

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Cu titlul de manuscris

C.Z.U. 664.8.039:633.17/.18

DODON ADELINA

**Contribuții privind studierea procesului de uscare a
crupei soriz, pentru obținerea concentratelor
alimentare**

*Specialitatea 05.18.12 – Procese și aparate în industria
alimentară*

Autoreferat al tezei de doctorat în științe tehnice

**Chișinău
2007**

Teza a fost elaborată în cadrul catedrei “Procese și Aparate, Tehnologia Produselor Cerealiere” a Universității Tehnice a Moldovei, Chișinău.

Conducător științific:

Dicusar Galina, doctor în chimie, conferențiar universitar, catedra Procese și Aparate, Tehnologia Produselor Cerealiere, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău.

Consultant științific:

Lupașco Andrei, doctor habilitat în științe tehnice, profesor universitar, șeful catedrei Procese și Aparate, Tehnologia Produselor Cerealiere, Universitatea Tehnică a Moldovei.

Referenți oficiali:

Moraru Constantin, doctor inginer, profesor universitar, Universitatea „Dunărea de Jos”, Facultatea Știința și Ingineria Alimentară, Galați, România.

Pîrvan Pintilie, conferențiar universitar, Direcția Generală a Ministerului Agriculturii, Republica Moldova.

Susținerea va avea loc la 12 octombrie 2007, ora 15⁰⁰ în cadrul ședinței Consiliului Științific Specializat D 31.05.18.12 – 05 a Universității Tehnice a Moldovei, Chișinău, str. Studenților 5/2, bl. 5, aud. 513.

Teza de doctorat / Autoreferatul pot fi consultate la biblioteca Universității Tehnice a Moldovei, secția de știință și pe site-ul C.N.A.A.

Autoreferatul științific a fost expediat la __ **septembrie 2007**.

Secretar științific al Consiliului Științific Specializat
dr., conf. univ.

Bernic Mircea

Conducător științific dr., conf.univ.

Dicusar Galina

Consultant științific dr. hab., prof. univ.

Lupașco Andrei

Autor

Dodon Adelina

Actualitatea temei investigate

O inovație esențială pentru ramura de prelucrare a cerealelor în Republica Moldova este producerea concentratelor alimentare – produse cu fierbere redusă. Avantajul de bază a lor fiind valoarea nutritivă înaltă și comoditatea în consum.

Cereale excelente pentru astfel de alimente sunt boabele de orez, care constituie alimentul de bază pentru mai mult de jumătate din populația globului. Solurile și condițiile climaterice din Republica Moldova nu favorizează cultivarea acestei cereale, de aceea, savanții din Moldova au selectat un nou soi din grupa cerealelor amidonoase, care l-au denumit în baza îmbinării cuvintelor *sorghum* (sorg) și *oryzoidum* (orez) – **soriz**. Obținând o cultură autohtonă, un produs valoros, care poate fi utilizat cu succes în alimentația publică, industria de panificație, de bere, de fabricare a amidonului etc., ramura de prelucrare a cerealelor actualmente este lipsită de o tehnologie modernă de producere a produselor instantanee din această cereală.

Astfel problema inovării modalităților eficiente de prelucrare a sorizului, fiind actuală și importantă pentru economia națională, care prezintă interes atât teoretic cât și practic.

Scopul și obiectivele tezei

Scopul lucrării constă în analiza teoretică și cercetarea experimentală a proceselor de gonflare, fierbere și uscare a crupelor de soriz prin diferite metode ale aportului de energie pentru obținerea datelor inițiale în vederea proiectării agregatului de prelucrare termică a crupelor de soriz, precum și elaborarea schemei tehnologice pentru fabricarea crupelor fierte și uscate de soriz.

