability of sunflower seed. // Journal of the Science of Food and Agriculture. Vol. 83, Issue 10, 2003, p. 1059–1064;
2. Arkhangel'skiy Y.S., Trigorliy S.V. Computer programs development for microwave model operation procedure and installations. // Vestnik. Published by the Saratov State Technical University. 2006. p. 123-126.;
3. Awuah G.B., Ramaswamy H.S., Economides A. Thermal processing and quality: Principles and overview. // Chemical Engineering and Processing 46 (2007) p. 584–602;
4. Авдеев А.В. Организация безотходной обработки и хранения зерна. – М.: ФГУ РИСК, 2007. – 67 с.
5. **Badea. A., s.a. Echipamente si instalatii termice. Editura Tehnica, Bucuresti, 2003, 750 p.;**
6. Banu C. Progrese tehnice, tehnologice și științifice în industria alimentară. – București: Tehnica, 1992. - vol.1.
7. Barbnti D., Maetrocolo D., Severini C. Drying plums air. A comparison of 12 varieties. / Sci. alim.-1994.-14.- № 1. –p.61-73.
8. Bălan O. Materii prime și material pentru industria alimentară. – Iași: Universitatea Tehnică „Gh. Asachi”, 1999, 209 p.
9. Bejan A. Termodinamica, tehnică avansată. – București: Editura Tehnică, 1996, - 848 p.
10. Bera S. C., Chattopadhyay S. A modified Schering bridge for measurement of the dielectric parameters of a material and the capacitance of a capacitive transducer. // Measurement ISSN: 0263-2241 Impr.: ELSEVIER, V.33, Issue 1, Jan. 2003. -p.3-7;
11. Bera S.C., Kole D.N. Study of a Modified AC Bridge Technique for Loss Angle Measurement of a Dielectric Material. // Sensors & Transducers Journal (ISSN 1726- 5479). Vol. 96, Issue 9, Sept. 2008, pp.104-111
12. Bernic M. Contribuții în studiul cineticii procesului de uscare a ardeiului iute. –Chișinău.: UTM. 2005 -159 p. ISBN 9975-9853-1-9;

13. Brandl MT, Pan Z, Huynh S, Zhu Y, McHugh TH. Reduction of Salmonella enteritidis population sizes on almond kernels with infrared heat. // Journal of Food Protection, 2008 May;71(5):897-902. ISSN 0362-028X;
14. Carnegie G.I. Solar drying of fruits. // Sol. Energy Agr. – Amsterdam etc., 1991. – p. 335 – 349.;
15. Clark, John, O.E.). The Essential Dictionary of Science. Barnes & Noble Books. 2004. ISBN 0-7607-4616-8.
16. Cociu V. Nucul, alulul, migdalul. –București: Editura M.A.S.T., 2007. -272 p.;
17. Сканава Г.И. Физика диэлектриков (область слабых полей). -М. –Л.: Госиздат технико-теоретической литературы, 1949. 497 с.
18. Djaeni M. Energy efficient multistage yeolite drying for heat-sensitive products. // Drying tehnology, - 2009, Vol. 27 Issue 5, p. 721-722, ISSN 07373937.
19. Drokin N.A., Timashov V.A., Kirensky L. V. Measuring Substances Dielectric Spectra using Microstrip Sensor with Damping Pole. // Microwave & Telecommunication Technology / 17th International Crimean Conference CriMiCo. -2007. – p.712-713.
20. Ejoh A.R., Tanya A.N., Djuikwo N.V., Mbofung C.M.. Effect of processing and preservation methods on vitamin C and total carotenoid of some vernonia (bitter leaf) species. / African Journal of Food and Nutritional Sciences: Volume 5 No 2 2005, I.S.S.N. 1684-5358;
21. Ekechukwu O.V., Norton B. Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology. // Energy Conversion and Management. Vol. 40, Nr. 6, 1999 , pp. 615-655.;
22. Estella M.S., Rodolfo H.M. Thin layer drying models for high oleic sunflower seeds // Proceedings of the Second Inter-American Drying Conference- Boca del Rio, Veracruz, Mexico, - 2001. pp.307-317.;
23. Ferrsdji A., Malek A., Bedoud M., Baziz R., Aoua S. Sechoir Solaire a Convection Forcee pour le Sechage des Fruits en Algerie. // Rev. Energies Renouvelables Vol. 4. – 2001. pp.49-59.;

24. Frohlich H. The biological effect of microwaves and related questions// Adv/ electronic and electron phys., vol.53, 1980, p. 85 - 152.

25. Gol'dman E.I, ZhdanA.G. Chucheva G.V. On the origin of the thermal-field asymmetry in ionic polarization/depolarization of oxide in Si-MOS structures. // Semiconductors. V 34, N 6, 2000. p. 650-654.

26. Golovanov C., Albu M. Probleme moderne de măsurare în electroenergetică. Ed. Tehnica, București, 2001. -800 p.

27. Gulea A. Modern coordination chemistry. Cobalt-59 NMR Spectroscopy. Chișinău. CEP USM, 2006.

28. Halling H.H. Die dielectriche Trocknung durch Impulservarmung in hochfrequenten Kondensatorfeld. / Electrowarme, 1965, B23, nr.5, - pp.228-233.

29. Hamid R.G., Saeid M. Influence of Temperature and Air Velocity on Drying Time and Quality Parameters of Pistachio (*Pistacia vera* L.) // Drying Technology: An International Journal [Volume 23, Issue 12](#), 2005, p.2463 – 2475, ISSN: 0737-3937;

30. HC Harris, JR McWilliam and WK Mason. Influence of temperature on oil content and composition of sunflower seed. // Australian Journal of Agricultural Research 29(6), 1978, p.1203 – 1212, ISSN: 0004-9409;

31. Hemmer M., Badent R., Schwab A.J. Electrical properties of rape-seed oil. // annual report conference on electrical insulation and dielectric phenomena: (Cancun, 20-24 October 2002). -pp. 83-86.;

32. Herbert Morrison W., Robertson J. A. Effects of drying on sunflower seed oil quality and germination. // Journal of the American Oil Chemists' Society V. 55 Nr.2. -1978, -pp.272-274. ;

33. Higaki M., Miyashita T. Measurement of dielectric loss by phase difference method. // Electrical Engineering in Japan. Vol. 92 Issue 2, 1972. -pp.15 – 23.;

34. Hill G.J. Traceable dielectric measurement bi resonance methods in the frequencz range 1-30 MHz. // IEE proceedings. A. Science, measurement and technology ISSN 0960-7641. Vol. 140, Nr.1. 1993. – pp. 382-384.

