

TERMODINAMICA ȘI CINETICA USCĂRII SORIZULUI CU APLICAREA MICROUNDDELOR

prof. univ., dr. hab. Andrei LUPAȘCO

prof., dr. Galina DICUSAR

lector superior Adelina DODON

lector superior Angela DELIU

drd. Ilie TERZI

Universitatea Tehnică a Moldovei

Sectorul agroindustrial al Republicii Moldova, și anume ramura de prelucrare a cerealelor – de o importanță primordială pentru economia țării – necesită investiții serioase în domeniul fabricării produselor alimentare, cu aplicarea procedeelor și tehnologiilor noi, care vor revoluționa varietatea sortimentală, vor micșora cantitatea de produse importate ce invadează actualmente piața autohtonă. O inovație esențială pentru ramura vizată este producerea alimentelor instantanee (concentrate alimentare cu fierbere redusă). De regulă, producerea concentratelor alimentare este bazată pe prelucrarea crupelor, produse deosebit de prețioase în rația omului [1] datorită valorii lor nutritive și energetice înalte, asimilării bune a proteinelor și glucidelor pe care le conțin.

Crupele sunt derivatele prelucrării boabelor, dintre care face parte și sorizul, un nou soi din grupa cerealelor ce conțin o cantitate însemnată de amidon, selectat de savanții de la Institutul de Cercetări Științifice „Porumbeni”. După datele prezentate de ICȘP, prin compoziția sa chimică și proprietățile gustative sorizul este un produs asemănător orezului. Actualmente, în țara noastră sorizul a început să se cultive în proporții industriale. Iată de ce problema conservării și valorificării sale este de o importanță vitală.

INTRODUCERE

Pentru a fi folosită în rația zilnică a omului, o gamă largă de produse alimentare necesită prelucrare termică. Aceasta fiind un proces de durată, cere consum de energie și conduce la schimbări esențiale ale indicilor de calitate ai produsului. Important este că, datorită progresului tehnico-științific, modernizării și automatizării tuturor proceselor, s-a intensificat simțitor și ritmul de viață al omului contemporan.

Timpul necesar preparării produselor alimentare din materie primă vegetală fiind destul de îndelungat, omul optează adeseori pentru cea mai eficientă și mai

convenabilă alternativă de alimentație, când poate să-și pregătească bucate sănătoase și gustoase rapid și cu puțin efort - condiții pe care le întruchipează perfect concentratele alimentare.

Astfel, apare necesitatea creării unor noi tehnologii de producere a preparatelor cu fierbere redusă și a concentratelor. Producerea concentratelor alimentare se bazează pe prelucrarea diverselor crupe, inclusiv a sorizului.

Direcțiile prioritare în dezvoltarea ramurii de producere a concentratelor alimentare sunt: valorificarea produselor autohtone, asigurarea calității înalte, lărgirea sortimentului, crearea noilor metode pro-

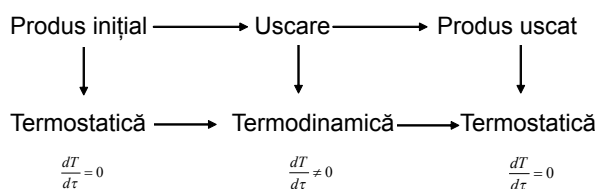
gresive și a proceselor tehnologice continui, care să includă economisirea energiei electrice, reducerea cantității deșeurilor, elaborarea produselor ce satisfac cerințele contemporane față de normele raționale de alimentație.

1. BAZELE TERMODINAMICII PROCESULUI DE USCARE A SORIZULUI

Una din principalele etape ale procesului tehnologic de prelucrare a sorizului este uscarea. Acesta este un proces complex, care presupune transferul simultan de căldură și masă, atât în interiorul corpului supus uscării, cât și în stratul-limită de la suprafața dintre faze. În timpul contactului dintre materialul umed și aerul încălzit, la suprafață se formează vapori de lichid într-un sistem termodinamic, care se evaporază în mediu.