În corespundere cu scopul prezentat, obiectivele tezei cuprind următoarele:

1. Studiul procesului de gonflare a crupelor de soriz la diferite presiuni ale mediului;
2. Studiul procesului de fierbere a crupelor gonflate sub acțiunea diferiților factori exteriori și optimizarea gradului de fierbere a crupelor de soriz ;

3. Studiul cineticii procesului de uscare a crupelor fierte de soriz prin diferite metode ale aportului de energie: prin convecție și combinat (convecție cu microunde);
4. Prelucrarea datelor experimentale și elaborarea modelului matematic al procesului cinetic de uscare a crupelor fierte de soriz prin metoda combinată;
5. Determinarea indicilor de calitate ai crupelor de soriz fierte și uscate;
6. Optimizarea regimurilor și proiectarea în complex a agregatului de tratare termică a crupelor de soriz, în baza cercetărilor experimentale ale proceselor de gonflare, de fierbere și de uscare cu microunde.
7. Elaborarea unei linii tehnologice mecanizate în flux pentru prelucrarea sorizului în concentrate alimentare cu diferite adaosuri de produse vegetale uscate.

Noutatea științifică a lucrării

- s-a cercetat și s-a demonstrat corelația dintre procesul de fierbere și procesul de gonflare, s-a optimizat procesul de gonflare prin aplicarea presiunii excesive și s-a determinat reducerea considerabilă a duratei de fierbere a crupelor;

- s-au determinat și s-au analizat caracteristicile cinetice ale procesului de uscare a sorizului fiert prin metoda convectivă și combinată (convecție cu microunde);

- s-au stabilit parametrii optimi ai procesului de uscare a crupelor de soriz și s-a demonstrat influența benefică a utilizării microundelor asupra obținerii calității înalte a produsului finit;

- s-a elaborat modelul matematic al procesului de uscare combinată a sorizului fiert în dependență de durata procesului de uscare în funcție de temperatură și de nivelul de putere a magnetronului;

- s-a propus agregatul pentru prelucrarea termică a sorizului în crupe fierte și uscate, utilizând la etapa de uscare câmpul electromagnetic cu SHF.

Semnificația teoretică și valoarea aplicativă a lucrării

Rezultatele cercetărilor efectuate oferă posibilitatea de a elabora regimul tehnologic de prelucrare termică a crupelor de soriz în crupe fierte-uscate, evidențiindu-se etapele de prelucrare hidrotermică și uscarea. Au fost elaborate, pentru prima dată, metoda și dispozitivul de apreciere a finisării procesului de fierbere a crupelor, care ne permite obținerea datelor exacte referitoare la gradul de fierbere a lor. În același timp, s-a elaborat un nou procedeu de uscare a crupelor de soriz prin metoda combinată (convecție cu microunde) utilizat la proiectarea agregatului de prelucrare termică a sorizului, care permite ameliorarea calității produsului finit, majorarea valorii nutritive a lui, reducerea duratei de tratare termică, economisirea resurselor energetice și folosirea produselor agricole autohtone.

Elaborarea modelului matematic al procesului de uscare a sorizului prin metoda combinată, în care sunt definitivate durata procesului de uscare, temperatura și nivelul utilizării puterii nominale a magnetronului, permite executarea în regim automat a procesului de uscare în instalații industriale specializate.

Aprobarea lucrării

Rezultatele de bază ale tezei au fost comunicate, discutate și au primit avize pozitive la un șir de conferințe dintre care: Simpozionul „Alimentele și sănătatea la începutul mileniului III” (Galați, România, 2001, 2003, 2007); Simpozionul „Morărit și Panificație” (Sibiu, România, 2003, 2006, 2007); Colocviul franco-român de chimie aplicată (Bacău, România, 2002, 2004); Simpozionul Internațional. Tehnologii Moderne în Secolul XXI. (București, România, 2003); Материалы симпозиума \ Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. (Пушино, Москва, 2003); Simpozionul Internațional „Maitrise et gestion de la qualite dans industrie alimentaire” (Chișinău, 2004); Conferința Științifică Internațională ”Tehnologii Moderne, Calitate, Restructurare” (Chișinău, 2005); Научные труды Одесской Государственной Академии Пищевых Технологий (Одесса, Украина, 2006) și Expozițiile „Infinvent – 2002, 2003”.

Publicații

Rezultatele cercetărilor științifice prezentate în teză sunt publicate în 32 de lucrări științifice (inclusiv două hotărâri pozitive la brevete de invenție ale Republicii Moldova), în care sunt expuse principalele rezultate ale lucrărilor din teză.