35. http://www.whfoods.com/genpage.php?tname=dailytip&db_id=324;
36. Hughes M.K., Yanamala S., San Francisco M., Loneragan G.H., Miller M.F., Brashears, M.M. Reduction of Multidrug-Resistant and Drug-Susceptible Salmonella in Ground Beef and Freshly Harvested Beef Briskets after Exposure to Commonly Used Industry Antimicrobial Interventions. // [Journal of Food Protection](#), Vol. 73, Num. 7, 2010 , pp. 1231-1237(7) ISSN 0362-028X;
37. Humberto V-M., Marcela G-N., Gustavo V. Advances in dehydration of foods. // *Journal of Food Engineering*. Vol.49, Issue 4. – 2001. pp. 271-289.;
38. Hussain, A.; Li, Z.; Ramanah, D. R.; Niamnuy, C.; Raghavan, G. S. V. Microwave drying of ginger by online aroma monitoring. / *Drying technology*, Vol. 28 Issue 1, 2010, p42-48, ISSN 07373937;
39. Iton K., Marzama K., Misawa M., Tamaki S. Relaxation of Electronic and Ionic Polarization in Liquid Copper Selenide. // *J Phys Soc Jpn* ISSN:0031-9015. V.71, N.1. 2002. -P.144-147.
40. Jorgenson J.L., Edison A.R., Nelson S.O., Stetson L.E. A bridge method of dielectric measurements of grain and seed in the 50-to 250 MHz range. // *ASAE Annual Meeting*. 1970. –pp. 18-20;
41. Kaatze U. Perspective in dielectric measurement technique for liquids. // *Mesurement Science and Technology* V.19, 2008. – pp.1-4.;
42. Karl Kröll, Werner Kast. *Trocknungstechnik. Trocknen und Trockner in der Produktion*. Springer, 1989. -615 p. ISBN 0387184724, 9780387184722;
43. Kendall, Cyril W.C., David J.A. Jenkins, A. Marchie, T. Parker, P.W. Connelly, Dose response to almonds in hyperlipidemia: a randomized controlled cross-over trial. *Am. J. Clin. Nutr.* 75 2(S): 2002. -p.384.;
44. [Khangholil S](#), [Rezaeinodehi A](#). Effect of drying temperature on essential oil content and composition of sweet wormwood (*Artemisia annua*) growing wild in Iran. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 2008 Mar 15;11(6):934-937. ISSN: 1812-5735;

45. Kovalski S. J., Mierzwa D. Convective drying in combination with microwave and IR drying nfor biological materials. / Drying technology, Vol. 27 Issue 12, 2009, p1292-1301, ISSN 07373937;

46. Koyuncu, Turhan. An Investigation on the performance Improvement of greenhouse-tipe agricultural dryers. // Ernevable Energy: An International Journal; -2006, Vol. 31 Issue 7, p 1055-1071, ISSN 09601481;

47. Kozempel M.F., Cook R.D., Scullen O.J., Annous B.A. Development of a process for detecting nonthermal effects of microwave energy on microorganisms at low temperature, Food Proc. Preserv. J. 24 (2000) 287–301.

48. Krupka J. Frequency domain complex permittivity measurements at microwave frequencies. // Measurement Science and Technology. Issue 6, 2006. – pp. 12-19.;

49. Kuts P. S., Sklyar V. Ya., Ol'shanskii A. I. Generalized equation for kinetics of convective drying of moist materials. // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. Vol. 53. Nr. 1, 1987. pp-90-96.;

50. Lawless Julia. Encyclopedia of Essential Oils: The Complete Guide to the Use of Aromatic Oils in Aromatherapy, Herbalism, Health and Well Being. – Thorson. – 2002. 224 p.

51. Leuca T., Molnar C.O., Bandici L. Modern Solutions Regarding the Leather Drying in the Microwaves Field. / Acta Electrotehnica, Vol. 49, nr. 2, 2008, p.214-221;

52. Lupașco A., Bernic M., Țislinscaia N., Răducan M. Uscarea cătinii albe în câmp UHF. – Chișinău.: 2007. -202 p. ISBN 978-9975-9798-2-5.;

53. Mastrocola Dino, Lerici Carlo R., Pizzirani Stefano, Romani Santina. Azioni combinate nell'essicamento in corrente d'aria delba frutta pretrattamento in soluzioni contenenti etanolo. №36. Ит.; рез. англ. Ind. alim. 1997, c. 721-725.;

54. Mironov V.L., Dobson M.C., Hipp. J.E. Victor J.M. high dielectric constant microwave probes for sensing soil moisture // Proc. IEEE. 1974. V.62. P.93-98.

55. Moșanu A. Influence des methodes de sechage sur le degre de conservation de la vitamine C dans des griottes sechees. // În

“Buletinul Institutului Politehnic din Iași”, Universitatea Tehnică “Gh. Asachi”, Iași, Tomul L(LIV), Fascicula 6B2, Secția Construcții de Mașini, 2004, p.29-33, I.S.S.N. 1011-2855;

56. Moșanu A. Influence de méthodes de séchage le degré de conservation de la vitamine C dans de griottes séchées. // Materialele conferinței / Advanced Concepts in Mechanical Engineering. – Iași, Romînia, 2004. –p.29-32.

57. Mulet A., Berna A., Rossello C. Experience of direct solar drying. // Drying Technol. -1993. -11. - №6. –c. 1385-1400.;

58. Nigmatullin R R *et al.* Dielectric relaxation in complex systems: quality sensing and dielectric properties of honeydew melons from 10 MHz to 1.8 GHz. // Journal of Instrumentation. Vol.1 October 2006. -pp. 23-28.;

59. Osanger L. Reciprocal relations in irreversible processes.// Phis. Rev., 1931. – 237(14) P.405-426; 238(12). – P.2265-2279.;

60. Oshodi AA Comparison of proteins, minerals and vitamin C content of some dried leafy vegetables. Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research; 1992; 35: p.267-269, I.S.S.N. 0030-9885;

61. Paramonov P., Skaszrskaja A., Floettmann K., Stephan F., Pulsed R.F. Heating effects investigation in normal conducting L-mand cavities. // Problems of atomic science and technology. 2008, Nr.3. Series: Nuclear Physical Investigations (49), -pp.51-54.;

62. Pearson T.C. Spectral Properties and Effect of Drying Temperature on Almonds with Concealed Damage // Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie
Volume 32, Issue 2, March 1999, Pages 67-72.;

63. Pennington, J.A.T. Bowes & Church Food Values of Portions Commonly Used. Sixteenth Edition. Philadelphia: J.B. Lippincott Co., 1994, p. 410.;

64. Pisarenco V., Ivanov L. Principiile optimizării instalațiilor frigorifice. Chișinău, UTM. 2002. – 186 p.;

65. Price L., Price S. Carrier Oils: For Aromatherapy and Massage. - Riverhead; 4th Ed edition. – 2008. 325 p.

66. Programul Național Pentru Dezvoltarea Culturilor Nucifere Pină in anul 2020. Hotărâre de Guvern nr. 8 din 03.01.06, Monitorul Oficial nr.005 din 13.01.06;

67. Rémond, R.; Perré, P. High-Frequency Heating Controlled by Convective Hot Air: Toward a Solution for On-Line Drying of Softwoods. / *Drying Technology*, May2008, Vol. 26 Issue 5, p530-536, ISSN 07373937;

68. Richard D. O'Brien. *FATS and OILS. Formulation and Processing for Application*. CRC Press LCC. 2004 -751 p. ISBN 978-5-93913-123-0;

69. Rudobashta S.P. Zlobin A.G. Investigation of the heat – and. Mass transfer at convective drying of capillary materials in a stationary laser // *proceed of the 4th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics*. Brussels, June 2-6, 1997. V.1. p. 335-342.;

70. Sabate, J., E. Haddad, Almond-rich diets simultaneously improve plasma lipoproteins and alpha-tocopherol levels in men and women. *Ann. Nutr. Metab.* 45(1): 2001. – 596 p.;

71. Sacilik K., Celik T. Moisture content and bulk density dependence of dielectric properties of safflower seed in the radio frequency range. // *Journal of Food Engineering* [Vol. 78, Issue 4](#), 2007, -pp. 1111-1116.;

72. Sacilik K., Colak A. Dielectric properties of opium poppy seed. // *Tarim bilimeri dergisi* 11 (1) –Ankara, -pp. 104-109.;

73. Semancik P., Cimbala R., kolcundova I. Dielectric Analzsis of natural oils. // *Acta Electrotehnica et Informatica* No. 3, Vol. 7, 2007, p. 61-66.;