Uscarea, ca proces termodinamic, se caracterizează prin reducerea energiei interioare a sistemului, în momentul acționării forței ∇T asupra acestuia, tinzând spre dezechilibrarea sa. Ieșirea din echilibru a sistemului (material umed – mediu înconjurător) este provocată nu doar de gradientul de temperatură, dar și de faptul înlăturării umidității din produs, adică de formarea gradientului de masă ∇U .

Termodinamica, după [2,3], studiază proprietățile sistemelor staționare, pentru care noțiunea de timp nu există. De aceea, în sensul termodinamicii simple se vorbește despre termostatică. Astfel, procesul de uscare se divizează în trei etape, conform schemei ce urmează:



Conform principiilor de bază ale termodinamicii, procesele indirecte [4], legea transferului interior de masă referitor la uscarea materiilor umede poate fi exprimată în felul următor:

$$J_m = -D\rho_0 \nabla u - D\rho_0 \delta \nabla T \quad (1)$$

unde: D - coeficientul de difuzie, m^2/s ; δ - coeficientul gradientului de temperatură, $1/grad$; ∇u și ∇T - gradientii umidității și temperaturii; ρ_0 - densitatea aerului uscat, kg/m^3 .

Concomitent cu dezvoltarea diferitelor metode de uscare, s-au efectuat cercetări și asupra optimizării condițiilor tehnologice termice de deshidratare în scopul asigurării integrității maxime a tuturor componentelor valoroase din produsul supus uscării, obținerii materiei cu calitate caracteristică înalte, cu proprietăți structural-mecanice necesare.

Astfel, produsul cercetat - sorizul - a fost uscat mai întâi prin metoda convectivă, care are o serie de dezavantaje: durată îndelungată a procesului, încălzirea neuniformă a produsului etc. Aceste neajunsuri pot fi eliminate prin uscarea în câmpuri electromagnetice de frecvență supraînaltă (SHF).

Viteza înaltă a aportului de căldură la încălzirea în câmp electromagnetic de frecvență înaltă a materiilor umede provoacă formarea intensivă a aburilor în produs. Evaporarea umidității are loc în tot volumul corpului, în centrul corpului acest proces fiind mai intens decât la suprafața lui, deoarece temperatura straturilor centrale este cu mult mai înaltă decât temperatura straturilor periferice. În urma acestuia, apare gradientul de presiune general care, după părerea autorilor [4], și este forța motrice de bază a aportului de abur în interiorul corpului. A.V. Lîcov a expus ipoteza, conform căreia la folosirea microundelor transferul umidității decurge sub acțiunea difuziei electrice ($D^{\circ} \rho_0 E$). Astfel, transferul masei în procesul de uscare poate fi notat prin ecuația :

$$J_m = -D\rho_0 \nabla u - D\rho_0 \nabla T - K_p \nabla p - D^{\circ} \rho_0 E \quad (2)$$

unde: E - intensitatea câmpului electric, V/m ; K_p - coeficientul transferului de masă sub presiune.

Caracterul procesului de uscare, reflectat de curbele de uscare și de curbele vitezei de uscare și încălzire, se bazează, în general, pe proprietățile fizico-chimice și structural-mecanice ale materialului, de care depind formele de legătură a umidității cu materialul, fenomenul de difuziune și, de asemenea, metoda aportului de energie.

Sorizul, conform clasificării structurale făcute de savantul P. Rebinder, se plasează în grupa corpurilor coloidal-capilar-poroase. Din acest punct de vedere îl putem caracteriza ca un sistem compus. Presupunem că în timpul uscării crupelor de soriz procesele termodinamice sunt în dezechilibru pe tot volumul bobului. Acest moment important poate fi studiat prin calculul

caracteristicilor cinetice ale procesului de uscare, care ne permit să efectuăm cercetarea caracterului de dezechilibru.

2. MATERIALE ȘI METODE

Pentru investigații au fost utilizate crupe de soriz de soiul „Alimentar-1”, selectat de către specialiștii Institutului de Cercetări Științifice „Porumbeni”. Compoziția chimică este următoarea: proteine - 10,62%, amidon - 74,2%, glucide - 0,27%. Umiditatea inițială este de 12,8%.