Structura și volumul lucrării

Teza este structurată în modul următor: introducere, 8 capitole, sinteza rezultatelor obținute, concluzii, recomandări, lista bibliografică, adnotare și anexe. Lucrarea se prezintă pe 149 de pagini și conține 41 de figuri și 23 de tabele. Bibliografia conține 202 surse bibliografice și anexe.

Conținutul tezei

Introducerea reflectează principalele aspecte care au condus la selectarea cercetării de față cu sublinierea actualității și importanței temei tratate.

În primul capitol **„Considerații generale în procesul de tratare termică a crupelor, în scopul obținerii concentratelor alimentare”** sunt relevate aspectele teoretice ale proceselor de prelucrare termică a crupelor în concentrate alimentare, tehnica și tehnologia existentă de tratare termică a crupelor. Sunt expuse tendințele de bază ale perfecționării tehnologiei de fabricare a crupelor fierte-uscate. Este prezentat „Sorizul” ca obiect de cercetare. S-au evidențiat problemele cercetărilor științifice.

În capitolul doi al tezei **„Concepte de studiu a procesului de uscare a crupelor fierte în câmp electromagnetic”** se abordează bazele teoriei procesului de uscare cu microunde, factorii care influențează încălzirea cu microunde, polarizarea și pierderile dielectrice în materialele omogene și neomogene, proprietățile fizice și termice care determină adâncimea de penetrare a microundelor, ritmul de încălzire, transferul de căldură și proprietățile sursei de microunde.

În capitolul trei al tezei **„Cercetarea experimentală a proceselor de prelucrare hidrotermică a crupelor de soriz “** sunt

expuse rezultatele obținute în urma cercetării procesului de gonflare și fierbere a crupelor. Scopul analizei a fost constatarea factorilor care influențează asupra procesului de tratare hidrotermică a sorizului și optimizarea parametrilor de prelucrare termică a lui.

Pentru cercetări a fost folosită materia primă – crupa de soriz de soiul „Alimentar – 1”, roada anului 2003. Experiențele de gonflare s-au desfășurat la presiune atmosferică (I) și presiune excesivă (II). Umiditatea inițială a crupelor a fost $12,8 \pm 0,2\%$. Experiențele pentru primul caz s-au efectuat în termostatul pentru menținerea temperaturii mediului la diferite temperaturi ale solventului (30, 40, 50 și 60 °C) în diferite perioade de timp (30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 și 110, 120 min) iar pentru al doilea caz cercetările s-au realizat în instalația de laborator care oferă posibilitatea utilizării temperaturii și a diferitelor valori ale presiunii excesive: 0,5; 1,0; 1,5 și 2,0 MPa.

Rezultatele cercetărilor au demonstrat, că procesul de gonflare, în condițiile mediului atmosferic, este de durată, ceea ce conduce la o calitate relativ joasă a crupelor.

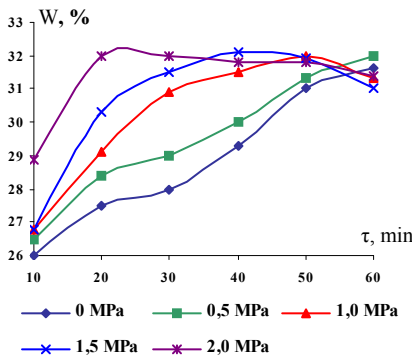


Fig. 1 Cinetica procesului de absorbție al crupelor de soriz în funcție de valoarea presiunii excesive pentru temperatura mediului de 60 °C

Din fig. 1 se observă că o dată cu creșterea presiunii mediului, timpul necesar procesului de absorbție până la o anumită valoare a umidității se reduce. De exemplu, în cazul utilizării presiunii de 0,5 MPa, valoarea umidității de 31% a fost obținută timp de 50 min, însă la aplicarea presiunii de 1,0; 1,5; 2,0 MPa aceeași umiditate a crupelor a fost obținută corespunzător timp de: 47,4; 32,1 și 26 min. Deci, procesul de absorbție s-a intensificat de 1,92 ori în limitele presiunii sus-numite.