74. [Shamanthaka Sastry](#) M. C., [Subramanian](#) N. Effect of heat processing on phenolic constituents and nutritional quality of sunflower flours. // [Journal of the American Oil Chemists' Society](#) [Volume 62, Number 7](#), p.1131-1133, DOI: 10.1007/BF02542307

75. Stakic M., Tsotsas E. Model-based analysis of convective grain drying processes. // *Drying technology* ISSN 0737-3937, vol. 23, n°9-11, -2005. pp. 1895-1908.;

76. Tadeusz Kudra, Arun S. Mujumdar. *Advanced Drying Technologies, Second Edition*. - *Technology & Engineering* - 2009 438 p. ISBN 978-1-4200-7387-4;

77. Tarlev V.P. Influența metodelor de uscare asupra gradului de păstrare a vitaminei C în vișine uscate. // *Lucrările Conferinței*

Științifice Internaționale TMRC-2005. – vol.2. – Chișinău, 2005. p. 295-298.;

78. Trabelsi S., Nelson S.O. Temperature-Dependent behavior of Microwave Dielectric Properties of Bound Water in Grain and Seed. // 2006 ASAE Annual Meeting. <http://asae.frymulti.com/abstract.asp?aid=21464&t=2;>

79. Tsotsas E., Mujumdar A. Modern Drying Technology: Computational tools at different scales. – Wiley-VCH. – 2007. 359 p. ISBN 978-3-527-31556-7;

80. Tsotsas E., Mujumdar A. Modern Drying Technology: Experimental techniques. – Wiley-VCH. – 2009. 412 p. ISBN 978-3-527-31556-7;

81. Țărnă R. Caracteristicile structural-mecanice ale nucilor. // Intellectus, 2001, nr.6, p.52-54.;

82. Țislinscaia N., Lupașco A., Bernic M., Plitoc V., Tarlev V. Calculul parametrilor electrofizici pentru sisteme compuse multicomponente. În cartea Termotehnica românească - "97". Lucrări prezentate la a 7-a conferință națională de termotehnică. Brașov, - 1997, Vol.I, p. 307-110.

83. Vagenas G.K., Marinos K. D. Kinetics of drying of apricots // Drying Technol. – 1991. – 9. - № 3. – с. 735-752 (англ.). ;

84. Vlasov S.N., Koposova E.V., Mazur A.B., Parshin V.V. On permittivity measurement by a resonance method. // Radiophysics and Quantum Electronics. Springer, New York: V. 39, Nr. 5, 1996, - pp.410-415.;

85. Wiley J. Bailey's Industrial Oil and Fat Products, Vol. 2, Oil and Oilseeds, Inc., New York, New York -1996, 452 p.;

86. Yoko S., Chen-Xu Wu, Yutaka M., Mitsumasa I. Analysis of the Dielectric Relaxation Property of Phospholipid Monolayers by Maxwell Displacement Current Measurement. // Journal of Colloid and Interface Science V. 218, I. 1, 1999, P. 118-121

87. А. С. 1449903 СССР МКИ F26B 17/04. Сушилка для продуктов/ В. А. Тихонович и др. БИ, № 1, 1989.

88. А. С. № 1620050, СССР, С11В 1/10. Гавриш С. Д., Гавриш Н. С. Способ получения масла и сока из плодов облепихи. Опубл. БИ №1, 1991.

89. А. С. № 938900, СССР, А23G 3/00/ Пищевой гранулированный продукт «Даугил»//А. А. Алтымышев, и др. – Опубл. 30.06.82.- БИ. - № 24.

90. Абрамов Я.К., Троицкая М.Ю., Соглаев Ю.И., Макаров А.О. Система оздоровительного энергетического питания. Пищевая ценность продуктов как критерий оценки энеогетической ценности. Способы и пути получения. / Тезисы докл. на Всероссийской конференции «Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья». :Барнаул, 2007. с. 200-206.;

91. Аминокислотный состав сортовой облепихи Белоруссии и соков из нее / А.Н. Самсонова, Д.К. Шапиро, В.Н. Тимофеева и др. // – Пищевая промышленность. – N5. -с. 48-50.

92. Анализ плодов облепихи Зарафшинской далины / Х.Ш. Хусайнов, Н.К. Мухамидиев, М.Т. Гулюмова и др. Физические и Химические исследование синтетических и природных соединений. – Самарканд; 1984. – с.57 – 62.

93. Ансельм А.И. Основы статической термодинамики. – СПб.: Изд. «Лань», 2007, - 448 с.

94. Антипов С. Т. Машины и аппараты пищевых производств. – М.: Пищевая инженерия, 2001. – 1384 с.

95. Артемова А. Облепиха исцеляющая и омолаживающая. Серия: Путешествие за здоровьем. –М.: ООО Фирма «Диля», 2001. -160 с.;

96. Атаназевич В.И. Сушка зерна. –М.: ДеЛи принт. 2007. - 480 с. ISBN 978-5-94343-146

97. Афанасьев А.М., Сипливый Б.Н. Оптимизация процесса электромагнитной сушки капиллярно-пористых материалов // Изв. Вузов. Электромеханика. 2006, №5. с. 3-10. ISSN 0136-3360.

98. Ачилов Б.М., Назаров М.П. Результаты исследования сушки фруктов с помощью гелиосушительной установки карусельного типа. Гелиотехника, №3, 1988. –с. 67-69.;

99. Баркалов Б.В., Павлов Н.Н., Амирджанов С.С. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. –М.: Стройиздат. 1992. -416 с.;

100. Батанов Г.М. Бережецкая Н.К., Косый И.А., Магунов А.Н., Силаков В.П. Импульсный нагрев тонких слоев из смеси порошков микроволнами высокой интенсивности. // Журнал технической физики, Том 71, вып. 7. 2001. – с. 119-123.

101. Беляев Н.М., Рядно А.А. Методы теории теплопроводности. Ч.1.-М.: Высшая школа, 1982. 327 с.;

102. Беляев Н.М., Рядно А.А. Методы теории теплопроводности. Ч.1.-М.: Высшая школа, 1982. 307 с.;

103. Бобров А.П., Бобров П.П., Ивченко О.А., Мандрыгина В.Н. Определение диэлектрической проницаемости прочно- и рыхлосвязанной воды на СВЧ с использованием емкостной модели диэлектрической проницаемости почв. // Вестник Омского Государственного Педагогического Университета. Омск: -2006. с.38-42.

104. Богомоллов., перцева., Сафонова переработка продукции растительного и животного производства. –М.: Изд-во ГИОРД, 2001. -336 р. ISBN 5-901065-31-X.;

105. Богородицкий Н.П., Волокобинский Ю.М., Воробьев А.А., Тареев Б.М. Теория диэлектриков.- М.: Энергия, 1965. – 342 с.

106. Бордонский Г.С., Орлов О.А., Филиппова Т.Г. Измерения низкочастотной диэлектрической проницаемости увлажненных дисперсных сред при отрицательных температурах. // Криосфера земли. Т. XII, № 1. 2008. – с.66-71;

107. Борисов В.С., Карнаков В.А., Ежова Я.В., Рубцова О.Б., Щербаченко Л.А. Особенности поляризации тонких пленок воды в поле активной поверхности кристалла слюды. // Физика твердого тела. Т.50, Вып.6. 2008. –с. 980-985.

108. Боровая Е. Облепиха. –М.: Изд-во АСТ, 1999. – 336 с.

109. Бородин И.К. Электрофизическая интенсификация сушки и обработки сырья. В труды международной практической конференции «Современные энергосберегающие технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов)». М.: МГАУ. 2002, с. 82-88.