Mostrele de crupe crude au fost supuse tratării hidrotermice, astfel obținându-se crupă fiartă, care a urmat să fie uscată.

Uscarea crupelor de soriz a fost efectuată în instalația experimentală de uscare, construită în baza cuptorului cu microunde cu puterea nominală (N) de 1,5 kW și frecvența câmpului electromagnetic de 2450 MHz, instalație descrisă destul de complet în literatură de specialitate [5].

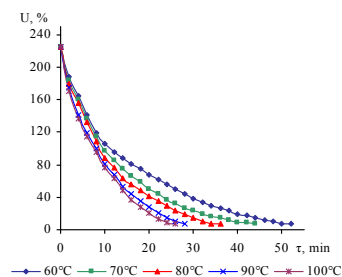
La uscarea prin metoda combinată a crupei fierte de soriz s-au efectuat concomitent două procese: de convecție, la cinci regimuri de temperatură a agentului termic de uscare în limitele de la 60°C până la 100°C (cu pasul de 10°C) și încălzire dielectrică la nivelul de putere a magnetronului de 25, 50, 75, 100% N.

În toate experiențele, viteza aerului cald a fost egală cu 1,1 m/s. Scăderea de masă s-a înregistrat peste fiecare două minute. În procesul uscării, umiditatea crupelor s-a micșorat de la 72% până la 7%.

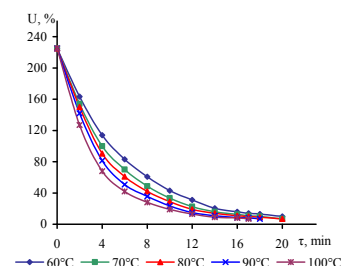
3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

În fig. 1 sunt prezentate curbele uscării $u=f(\tau)$, iar în fig. 2 - curbele vitezei de uscare $\frac{du}{d\tau} = f(u)$ pentru uscarea crupei fierte de soriz prin metoda combinată (convecție cu SHF) la diferite temperaturi ale agentului de uscare și la diferite niveluri de putere ale magnetronului. Caracterul curbelor de uscare arată că ele corespund celor descrise în teoria uscării, pentru corpurile coloidal-capilar-poroase. [4].

Din fig. 1a se observă că durata procesului de uscare depinde de toți parametrii procesului de uscare. Așadar, la temperatura de 60°C și la nivelul de putere de 25% din puterea nominală a magnetronului, durata procesului de uscare a constituit 52 min, astfel



(a)



(b)

Fig. 1. Curbele de uscare prin metoda combinată a crupei fierte de soriz la nivelul de putere a magnetronului 25% (a) și 100% (b).

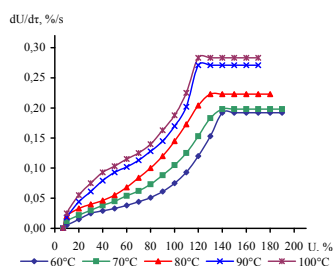
conținutul de umiditate inițială s-a redus de la 225% până la cea finală de 7%, însă la temperatura de 100°C la același nivel de putere durata procesului a constituit 26 minute. Observăm că durata procesului se reduce de 2 ori.

Un tablou oarecum neclar se vede în fig. 1b. La puterea magnetronului de 100% și temperatură de 60°C procesul a durat 20 min, dar odată cu mărirea temperaturii agentului de uscare până la 100°C la același nivel de putere a magnetronului procesul a durat 18 min. Intensificarea procesului a fost de doar 1,11 ori. Obținerea unei valori scăzute la utilizarea unui nivel de putere atât de înalt, presupune că aceasta influențează mai mult asupra procesului transferului de masă, filtrarea prin carcasa celei produsului. Totodată, acest fapt ne demonstrează că dinamica intensificării procesului se schimbă odată cu creșterea puterii magnetronului de la 25, 75 și 100% - corespunzător de 2,00, 1,51, și 1,11 ori (tab. 1).