Analizând corelațiile grafice obținute (fig.1), s-a constatat că, cea mai înaltă valoare a umidității $W = 32 \%$ a fost obținută timp de 20 min la temperatura mediului apos de $60 \text{ }^\circ\text{C}$ aplicând presiunea de 2 Mpa, pe când, prin metoda de gonflare la presiune atmosferică în termostat la temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$, umiditatea de 32% în crupele de soriz a rezultat după o durată de 90 min.

Încorporarea presiunii excesive în procesul de gonflare a intensificat procesul de 4,5 ori și a îmbunătățit calitățile organoleptice ale crupelor.

Cercetările efectuate au demonstrat că odată cu creșterea duratei de gonflare la o presiune constantă curbele cineticii procesului de absorbție tind spre axa ordonatelor. După un interval de timp procesul de absorbție se stopa și începea să decurgă reversibil. Probabil, acest fenomen rezultă datorită osmozei indirecte a membranei celulare a crupelor.

Pentru efectuarea procesului de uscare o mare importanță are cunoașterea proprietăților crupelor fierte de soriz, cum sunt cele organoleptice, umiditatea, gradul de fierbere, durata de fierbere.

Au fost elaborate pentru prima dată metoda și dispozitivul de apreciere a finisării procesului de fierbere a crupelor, care ne permite obținerea datelor exacte referitor la gradul de fierbere a lor.

Analiza rezultatelor experimentale obținute în urma fierberii crupelor cu umiditatea de 32% , care au fost gonflate la diferite regime de presiune, ne prezintă valori identice, adică crupele cu umiditatea de 32% s-au supus fierberii aproximativ 33 min.

În capitolul patru al tezei **„Instalația experimentală privind cercetarea cineticii procesului de uscare a sorizului cu aplicarea microundelor”** se face descrierea cercetării procesului de uscare a sorizului fiert. În scopul obținerii funcțiilor de transfer de masă și căldură a fost proiectată și construită o instalație de laborator (fig. 2), destinată uscării sorizului fiert prin diferite procedee de aplicare a energiei: convecție și combinat (convecție cu microunde).

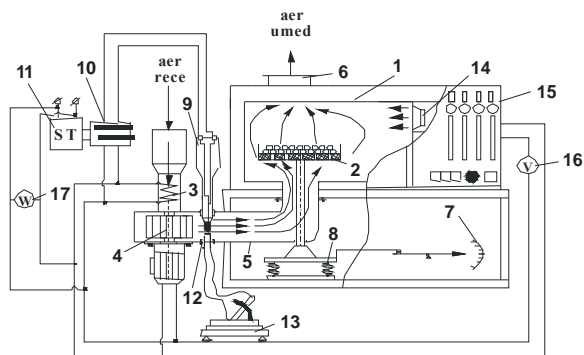


Fig. 2. Instalația de laborator pentru studierea cineticii procesului de uscare a crupei fierte de soriz

Probă crupelor de soriz fierte de soiul „Alimentar-1”, cu masa de 70 g și umiditatea inițială de $72,0 \pm 1,0$ % se încarcă în camera de uscare 1 pe suportul perforat 2, fiind aranjată în mod uniform.

Agentul termic de uscare încălzit în caloriferul 3 a fost reglat cu regulatorul termic 10 și temperatura s-a menținut constantă cu ajutorul termometrului de contact 9. Prin intermediul ventilatorului 4 aerul încălzit era refulat prin conductele de aer 5 și 6 destinate pentru alimentarea și eliminarea agentului termic de uscare. Pentru aprecierea caracterului variației de masă a crupelor în procesul de uscare suportul perforat a fost unit la balanța mecanică 7 prin asamblarea lui pe elemente elicoidale 8. Pentru măsurarea vitezei de uscare pe durata experimentelor, s-a folosit micromanometrul de marca MMH-1 (13) și conducta de Pito 12, aceasta fiind menținută constantă de 1,1 m/s. Viteza agentului de uscare în camera s-a calculat din condițiile debitului constant a agentului termic de uscare prin conducte

La încălzirea produsului prin metoda combinată, în camera de uscare 1 concomitent cu aerul cald se furnizau și microundele prin intermediul magnetronului 14, cu puterea de 1,2 kW și cu frecvența câmpului electromagnetic de 2450 MHz.