110. Брандт А.А. Исследования диэлектриков на сверхвысоких частотах. –М.: Физматгиз, 1963. -403 с.,

111. Буляндра А.Ф., Ивашенко Н.В. Обобщение нестационарного влагопереноса в процессах сушки пищевых продуктов. // Тр. 1-ой межд. научно-практической конф. «Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов)» - М.: Московский государственный агроинженерный университет им. В.П.Горячкина. 2002. -Т.2. с. 82-85.;

112. Буляндра О.Ф. Технічна термодинамікаю 2-ге видання виправлене. –Кіев, Техніка, 2006. 319 с.;

113. Бурдо О.Г., Казмирук Ю.А. Пути повышения энергетической эффективности при сушке дисперсных продуктов. // Problemele energeticii regionale, 2009, vol. 2(10). <http://www.ieasm.webart.md/>;

114. Бутягин П.Ю. Химическая физика твердого тела. –М.: МГУ. 2006. 270 с.

115. Ваенский В.Н. Геометрические методы теплопроводности. // Вестник Самарского государственного Технического Университета. Серия Физико-математических наук. Вып. 9, 2000, с.115-123;

116. Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны. –М.: Радио и связь, 1988. -440 с.

117. Васюк А. М. и др. Совершенствование техники для производства сушеной продукции // Актуальные проблемы развития общ. пит. потреб. коопераций. – М.:, 1989. – С. 144 – 147.

118. Вейник А. И. Термодинамика реальных процессов. - Минск: Наука і техника, 1991. – 576 с.

119. Вейник А.И. Термодинамика необратимых процессов. Минск: Наука и техника. 1966. – 359 с.;

120. Вендин С. В. Обработка семян электромагнитным полем // Автореферат докторской диссертации. – М: МГАУ, 1994.

121. Веселовский В.Б. Применение структурного метода для решения задач теплопроводности составных сред при экстремальных воздействиях. // Металлургическая теплотехника. – Дн-вск: Пороги. 2006. – с.33-41.

122. Виноградорский Д.Ф., Пономаренко В.И., Попов В.В. исследование дисперсии диэлектрической проницаемости веществ многорезонансным методом. // Ученые записи Таврического национального университета им. В.И. Вернадского / Серия «Физика». Т. 15-16 (54-55), №1 2003. – с. 156-160.;

123. Воробьев Г.А. Свойства диэлектриков (раздел курса «Физики твердого тела»). ТГУСУиР. Томск, 2002 -127 с.

124. Воробьев Г.А. Свойства диэлектриков. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2002. – 127 с.

125. Вселовский В.Б., Босенко Т.М. Математическое моделирование импульсного нагрева твердых тел. / Металургіяна теплотехніка: Збірник наукових праць Нац. Металург. Асад. України. – Днеп-ск: Нова ідеологія, 2008. – с.39-46.

126. Гарбузов Г. Черный орех и другие орехи-целители. –Л.: Изд-во «Питер». 2005, 128 с.;

127. Гержой А.П. Ускоренный процесс сушки зерна. – «Сообщения и рефераты ВНИИЗа», 1948, №4, с. 19-22;

128. Гинзбург А. С., Громов М. А. и др. Теплофизические характеристики пищевых продуктов и материалов // Справочное пособие. – М.: Пищевая промышленность, 1975. - 224 с.

129. Гинзбург А. С., Савина И. М. Массовлагообменные характеристики пищевых продуктов. Справочник. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 280с.

130. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. –М. Пщева проиышленность. 1973, 328 с.;

131. Гинзбург А.С. Технология сушки пищевых продуктов. –М. Пщева проиышленность. 1976, 248 с.;

132. Глаголев К.В., Морозов А.Н. Физическая термодинамика. Т.2 –М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, <http://fn.bmstu.ru/phys/bib/physbook/tom2/>

133. Глуханов Н.П., Федорова И.Г. Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов в машиностроении. –Л.: Машиностроение, 1983. 147 с.;

134. Глуханов Н.П., Федорова И.Г. Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов в машиностроении. –Л: Машиностроение, 1983, -147 с.;

135. Гоголев Ф. Т. Теория и практика сушки масличных семян. – «Труды ВНИИжира», 1934, №4; с. 15-19;

136. Голубев В. Н., Колесник А. А., Исмаилов Т. К. Комплексная переработка облепихи с помощью мембран//Техника и технология. Пищевая промышленность. - №11. -1990. –с. 32-35.

137. Гореньков Э. С. и др., Отечественный и зарубежный опыт сушки винограда 1991, выпуск 10. -28 с.;

138. ГОСТ 2372-77. Материалы диэлектрические. Методы определения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 100 до 5х10 в ст. 6 Гц

139. ГОСТ 24556-89. Продукты переработки полдов и овощей. Методы определения витамина С. – М: ИПК Издательство Стандартов, 2003, 10 с.;

140. ГОСТ 26183-84 Продукты переработки полдов и овощей, консервы мясные и мясорастительные. Методы определения жира. – М: ИПК Издательство Стандартов, 1984, 3 с.;

141. ГОСТ Р 8.623-2006. Государственная система обеспечения единства измерений. Относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь твердых диэлектриков. Методики выполнения измерений в диапазоне сверхвысоких частот

142. Гринкевич Н. И., Баландина И. А., и др. Лекарственные растения // Справочное пособие. – М.: Высшая школа, 1991. - 398 с.

143. Гришин М.А., Аматазевич М.А., Семенов Ю.Г. Установки для сушки пищевых продуктов. Справочник. – М.: Агропромиздат. 1989, - 215 с.

144. Гришин М.А., Погожин Н.И., Потапов В.А. Эффект динамического структурирования влаги в процессе сушки. / Промышленная теплотехника. Том 23, №4-5, 2001, с. 100-105. ISSN 0204-3602;

145. Губин В.Б. О физике, математике и методологии. – М.: ПАИМС, 2003, – 321 с.

146. Губин В.Б. Физические модели и реальность. Проблема согласования термодинамики и механики. – Алматы, 1993. – 231 с.

147. Гурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. 9-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2003. 188 с.

148. Данилова Т. А., Миронова А. Н., Аспиотис Е. Х. методы и средства оценки качества семян подсолнечника, рапса, сои // Масло-жировая промышленность, серия 6. - М.: ЦНИИТЭИ пищепром. — вып. 2., 1984. – 24 с.

149. Де Гроот С.Р. Термодинамика необратимых процессов. М.: Иностранная литература, 1956.- 280с.;

150. Де Гроот С.Р., Мазур Р. Неравновесная термодинамика. М.:Мир, 1964.- 456с.

151. Дерффель К. Статистика в аналитической химии. – М.: Мир, 1994. 268 с.

152. Диденко А.Н. СВЧ энергетика. Теория и практика. -М.: Наука. 2003. 445 с.

153. Дискретно-импульсный ввод энергии в теплотехнологиях. Теория, эксперимент, практика. Долинский А.А., Басок Б.И., Гулый С.И., Накорчевский А.И., Шуркова Ю.А. –Киев: Институт технической теплофизики Академии Наук Украины, 1996, - 207 с.;

154. Дубровин И.И. Целебная облепиха. – М.: Яуза: Эксмо-Пресс, 2000. – 128 с.

155. Дьярмати И. Неравновесная термодинамика. М.: Мир, 1974., 304 с.

156. Емельянов О.А. Особенности релаксационной поляризации диэлектрика в области больших электротепловых нагрузок. // Письма в ЖТФ, Т.28, Вып.22. 2002. –с. 32-38

157. Ермаков Б.С. Лесные растения в вашем саду. – М.: Экология, 1992.

158. Жаровня для семян YCGP-110.
<http://20082.ru.foroll.com/ru/firm/goods/1749/?id=1710>.