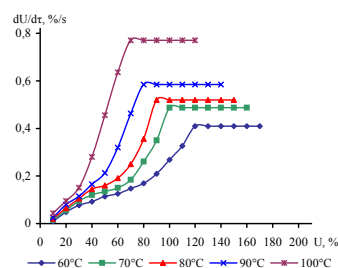
Astfel, conform tabelului 1 se poate de spus că odată cu creșterea puterii magnetronului de la 25%N până la 100%N durata procesului de uscare scade, pentru temperatura de 60°C aproximativ de 2,4 ori, iar pentru restul temperaturilor - 70, 80, 90 și 100°C corespunzător de 2,26, 1,89, 1,51 și 1,44.

Caracteristicile cinetice ale procesului de uscare a crupei fierte de soriz prin metoda combinată

Nr.	t, °C	u_{cr} , %	$du/d\tau$, %/s	K_1 , $\frac{\%}{s \cdot m^2 \cdot kg/kaerusc}$	$K_2 \times 10^4$, s^{-1}	τ_1 , min	τ_2 , min	τ_{tot} , min
P=25%N								
6	60	132	0,192	526	12,9	10,5	41,5	52,0
7	70	128	0,198	543	13,7	10,0	34,0	44,0
8	80	122	0,223	612	16,0	9,5	26,5	36,0
9	90	118	0,271	744	20,7	8,5	19,5	28,0
10	100	115	0,283	777	22,5	8,0	18,0	26,0
P=75%N								
16	60	131	0,290	795	20,4	6,5	21,5	28,0
17	70	126	0,310	850	22,6	6,0	20,0	26,0
18	80	118	0,333	913	25,8	5,5	14,5	20,0
19	90	114	0,452	1240	37,9	4,5	14,5	19,0
20	100	110	0,467	1282	40,3	4,0	14,5	18,5
P=100%N								
21	60	110	0,410	1125	30,8	4,5	15,5	20,0
22	70	97	0,480	1337	38,3	4,0	15,5	19,5
23	80	83	0,520	1427	46,4	4,0	15,0	19,0
24	90	67	0,585	1606	62,9	3,5	15,0	18,5
25	100	58	0,770	2112	101,3	3,0	14,0	18,0



(a)



(b)

Fig. 2. Curbele vitezei de uscare prin metoda combinată a crupei fierte de soriz la nivelul de putere a magnetronului de 25% (a) și 100% (b).

Analiza curbelor vitezei de uscare (fig. 2) de demonstrează, ca și în sursele citate, că pentru procesul de uscare combinat a crupei fierte de soriz, ca și pentru toate tipurile de materiale capilar-poroase, sunt caracteristice trei perioade de bază ale uscării: perioada de încălzire, perioada vitezei constante și perioada vitezei variabile. Din fig. 2a sesizăm că, odată cu mărirea temperaturii agentului de uscare de la 600°C până la 1000°C viteza procesului de uscare crește de la 0,192%/s până la 0,283%/s corespunzător pentru temperaturile de 70, 80, 900°C viteza este egală cu 0,198, 0,223 și 0,271%/s, deci se mărește de 1,47 ori.

Perioada vitezei constante de uscare a crupelor fierte de soriz (fig. 2a) pentru temperatura de 600C este de aproximativ 15% din durata totală a procesului, iar perioada vitezei descrescânde este de aproximativ 85%.

În fig. 2b observăm că perioada vitezei constante de uscare și încălzire a crupelor fierte de soriz pentru aceeași temperatură de 600°C este de aproximativ 20% din durata totală a procesului, iar perioada vitezei

descrescând este de aproximativ 80%. De aici rezultă că la modificarea parametrilor procesului de uscare durata primei perioade se mărește de aproximativ 1,3 ori, iar durata perioadei a doua se micșorează de 1,5 ori.

Așadar, s-a constatat că odată cu creșterea puterii magnetronului, și anume: 25%N, 50%N, 75%N și 100%N, valoarea creșterii vitezei maxime, ce corespunde uneia și aceleiași temperaturi ale agentului de uscare, este variabilă. Astfel, pentru temperatura agentului de uscare de 60°C valoarea creșterii vitezei maxime în comparație cu viteza la puterea minimală a magnetronului a corespuns puterilor de 1,33, 1,51 și 2,14 ori, iar pentru temperatura de 100°C – 1,30, 1,65 și 2,72 ori.