Pe durata procesului de uscare au fost înregistrate scăderea de masă, viteza și temperatura agentului termic, schimbarea puterii

nominală a câmpului electromagnetic al generatorului de unde 15 și 16 și consumul sumară de energie electrică 17. La atingerea masei corespunzătoare umidității finale de 7%, procesul de uscare se încheie și produsul uscat se descarcă din camera de uscare.

În capitolul cinci al tezei „*Studierea cineticii procesului de uscare a crupelor fierte de soriz cu utilizarea energiei câmpului de frecvență supraînaltă (SHF) și convectivă*” sunt prezentate rezultatele obținute în urma cercetării procesului de uscare a crupelor fierte de soriz.

Conform datelor experimentale au fost trasate curbele de uscare a sorizului $U = f(\tau)$ în baza cărora, prin derivarea funcției tabulare au fost construite și curbele vitezei de uscare a sorizului fiert $dU/d\tau = f(u)$.

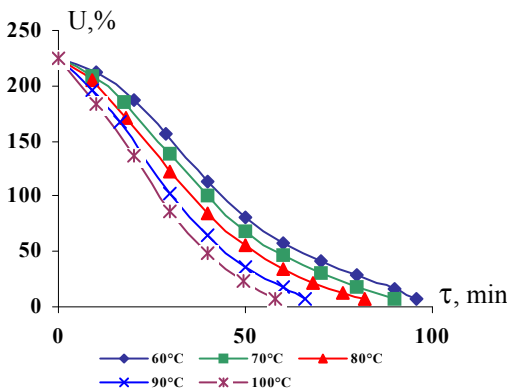


Fig.3. Curbele de uscare prin metoda convectivă a crupei fierte de soriz

uscarea de la conținutul de umiditate inițial de 225 % până la cel final de 7,52 % a durat 96 de minute, iar cu majorarea temperaturii până la 70, 80, 90 și 100 °C, procesul de uscare a decurs, corespunzător, în 90, 82, 66 și 58 de minute.

Analizând curbele calculate ale vitezei de uscare a crupelor fierte de soriz reflectate în fig. 4 putem afirma că la utilizarea aportului de căldură convectiv, se evidențiază trei perioade:

În fig. 3 sunt prezentate curbele uscării sorizului la aplicarea căldurii convective, la diferite temperaturi a agentului termic.

Analiza graficelor ne confirmă că durata procesului de uscare în mare măsură depinde de temperatura agentului termic. Astfel, la temperatura agentului termic de 60° C,

perioada de încălzire, perioada vitezei constante de uscare și perioada vitezei variabile de uscare.

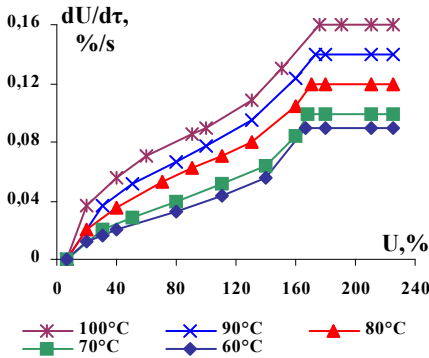


Fig. 4. Curbele vitezei de uscare prin metoda convectivă a crupei fierte de soriz

49 % din cantitatea totală. Aceasta demonstrează că este necesar de a intensifica a doua perioadă a procesului de uscare, ceea ce putem obține prin aplicarea câmpului electromagnetic.

Pe toate curbele vitezei de uscare se observă un punct de inflexiune care coincide cu punctul critic U_{k1} . În funcție de schimbarea conținutului de umiditate o data cu creșterea temperaturii agentului termic, a fost stabilită dependența matematică a variației valorii primei constante critice, care se descrie prin formula de calcul a vitezei de uscare obținută în baza prelucrării ecuației bilanțului termic.

Deci, relația vitezei de schimb de temperatură, ca funcție de umiditate, poate fi exprimată prin formula:

$$\frac{d\bar{\theta}}{d\tau} = \frac{\alpha F(t_a - t_{in})}{c_u W}. \quad (1)$$

Analizând ecuația (1), observăm că cu creșterea temperaturii agentului de uscare, punctul critic, U_{k1} , se deplasează în direcția reducerii umidității.

După cum se observă din grafice, valoarea vitezei de uscare maximă se mărește odată cu creșterea temperaturii agentului de uscare.