159. Жаровня многочанная для масложировой промышленности.

http://ygtehsnab.com/production/c_oborudovanie/jarovnyia/.

160. Жмакин Н.П. Исследование процесса нагрева влажных материаллов токами высокой частоты. Докл. АН БССР. – 1960. – Т.IV -№1 с.

161. Жмакин Н.П. Тепло- и массообмен при высокочастотном нагреве влажных тел. // Сб. // Проблемы теплообмена при литье. – Минск: Наука и техника. 1965. – с. 60-73;

162. Жуков Н.П., Майников Н.Ф., Рогов И.Ф. Анализ погрешностей измерения теплофизических характеристик материаллов при импульсном тепловом воздействии от линейного источника. Часть 2. Оценка системы погрешностей. // Вестник ТГТУ, -Тамбов: 2003 -Т. 9, с. 6-11.;

163. Жуков Н.П., Муромцев Ю.Л., Майников Н.Ф. О термических сопротивлениях при неразрушающем контроле теплофизических характеристик. // Вестник ТГТУ, -Тамбов: 2004 -Т. 10, с. 43-46.;

164. Жукова Т. М. Дикорастущие плоды и ягоды. Целебные свойства, сбор и хранение, консервирование. –М.: Центрполиграф, 2001. -320 с;

165. Жцравлев А.П., Журавлеав Л.А. Технология сушки зерна и подсолнечника. – Чапаевск: Самарская гос-ая акад, 2000, - 200 с.

166. Зайцев С. Современный домашний травник. –М.: Изд-во Книжный дом. -2008. 256 с.;

167. Захидов Р.А., Кирчизбаев Д.А. и др. Комбинированная солнечная сушильная установка // Гелиотехника. – 1988. – № 4.- с.60-64.

168. Здоровые продукты с использованием растительного лекарственного сырья / Л. Н. Саватеева, Н.Т. Пехтерева, Т.П. Юдина и др. // 3 международный симпозион «Экология человека: Проблемы и состояние лечебно – профилактического питания»; 26-30 сентябрь., 1994: Тезисы и доклады – ч. 1. – М.: 1994. – с.47-48 (рус);

169. Зоркий П.М. Структурная химия на рубеже веков. Рос. хим. журнал (Ж. Рос. Хим. об-ва им. Д. И. Менделеева). Т. XLV. - № 2. – 2001. – с. 3-10.

170. Зуев В. Ф. Скороплодные сады и ягодники. –М.: Агропромиздат, 1991. -96с.

171. Иванов Б.П. Проектирование СВЧ устройств. – Ульяновск.: УлГТУ, 2005. 68 с.

172. Идентификация растительных масел и масляных экстрактов методом ТХК. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2008. Т.8, Вып.4. с.646-653.

173. Измерительно-вычислительная система для регистрации температурных зависимостей теплопроводности и теплоемкости материалов. Майникова Н.Ф., Муромцев Ю.Л., Ляшков В.И., Балашов С.В. // Заводская лаборатория, Т. 67. 2001, -№8, с.35-37.;

174. ИК-облучение плодов и овощей при сушке в гелио-установках// С. Г. Ильясов, Е. П. Тюрев и др. Технология и оборудование пищевой промышленности и пищевого машиностроения. – Краснодар: -1985. -с. 24-34.;

175. Информация Министерства Сельского Хозяйства США о пищевой ценности миндаля (2003 г.) (На порцию потребления 100 г.). <http://www.almonds.ru/402/>;

176. Использование отходов переработки облепихи в производстве кулинарной продукции / Л. П. Ольховская, В. П. Суханова // 3 - международный симпозион «Экология человека: Проблемы и состояние лечебно – профилактического питания»; 26-30 сентябрь., 1994: Тезисы и доклады – ч. 1. – М.: 1994. – с.65-66 (рус)

177. Исследование продуктов переработки облепихи при производстве хлеба / И.Б. Абрименно, Т.Г. Качаева, М.В. Преловская и др. // Всесоюзная научная конференция «Пути повышения качества зерна, зернопродуктов, улучшение ассортимента крупы, муки и хлеба»; 17 – 19 октября, 1989; Тезисы и доклады. – М.: 1989. – с.98-99 (рус).

178. Исследование стабилизации облепихового сока / G. Dongovcki, W. Bock, I. Briicner // Nahrung. – 1989. – 33. –№ 7. – с. 631 – 640 (нем).

179. Казаков А.И., Андриянов А.В., Миронов В.С. Поляруш Расче частотной зависимости диэлектрических характеристик тонких пленок. // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2003 №1. – с.52-54.

180. Карпов В.Н., Худоногов А.М., Худоногов И.А.. Энегроэкономная импульсно-прерывистая электротехнология целебного чая. // Пути повышения эффективности использования электрической энергии в сельскохозяйственном производстве. – Иркутск: ИСХИ, 1995. – с.51-52.

181. Карпов Д. И. Временные характеристики импульсного СВЧ-нагрева элементарного объема изотропного материала / Д.И. Карпов // Нанозлектроника, нанофотоника и нелинейная физика: материалы Второй конф. молодых ученых. Саратов: СФ ИРЭ РАН, 2007. – С. 59 – 60.

182. Кириевский Б.Н. Исследование теплофизических свойств масличных семян. – «Труды ВНИИжира» 1970, № 27, с. 14-19.

183. Киселева Т.Ф. Технология сушки. /Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. - Кемерово, 2007. - 117 с.;

184. Климов Юрий. Облепиховое масло//АиФ Здоровье. -№ 32 (469). 07.08.-2003.

185. Княжевская С.Г. и др. Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов. –Л.: Машиностроение, 1989. -65 с.

186. Ковалёва Л.А. Галимбеков А.Д. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические процессы в многокомпонентных средах. // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2004. № 1. с- 141-144.;

187. Ковалева Л.А., Галимбеков А.Д. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические процессы в многокомпонентных средах. // Вестник Оренбургского государственного университета. -2004. №1. –с 141-146.;

188. Козлов Д.В. Основы гидрофизики. / Московский Университет природообустройства.
http://www.msuee.ru/html2/med_gidr/med_gidr.html;

189. Комплексная переработка ягод облепихи / В.А. Помозова, Е.В. Ельцева, Т.Ф. Киселева, О.Н. Протасова // Достижения науки и техники АПК. – 2001. – № 7.- с. 20 – 29

190. Комышкин А. Д., Журавлева А. Г., Хасанова Ф. М. Сушка и хранение семян подсолнечника. – М.: Агропромиздат, 1988.

191. Конвективная сушильная установка "Кратер -2"
http://oborud.contract.ru/index.shtml?pr1_3295_15

192. Коновалов В.И., Кудра Т., Гагапова Н.Ц. Современные вопросы теории переноса при сушке. // Вестник ТГТУ. 2008. Том 14. № 3. с. 559. ISSN 0136-5835;

193. Копейковский В. М. и др. Технология производства растительных масел – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 416 с.

194. Копейковский В. М., Данильчук С. И. Технология производства растительных масел. – М.: Агропромиздат, 1987.

195. Копосов Г.Д., Тягунин А.В. Особенности электрофизических свойств механических смесей лед – песок. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2008. Т.8, Вып.6. с.910-916.