Dacă vom compara datele de deshidratare la temperatura și puterea minimală a magnetronului (60°C și nivelul de putere 25%N) cu temperatura și puterea maximală a magnetronului (100°C și nivelul de putere 100%N), atunci procesul de deshidratare de la 225% până la 7% s-a redus de două ori. Acest fapt dovedește că viteza de încălzire în straturile interioare este foarte rapidă și umezeala nu reușește să se transforme în abur, astfel are loc un proces de filtrare prin carcasa corpului celular al sorizului. Aceeași situație o observăm și la utilizare agentului termic de 1000C. În timpul uscării sorizului la aplicarea aportului de căldură combinat intensitatea de deshidratare crește proporțional cu temperatura aerului cald și puterea magnetronului.

Așadar, la temperatura de 60°C și puterea magnetronului de 25%N intensitatea a constituit 0,192%/s (fig. 2a), iar la temperatura 100°C și puterea magnetronului de 100 %N (fig. 2b) ea a crescut până la 0,770%/s, adică s-a mărit de aproape 4 ori.

Caracterul general al curbelor vitezei de uscare, pentru diferiți parametri ai regimului de uscare este practic același pentru toate cazurile analizate mai sus. Pe toate curbele se observă un punct critic care are rolul de divizor al perioadei vitezei de uscare în doua sectoare. În primul sector convexitatea curbelor vitezei de uscare este îndreptată în sensul axei absciselor, iar în al doilea sector este îndreptată în sensul axei ordonatei. Conform clasificării elaborate de academicianul A.V. Lîcov, aceste curbe se referă la curbele vitezei de uscare de tipul 6.

Influența temperaturii agentului de uscare asupra constantei de uscare în prima perioadă K1 este prezentată în fig. 3. După cum se vede, temperatura agentului de uscare are o influență liniară asupra caracteristicilor cinetice la uscarea convectivă și la regimurile mai slabe ale uscării combinate (25, 50%N), iar la regimurile 75 și 100%N comportă o influență exponențială.

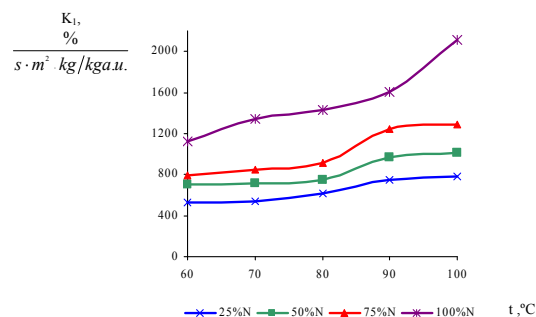


Fig. 3. Dependenta $K_1 = f(t)$ pentru uscarea combinată (convecție+SHF) a crupei fierte de soriz

La modificarea temperaturii agentului de uscare de la 60°C până la 100°C constanta vitezei de uscare în prima perioadă de uscare convectivă crește de 1,86 ori, iar pentru uscarea combinată la nivelul de putere a magnetronului de 100%N - de 1,88 ori. Însă la temperatura de 60°C constanta vitezei de uscare în prima perioadă de uscare combinată la nivelul de putere al magnetronului de 100%N crește față de uscarea convectivă de 4,73 ori și la temperatura agentului de uscare de 100°C - de 4,76 ori. Influența temperaturii agentului de uscare asupra constantei vitezei de uscare în a doua perioadă K2 este prezentată în fig. 4.