Așadar, la 60 °C valoarea vitezei constituie 0,09 %/s, iar la 100 °C corespunzător 0,16 %/s. Observăm că viteza uscării la 60 °C, în comparație cu 100 °C crește de 1,8 ori.

Conținutul de apă evaporată în prima perioadă este aproximativ 39 %, iar în a doua –

La uscarea sorizului fiert prin metoda combinată s-au efectuat concomitent două procese: 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 încălzirea dielectrică la nivelul de putere a magnetronului de 25, 50, 75, 100 % N. În toate experiențele, viteza aerului cald, ca și în cazul precedent, a fost egală cu 1,1 m/s.

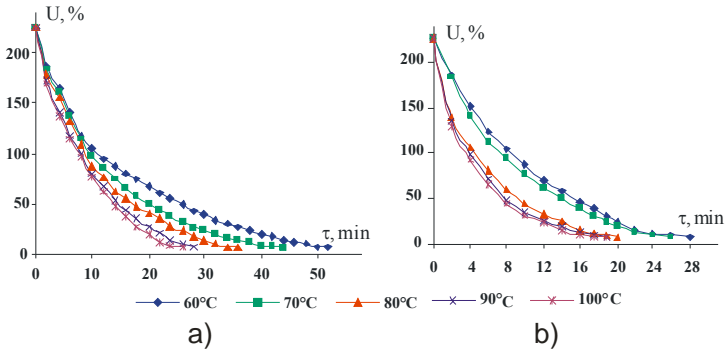


Fig. 5. Curbele de uscare prin metoda combinată a crupei fierte de soriz la nivelul de putere a magnetronului 25% (a) și 75%(b)

După cum se observă din fig. 5, durata uscării depinde de toți parametrii procesului de uscare. Așadar, la temperatura de 60 °C și la nivelul de putere a magnetronului de 25 %N (fig.5a), durata procesului de uscare a constituit 52 min, astfel conținutul de umiditate inițial s-a redus de la 225,0 % până la cel final de 7,52 %, însă la temperatura de 100 °C și nivelul de utilizare a puterii nominale a magnetronului de 75 %N (fig.5b), procesul de uscare a durat doar 18 min. De aici rezultă că procesul de uscare a sorizului s-a intensificat în 2,9 ori.

Perioada vitezei constante de uscare a sorizului (fig.6 a) este de aproximativ 15% din durata totală a procesului, iar perioada vitezei descrescânde este de aproximativ 85 % din durata totală a procesului de uscare. În fig.6 b observăm că perioada vitezei constante de uscare și încălzire a crupelor fierte de soriz constituie 20% din durata totală a procesului, iar perioada vitezei descrescânde este de aproximativ 80 %.

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

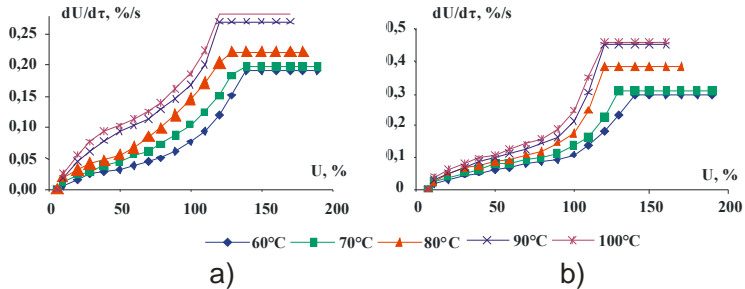


Fig. 6. Curbele vitezei de uscare combinate a crupei fierte de soriz la nivelul de putere a magnetronului 25% (a) și 75% (b).

Mărirea temperaturii și a nivelului de putere a magnetronului este însoțită de creșterea valorii maxime a vitezei de uscare. Așadar, la temperatura de 60 °C și puterea magnetronului de 25 % N ea a constituit 0,192 %/s, iar la temperatura 100 °C și puterea magnetronului de 75 %N ea a crescut până la 0,467 %/s, adică s-a mărit de 2,5 ori. Făcând comparație cu viteza de uscare la aportul de căldură prin convecție (fig.4) pentru 100 °C - 0,09 %/s, viteza de uscare prin metoda combinată s-a mărit de 5,2 ori.