196. Короткий И.А. Теплофизические характеристики ягод облепихи. / Вестник Красноярского Государственного Аграрного Университета. №2, 2008, с. 287-290, ISSN 1819-4036;

197. Костянтин Г. Математическое моделирование импульсных процессов поверхностного упрочнения.
<http://www.pinchukfund.org/storage/students/works/2008/261.doc>

198. Котова Т.И. Сушка плодов облепихи в микроволновой вакуумной установке. / Хранение и переработка сельхозсырья, № 9, 2006, с. 25-26, ISSN 2072-9669;

199. Котова Т.Н., Хараев Г.И. Оптимальные способы сушки облепихи обезвоженной. // Пищевая промышленность. -2008. № 4. –с. 41

200. Котова Э.Э. К вопросу о стандартизации некоторых жирных растительных масел и препаратов на их основе. // научно-практический журнал «Фармакон», 2004 г. №2, с.3-9.

201. Кочетова Л. И. Производство халвы. – М.: Пищевая промышленность, 1977.

202. Красников В.В. Кондуктивная сушка. – М.: Энергия, 1973. – 288 с.

203. Кухарева Л. Лекарственные растения. – М.: Махаон Издательская, 2001. – 96с.

204. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. М.: Наука, 1964. 551 с.

205. Ланцош К. Математические методы прикладного анализа. – М.: Физматгиз, 1961. 524 с.

206. Лесные ягоды в саду и огороде. Серия: В помощь фермеру. –М.: Проф-Пресс, 2001.-192с.

207. Лесные ягоды в саду и огороде. Серия: В помощь фермеру. –М.: Проф-Пресс, 2001.-192с.

208. Литвинов О.С., Павлов К.Б., Горелик В.С. Физика в техническом университете. Электромагнитные волны и оптика. Т.4. МГТУ им. Н.Э.Баумана.

<http://phys.bspu.unibel.by/lib/phys/bmstu/>.

209. Лобанов В.Г., Шаззо А.Ю., Щербаков В.Г. Теоретические основы хранения и переработки семян подсолнечника. М.: Колос, 2002 г., 592 с.

210. Лупашко А. Интенсификация процесса сушки сельскохозяйственного сырья медико-биологической направленности с применением ТВЧ. // Автореферат докторской диссертации. –Киев: 1996, -45 с.;

211. Лупашко А.С. Настас О.Ф., Мошану А.А., Дикусар Г.К. О применении нетрадиционных методов сушки плодов косточковых. / Материалы Научно-Технической Конференции Машиностроение и техносфера XXI века, том 2. – Донецк, 2002. – С. 160-164.;

212. Лушиц Т. Е. Косточковые: слива, вишня, черешня, алыча, облепиха. –(Серия: «На грядке и в саду»). –СПб.: Книжный дом, -Невский проспект, 2001. -80с.

213. Лыков А.В. Максимов Г.А. Исследование процесса сушки в поле высокой частоты. Тр. МТНИПП, 1957. Вып. 8, с.133-142;

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

215. Лыков А.В. Применение метода термодинамики необратимых процессов к исследованию тепло- и массопереноса. // ИФЖ. 1965, №9. –с.287-304.;

216. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. 470 с.

217. Лыков А.В. Теплопроводность при нестационарных процессах. –М.-Л.: ГЭИ, 1948. 232 с.;

218. Любимов Ю. А. Очерки по истории электромагнетизма и диэлектриков : учебное пособие. –М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2008. – 376 с.

219. Любошиц И.Л., Шейман В.А., Зелепуга А.С. Исследование сушильных термических процессов. – Минск: Наука и техника.1962, 365 с.

220. Малежик И., Лупашко А., Тарлев В., Рэдукан М., Филип П. Вплив вологості слив на їх електрофізичні параметри // Тезиси докладов на 6-й Міжнфродній науково-технічній конференції. (проблеми та перспективи впров, нових ресурсота енерго-ощадних технологій, обладнання в галузях харчової і переробної промисловості). –Київ. УДУХТ. 2000. –с.114-115.

221. Малежик И.Ф., Тарлев В.П., Лупашко А.С. Конвективно- высокочастотная сушка косточковых фруктов. Кишинев: УТМ, 2005. - 460 с.;

222. Малин Н. Энергосберегающая сушка зерна. –М.: Колос. 2004. -240 с.;

223. Масликов В. А. Технологическое оборудование производства растительных масел. – М.: Пищевая промышленность, 1974.

224. Маслова Е.А. Как правильно приготовить облепиховое масло в домашних условиях / Е.А. Маслова. – Всеукраинская газета – целительница «Бабушка». – 07.06.2004

225. Матыцин С.М., Новогрудский Л.Н., Розанов К.Н. Методы измерения диэлектрической проницаемости листовых композиционных материалов в дециметровом диапазоне. //

методы и средства измерений электромагнитных характеристик материалов на ТВЧ и СВЧ. / Тезисы докладов на 7-ой Всесоюзной НТК. – Новосибирск, 1991. –с.93-94.;

226. Машуков А.В., Чубинский Н.П. Вычисление волнового сопротивления нагруженной диэлектриком копланарной линии. // тезисы пленарных и секционных заседаний 51-ой научной конференции МФТИ. М.: 2008. <http://www.mipt.ru/nauka/51conf/>.;

227. Мецик М.С., Гладкий Г.Ю. Физика диэлектриков. ИГУ, Иркутск. 2001. -116 p.

228. Мигулин В.В., Медведев В.И., Мустель Е.Р., Парагин В.Н. Основы теории колебаний. - М.: "Наука", 1987, 392 с.

229. Микуров Олег, Петин П. Облепиха из «Сибирского» ее здесь так много, как нигде в мире // Олег Микуров, П Петин - Алтайская Правда. – 141 (24394). – 29.05.2003

230. Минаева В. Г. Лекарственные растения Сибири. -5-е изд. перераб. и доп. –Новосибирск: Наука, 1991.- 431с.

231. Михеев Г.М., Тарасов В.А., Михеева Т.Г. Электроконвективная очистка жидкого диэлектрика. // Письма в ЖТФ, Т. 34, вып. 9, 2008, с.65-72.;

232. Мищенко С.В., Пономарев С.В., Толстых С.Г. К вопросу о погрешностях измерения коэффициента диффузии пористых материалов. // Вестник ТГТУ, –Тамбов: 2003 -Т. 9, с. 156-166.;

233. Мустяца В.Т. Тепло- и массообмен во влажных материалах в электрических полях высокой частоты. – Кишинев: Штиинца, 1985. 62 с.;

234. Мустяца В.Т., Верлан Е.В. Задачи импульсного тепломассопереноса. / Сб. «Прикладная математика и программирование», АН МССР. Вып 10. – Кишинев: Штиинца, 1973. - с.81-86.

235. Мустяца В.Т., Верлан Е.В. К расчету полей температуры и влагосодержания при наличии импульсного внутреннего источника тепла. / Инж-физ. журнал, 23, №1, 1972. с. 71-75.

236. Мустяца В.Т., Верлан Е.В. Исследование периодического диэлектрического нагрева влажных

материаллов. / Электронная обработка материалов. № 5, 1975. – с.60-63.

237. Мустяца В.Т., Ганя Г.П., Лупашко А.С. Исследование электрорфизических свойств какао крупки. // Электронная обработка материалов. -1979. №2. с.78-81.;

238. Мучник Г.Ф. Рубашов И.Б. Методы теории теплообмена. Ч.1. Теплопроводность. М.: Высшая школа, 1970. 280 с.;

239. Нетушил А.В. Нагрев неоднородных диэлектриков в высокочастотном электрическом поле // сб./ Промышленок применение ТВЧ. ГНТИМСЛ. – М.Л.: 1954. -187-216 с.

240. Новикова С.Ю. Физика диэлектриков. Электронное издание <http://ftemk.mpei.ac.ru>. –М: 2007, -81 с.

241. Оборудование для производства растительного масла. <http://rmz.com.ru/oborud.php>.