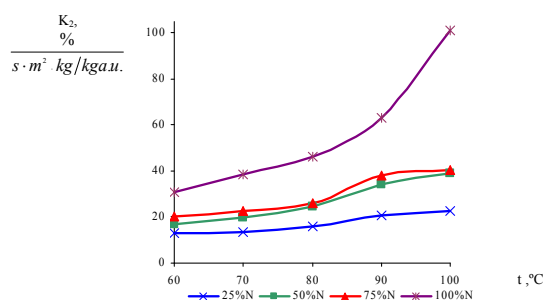


Fig. 4. Dependenta $K_2 = f(t)$ pentru uscarea combinată (convecție+SHF) a crupei fierte de soriz

Conform fig. 4. concluzionăm că temperatura agentului de uscare influențează asupra coeficientului de uscare în ce de-a doua perioadă după legea exponențială

pentru uscarea combinată la nivelul de putere al magnetronului 100%N, iar la restul regimurilor, inclusiv și la uscarea convectivă – după legea liniară. La modificarea temperaturii agentului de uscare de la 60°C la 100°C coeficientul de uscare în perioada a doua crește de 2 ori pentru uscarea convectivă și de 1,74, 2,3, 1,97 și 3,28 ori pentru uscarea combinată la nivelurile de putere 25, 50, 75 și 100%N, corespunzător. De asemenea din fig. 3. se observă că, odată cu creșterea nivelului de putere a magnetronului de la 25 până la 100%N, crește de 4,5 ori constanta vitezei de uscare în cea de-a doua perioadă, pentru temperatura de 100°C. Totodată, pentru temperatura agentului de uscare de 100°C, constanta vitezei de uscare în cea de-a doua perioadă crește de 10,3 ori, pentru uscarea combinată la P=100%N față de uscarea convectivă.

CONCLUZII

Sistematizarea cercetărilor efectuate privind utilizarea microundelor în procesul de uscare a crupelor fierte de soriz demonstrează că această tehnologie are câteva avantaje esențiale: reducerea duratei procesului de uscare odată cu creșterea fluxului termic; încălzirea uniformă a produsului în tot volumul, și nu numai în straturile periferice; reglarea simplă a fluxului termic.

SUMMARY

The paper presents some aspects regarding the elaboration and of untraditional drying methods combined of soriss involve microwave. It s analyzed the kinetic of , drying process in the first and second periods , cosfficients of rate drying ,times of the first and second periods at different drying regimes are determined. For process intensificacation in the first stage to carry ont convective drying 100°C and in the second stage combined (convective + microwave)are recommended.

CALENDAR

La 20 ianuarie 1942 s-a născut, la Chirileni, Ungheni, Viorel TROFIM, doctor habilitat în științe tehnice, profesor universitar la Catedra de microelectronică și dispozitive cu semiconductori a UTM, deținător al titlului „Inventator Emerit” al ex-URSS.

În anul 1963 V. TROFIM absolvește Universitatea de Stat din Moldova, specialitatea fizica. Susține teza de doctor (1971), apoi de doctor habilitat în științe tehnice (1990).

A publicat de-a lungul anilor peste 130 de lucrări științifice, inclusiv monografia “Convertoare opto-electronice de radiație pe baza heterojuncțiunilor AlGaAs-GaAs” (Ed. „Știința”, Chișinău, 1987). Este autorul și coautorul a 20 de invenții, majoritatea fiind realizate în colaborare cu Jores Alferov, laureat al Premiului Nobel (Federația Rusă).

Astfel, considerăm că metoda de uscarea a sorizului în câmp electromagnetic în combinație cu aerul cald convectiv este cea mai optimă și poate fi folosită ca etapă de bază în tehnologia de producere a concentratelor alimentare din soriz.

BIBLIOGRAFIA

1. Технология крупяных концентратов. – Под ред. кандидата технических наук В.Н. Гуляева. – М.: ВО «Агропромиздат», 1989.
2. Буляндра О.Ф. Технічна термодинаміка: Підруч. для студ. енерг. спец. вищ. навч. Закладіи. – К.: Техніка, 2001. -320с.
3. Княжевская Г.С. и др. Высоочастотный нагрев диэлектрических материалов. – Л.: Машиностроение.- 1989. 65 стр.
4. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 470 стр.
5. Dodon A. Intensificarea procesului de uscare a crupei de soriz . //Lucrările Simpozionului Internațional EuroAliment-2003.- Galați, România, 2003.