Trebuie menționat faptul că pe toate curbele vitezei de uscare pe sectorul vitezei descrescânde se observă un punct de inflexiune U_{k2} . Valoarea conținutului de umiditate pentru acest punct în toate cazurile a variat, astfel pentru temperatura de 60 °C și puterea magnetronului de 25 %N ea a constituit 38 %, iar pentru temperaturile 70, 80, 90 și 100 °C, corespunzător U_{k2} , a rezultat 50, 55, 82 și 85 %. Aparența acestui punct critic pe curbele vitezei de uscare determină energia formei de legătură a apei cu sorizul. Obținerea în cadrul curbelor a celor două sectoare, presupune existența în soriz a umidității capilare și osmotice, legată prin adsorbție. Mărirea puterii nominale a magnetronului până la 75 %N duce la micșorarea valorii pentru U_{k2} .

Analizând rezultatele obținute pentru puterea maximă a magnetronului de 100 %, se observă că, la utilizarea temperaturilor înalte a agentului de uscare de 90 și 100 °C, acest punct de inflexiune dispăre. După părerea noastră, aceasta se întâmplă din cauza apariției surselor interioare de căldură supraintensive, care provoacă suprapunerea câmpului electromagnetic cu câmpul interior molecular al produsului. Astfel are loc ruperea legăturilor dintre apă și produs la nivel microstructural, ceea ce conduce la reducerea timpului de uscare a crupelor.

Analizând variația coeficienților de uscare K_1 și K_2 pentru uscarea convectivă și regimurile mai moi ale uscării combinate cu aplicarea puterii magnetronului de 25 și 50 %N, am constatat că modificarea temperaturii agentului de uscare influențează asupra caracteristicilor cinetice – liniar, iar pentru regimurile 75 și 100 % au influență exponențială. Odată cu modificarea temperaturii agentului de uscare de la 60 la 100 °C, coeficientul de uscare în prima perioadă, K_1 , pentru uscarea convectivă crește de 1,86 ori, iar pentru uscarea combinată la nivelul de putere a magnetronului de 100 %N și temperatura agentului termic de 100 °C comparativ cu cea prin convecție crește de 4,73 ori. Coeficientul de uscare, K_2 , în a doua perioadă, pentru aceleași exemple a crescut de 2 ori și, respectiv de 10,3 ori.

Cercetările efectuate au demonstrat că, la uscarea crupelor de soriz prin metoda combinată utilizând nivelul de 100 %N din puterea nominală a magnetronului, procesul de uscare nu a decurs stabil, dar cu carbonizarea crupelor. Aceasta, după părerea noastră a rezultat din cauza apariției efectului de scurtcircuit în crupele umede de soriz. De aceea, în continuare s-au analizat rezultatele obținute la uscarea sorizului pentru cazul în care puterea magnetronului a fost de 75 %N.

S-au comparat coeficientul de uscare K_1 (%/(s m² kg/kg a.e.)) pentru prima perioadă, obținut experimental, și coeficientul transferului de masă β (m/s) calculat, care este caracterizat de criteriul transferului de umiditate Nu.

Pentru aceasta coeficientul de uscare K_1 a fost recalculat după formula:

$$K_1' = K_1 \cdot \frac{\Delta G}{\Delta U} \cdot \frac{1}{\rho_{aer}}, m/s, \text{ în care } \frac{\Delta G}{\Delta u} = \frac{G_{in} - G_{cr}}{u_{in} - u_{cr}}, kg/\% \quad (2)$$

Tabelul 1
Constantele recalculate ale vitezei de uscare în prima perioadă
 K_1 , și coeficientul transferului de masă β

Temperatura agentului de uscare, °C	60	70	80	90	100
Uscarea prin convecție					
$K_1' \cdot 10^3, m/s$	37,0	43,0	53,0	67,0	84,0
$\beta \cdot 10^3, m/s$	55,0	58,0	60,0	64,0	65,0
Uscarea combinată – convecție + S.H.F. (75 % N)					
$K_1' \cdot 10^3, m/s$	147,6	161,9	180,4	249,9	263,9
$\beta \cdot 10^3, m/s$	55,0	58,0	60,0	64,0	65,0