242. Овощефруктовые консервы для профилактики радиационных воздействий на детский организм / С.Ф. Понаморенко, Ю.Д. Пилипенко, Л.Ф. Филиппова // 4 - международный семинар «Экология человека: пищевая технология и продукты»; 24-25 октября 1995: Тезисы и доклады – ч. 2. – М.: - Видное, 1995. – с.270-280 (рус)

243. Окадзаки К. Пособие по *электротехническим материалам*. М.: Энергия, **1979**. 431 с.

244. Осипов А.И. Термодинамика вчера, сегодня, завтра. Часть 2. Неравновесная термодинамика. // СОЖ, 1999, № 4, с.79–85.;

245. Павлов П. В., Хохлов А. Ф. Физика твердого тела. –М.: Высшая школа, 2000. –494 с.

246. Панков С. С. Целебная облепиха. Серия: Миникнига. – Санкт-Петербург: ООО А. В. К. – Тимошка, 2000.

247. Парамонов В., Сакасырская А., Floettman K., Stephan F. Исследование эффектов импульсного ВЧ-нагрева в нормально проводящих резонаторах L диапазона. / Problems of atomic science and technology. 2008. nr.3 – pp.51-54.

248. Паронян В.Х. Технология и организация производства жиров и жирозаменителей. –М.: ДеЛи принт. 2007. – 511 с.;

249. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. Учебник для ВУЗов. Изд. 3-е –С-Петербург: Лань, 2001. -368 с.

250. Патент (RU)России № 02118353 С12G 3/06. Чугунова Т. М. Плодовый винный напиток «облепиха». 27.08.98.

251. Патент 203 4015 Россия, МКИ С 11 В 9/02 Линия для переработки ягод облепихи: / О.И. Квасенков, О.И. Андропова и др. – № 93044234/13; Заявление 03.09.93, Опубликовано 30.04.95, Бюллетень №12.

252. Патент 2043734, МКИ А 23 L 1/22. Способ получение пищевой добавки из облепихового шрота / В.О. Злочевский, М. Тихман, Т.Архипова, и др. – № 94023864/13; Заявление 1.07.94; опубл. 20.09.95. – 26. (рус)

253. Патент 2043741, МКИ А 23 L 2/08 . Концентрат облепихи и способ его приготовления / В.С. Аксельрод, Л.И. Прохорова, С.В. Козырев. – НПО: Алтай - № 5024295/13; Заявление 27.01.02, Опубликовано 20.09.95, Бюллетень № 26.

254. Патент России 2052743, МКИ F 26 В 11/04 Сушилка / Ю.М.Шакиров, Ф.Ю. Шакиров. – 035035100/06; Опубл. 20.01.96. БИ №2 .;

255. Патент России 2059172, МКИ F 26 В 9/06 Лотковые сушилки. Опубл. 29.09.96. БИ № 2.;

256. Печь для сушки-обжарки сыпучих: <http://proizvodim.com/jar.html>.

257. Печь-жаровня для обжарки и сушки сыпучих продуктов. – <http://www.proizvodim.com./jar.html>.

258. Полная энциклопедия народной медицины. Т. 1. Разделы 1 и 2. – М.: АНС, 1999. - 752 с.

259. Полная энциклопедия народной медицины. Т. 2. Разделы 3, 4, 5, 6, 7 и 8. – М.: АНС, 1999. - 800 с.

260. Полная энциклопедия народной медицины. Т. 3. Раздел 3. Целебные растения народной медицины, разводимые человеком. – М.: АНС, 1999. -560 с.

261. Потапов А.А. Вариальная теория деформационной поляризации. // Исследовано в России. 2003. -Т6, с2228-2241.

262. Потапов А.А. Ориентационная поляризация. Поиск оптимальных моделей. Новосибирск, Наука. 2000. -336 с.

263. Потапов А.А., Мецик М.С. Диэлектрическая поляризация. Новосибирск, Наука. 1986. 264 с
264. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов –М: Иностранная литература, 1960.- 127с.;
265. Производственное объединение «Юрмаш»
http://www.kuztpp.ru/data/urmash_2.htm.
266. Протождяконов И.О., Муратов О.В., Евлампиев И.И. Динамика процессов химической технологии. –Л.: Химия, 1984, 303 с.;
267. Процеси і апарати харчевних виробництв: Підручник / За ред. Проф. І.Ф.Малежика. –К: НУХТ, 2003. – 400 с.;
268. Путырский И. Н., Прохоров В. Н., Кухарева Л. В. Лекарственные растения. –Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. -95с.
269. Ревина А.В., Валин К.М. Исследование влияния основных факторов на эффективность комбинированной сушки овощных продуктов. / Вестник АГТУ. 2005 №2(25), с.297-3-3. ISSN 1812-9498;
270. Рекомендации по сушке подсолнечника,
http://www.gsu.com.ua/page_25.htm;
271. Рогов И.А. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов. –М.: Агропромиздат, 1988. -282 с.
272. Рогов И.А., Бабкин Б.С., Выгодин В.А. Глубина проникновения электромагнитного поля в пищевые продукты.
http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_best_article_issue_11_2005.htm
273. Рогов И.А., Некрутман С.В. Сверхвысокочастотный нагрев пищевых продуктов. – М.: Агропромиздат. 1986, -351 с.;
274. Рогов И.А., Некрутман С.В. Сверхвысокочастотный нагрев пищевых продуктов. –М.: Агропромиздат, 1986. -351 с.
275. Романова Г. Лечение облепихой. (Серия: Советы Анастасии Семеновой и ее друзей) 2001. -126с.
276. Рудобашта С.П. Массоперенос в системах с твердой фазой. – М.: Химия, 1980. – 246 с.
277. Рудобашта С.П., Харьков А.О., Дима Ж. СВЧ-интенсификация процесса сушки растительных материалов. // Труды Минского международного форума по тепло-массообмену. 1996. Т. 9. Часть 2. С. 62-68.;

278. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. Учебное пособие. 3-е изд. – Новосибирск: Изд-тво Новосиб. Ун-та: Сиб. Унив. изд-во, 2001. – 608 с.

279. Сафин Р.Р., Мустафин З.Р., Юнусов Л.Р., Ахметова Д.А. Вакуумно-кондуктивная сушка пиломатериаллов с «импульсным подводом тепла» // Тезисы докладов XX Международной научной конференции «ММТТ-20» - Ярославль: 2007. – 190-192 с.

280. Семенов Г.В., Касьянов Г.И. Сушка сырья: ясо, рыба, овощи, фрукты, молоко. –Ростов на Дону: издательский центр «МарТ», 2002. -112 с.

281. Семихина Л.П. Способ определения диэлектрических параметров воды и ее растворов в низкочастотной области с помощью L-ячейки. Патент РФ № 2234102 // БИПМ. №6. 2004.

282. Серебряков В.Н., Колесников Е.В. Методика определения диэлектрических свойств сыпучих сельскохозяйственных продуктов. // 6-я Всесоюзная научно-техническая конференция. / Электрофизические методы обработки пищевых продуктов и с/х сырья. –М.: -1989. –с.39;

283. Сизова Н.В., Андреева Н.Ю. Определение витамина Е в растительных маслах методом микрокалориметрии. // Хим-фарм журнал, Том 41, №6, 2007г. С. 49-52.

284. Симаков И.Г., Гомбоев Р.И. Исследование диэлектрической релаксации воды в граничной фазе. // Труды БШФФ. Иркутск. 2006, с 232-235.;

285. Сиопян Г. Г., Калошян М. С., Абовян С. С. И др. Экспериментальная солнечная установка для ускоренной сушки с/х сырья/ // Новые виды продукции из плодов и винограда. – М.: -1990. –с. 101-105.;

286. Сиротин А.М., Старчеус П.А. Диэлектрическая проницаемость и тангенс угла потерь семян колиандра. Изв. ВУЗов. №2. Пищевая технология. – 1976. -176 с.

287. Сканапи Г. И. Физика диэлектриков. Область сильных полей. Часть 2. М.: ГТТИ, 1958. –908 с.

288. Сканапи Г. И. Физика диэлектриков. Область слабых полей. Часть 1. М.: ГТТИ, 1949. –500 с.

289. Снежин Ю.Ф., Боряк Л.А., Избасаров Д.С. Энергосбережение и интенсификация процесса сушки импульсным ИК-облучением. / Промышленная теплотехника. Том 23, №4-5, 2001, с. 90-94. ISSN 0204-3602;

290. Совершенствование процессов сушки плодов / Пищев. пром. Сер.: Консервная производство (заруб. опыт). – М.: НИИТЭИПП. – 1986. – вып. 5. – с. 5-7.

291. Соколов В.М. Уточнение резонаторного метода измерения параметров диэлектриков. // Измерительная техника. №12, -1992. – с. 41-42.;

292. Соловьева В.А. Очищение организма: действенные методы. – Санкт-Петербург: Изд. дом «Нева», 2003. 383 с.

293. Справочник по лекарственным растениям: фитотерапия / С.Я.Соколов, И.П.Замотаев. - 3-е изд., стер. – М.: Медицина, 1990. – 462 с.

294. Станкевич Г. Своевременная сушка семян подсолнуха – залог их качества и сохранности. // Агроогляд: овочі та фрукти. 2004. www.lol.org.ua;

295. Таиров З. К повышению эффективности исследования солнечной энергии для сушки плодов и винограда // Гелиотехника. – 1983. - № 5. – с. 69 – 72. ;

296. Тареев Б. М. Физика диэлектрических материалов. –М.: Энергоиздат, 1982. –320 с.

297. Телегин А.С., Швыдкий В.С., Ярошенко Ю.Г. Тепло-массоперенос: Учебник для вузов. –М: Металлургия. 1995. 400 с.;

298. Терещук Л. В. Облепиха в комбинированных молочных продуктах// Молочная промышленность.-2001.- № 5. –с. 48-52.

299. Тетерин Л.А., Панчин Г.П. Процесс сушки лесоматериалов с применением энергии СВЧ. // Окна, двери, витражи №5 2006 ДОК, www.bau.ua/artic/ru_1124/;

300. Технологическая линия по обжарке и упаковке семечек (семян подсолнуха, тыквы, орешек и т.д.). - <http://www.proizvodim.com/semchki.html>.

301. Тимотин А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования. Т 2. – Калуга: Изд-во Н.Бочкаревой, 2006. – 1028 с.

302. Трофимов Т. Т., Кийко Е. П. Облепиха. –М.: Издат-во МГУ, 1997. -112с.

303. Умаров Г. Я., Тюрин Ю.Г., Умаров Г.Г. Разработка гелиосушительных комплексов для плодовоовощных культур // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. – с. 9-11.;

304. Фатыхов М.А., Багаутдинов Н.Я. Разработка методики определения и экспериментальные исследования диэлектрических параметров газового гидрата в области высоких частот. // Нефтегазовое дело. <http://www.ogbus.ru>. 2006. - 15 с.;

305. Фатьянов В. И. Тыква, кабачки, патисоны. – М: Олмна-пресс, 2003, 2003 г.

306. Федоткин И.М., Математическое моделирование технологических процессов. – К.: Выща школа, Головное издательство, 1988. – 415 с.

307. Физическая химия. / Под ред. Асад. Никольского Б.П. – 2-е изд. Перераб. И доп. – Л.: Химия, 1987. -880 с.

308. Формазюк В. Энциклопедия пищевых лекарственных растений. –М.: Изд-во АСК. -2003. – 792 с.;

309. Френкель.Я.и., Губанов А.И. Современное состояние теории поляризации. // Успехи физических наук. –М.-Л.: Государственное издательство теоретической литературы. 1940. с.166-193.

310. ФС 42-1563-80.

311. ФС 42-3873-99 масло облепиховое в ректокапсулах по 0,55 для детей.

312. Харин В. М., Агафонов Г. В., Ширшов Е. А. Кинетика непрерывного процесса сушки зернистого материала с нагревом в поле ТВЧ // [Хранение и перераб. сельхозсырья](#). -2004. -№ 8. - С. 22-23. ISSN 0235-3156;

313. Хромой Б.П.. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2006.

314. Хусаинов У.М. Сушка плодов и винограда с использованием аккумуляирования солнечной энергии. – М.: Легкая и пищевая промышленность. – 1983. – 41с.;

315. Чем полезна облепиха: Medicus – По материалам «Женское здоровье» // Правда. ру. – 26.05.2004. –http://www.Medicus.ru/?cont=newslnws_id=6420

316. Шашков А.Г. Бубнов В.Я., Яновский С.Ю. Волновые явления теплопроводности. Сисиемно-структурный подход – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 296 с.

317. Шепелев В.А. Целебные свойства орехов. –М.: Феникс. 2002. – 128 с.;

318. Шиков А.Н., Макаров В.Е., Рыженков В.Е. Растительные масла и масличные экстракты: технология, стандартизация, свойства. – М.: Издательский дом «Русский врач». – 2004. 264 с.

319. Штокман Е.А., Шилов В.А., Новгородский Е.Е. и др. Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности. –М.: [изд. АСВ. -2007. -688 с.;](#)

320. Шубин А.В. Заготовка и использование лекарственного сырья. – Петрозаводск, 1987. 68с.

321. Шубин Г.С. Развитие некоторых аспектов теории тепломассопереноса А. В. Лыкова. // Тр. 1-ой межд. научно-практической конф. «Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов)» - М.: Московский государственный агроинженерный университет им. В.П.Горячкина. 2002. -Т.1. с. 52-60.;

322. Шубин Г.С. Сушка и термовлажностная обработка древесины. – М.: Лесная пром-ть. 1990. – 336 с.

323. Щадилов Е. В. Лечимся ягодами. Дача вылечит, дача исцелит. –Санкт-Петербург: Питер, 2003. -224с.

324. Щербаков В. Г. Биохимия и товароведение масличного сырья. - М.: Колос, 2003. - 360с.

325. Щербаченко Л.А. Физика диэлектриков. Иркутск: ИГУ, 2005. -73 с.;

326. Щербаченко Л.А., карнаков В.А., Марчук С.Д. Исследование комплексной диэлектрической проницаемости твердых диэлектриков при радиочастотах. Иркутск: ГОУ ВПО ИГУ, 2005. – 15 с.

327. Эйдельмант А.С. Облепиха в медицине, косметики, кулинарий. – М.: Крон – Пресс, 1998. – 376с.

328. Эйдельмант А. С. Все об облепихе // Будь здоров. - 1999. - №6. - с. 4-46.

329. Эйдельмант А. С. Стратегическая облепиха//Поиск. - № 3.-2003

330. Эткин В.А. Синтез и новые приложения теории переноса и преобразования энергии. Диссертация на соискание ученой степени д-ра техн.наук. –М.:, 1998.;

331. Эткин В.А. О единстве движущих сил необратимых процессов. // Журн.физ.хим. -1989. –Т.63. с.1660-1662.;

332. Эткин В.А. О форме законов многокомпонентной диффузии. // Журн.физ.хим. -1994. –Т.68. с.2117-2121.;

333. Эткин В.А. Термокинетика: (Термодинамика неравновес. процессов переноса и преобразования энергии). Тольятти Изд-во Междунар. акад. бизнеса и банк. дела. 1999, - 184 с.;