Din datele prezentate în tabelul 1 observăm că valoarea constantelor de uscare pentru uscarea convectivă este mai mică decât coeficientul transferului de masă β , cu excepția temperaturii 90°C și 100 °C, unde K_1' este mai mare ca β de 1,29 ori pentru 100 °C. Aceasta demonstrează prezența în crupa fiartă de soriz a unei rezistențe de difuziune. Înlăturarea acestei difuziuni și intensificarea procesului de uscare este posibilă prin aplicarea microundelor. Astfel la valoarea puterii magnetronului de 75% N și temperatura agentului de uscare 100 °C, K_1' este mai mare decât β de 4,06 ori.

Pentru toate experimentele de uscare a sorizului fiert, cu aplicarea diferitelor surse de energie, a fost calculat consumul de energie electrică, care este prezentat în tabelul 2.

Analiza datelor din tabelul 2 ne demonstrează că consumul de energie scade odată cu creșterea nivelului de putere al magnetronului de la 25 la 100 %N, pentru temperatura de 60 °C de 2,03 ori, iar pentru restul temperaturilor de 70, 80, 90 și 100 °C, corespunzător, de 1,78; 1,51; 1,32 și 1,28 ori.

Tabelul 2

Consumul de energie electrică Q , $\text{kw}\cdot\text{h}/\text{kg}_{\text{apă.ev.}}$ pentru uscarea convectivă și combinată (convecție+SHF) a crupei fierte de soriz

Puterea, SHF, % N	Temperatura agentului de uscare, °C				
	60	70	80	90	100
convecție	37	35	32	25	20
25	26,5	22,4	18,4	14,3	13,3
50	15,9	15,3	15,3	13,6	11,8
75	14,7	13,8	12,0	11,4	11,4
100	13,0	12,6	12,2	10,8	10,4

Indicii de calitate ai produsului finit au o semnificație decisivă pentru alegerea procedurii de tratament termic al crupeilor fierte de soriz.

În lucrare sunt prezentate rezultatele examenului organoleptice complex ale tuturor probelor, în conformitate cu GOST 19327-84 (концентраты пищевые) și a indicilor fizico-chimici esențiali: conținutul de proteine, conținutul de amidon și conținutul de glucide pentru crupa crudă și pentru crupa uscată în conformitate cu GOST.

Tabelul 3

Indicii de calitate ai crupeilor de soriz uscate prin convecție

Temperatura agentului de uscare, °C	Compoziția chimică a crupei fierte uscate de soriz, % la s.u.		
	Proteină	Amidon	Glucide
Crupa crudă	10,62 ± 1,0	74,20 ± 1,5	0,27 ± 0,1
60	9,32 ± 0,2	70,93 ± 0,5	0,22 ± 0,1
70	9,28 ± 0,3	71,01 ± 0,5	0,24 ± 0,1
80	9,14 ± 0,3	73,32 ± 0,5	0,34 ± 0,1
90	9,12 ± 0,3	73,64 ± 0,5	0,32 ± 0,1
100	8,94 ± 0,3	72,68 ± 0,5	0,38 ± 0,1

Observăm că la aplicarea energiei convective cu modificarea agentului termic de uscare de la 60 °C până la 100 °C dinamica conținutului de proteină se supune legii descrescânde. După părerea noastră acest fenomen se explică prin coagularea parțială a proteinei în timpul tratării hidrotermice. Reducerea conținutului de amidon se explică prin dizolvarea fracțiilor glucozidice în mediul apos la fierberea crupelor.

Tabelul 4

Indicii de calitate a crupelor fierte-uscate prin metoda combinată – convecție cu microunde

Temperatura agentului de uscare, °C	Compoziția chimică a crupei fierte uscate de soriz, % la s.u.		
	Proteină	Amidon	Glucide
25 %N			
60	9,82±0,2	72,20±0,4	0,31±0,1
70	9,70±0,2	68,31±0,4	0,26±0,1
80	9,62±0,2	64,66±0,4	0,24±0,1
90	9,50±0,2	60,42±0,4	0,21±0,1
100	9,38±0,2	58,20±0,4	0,20±0,1
75 %N			
60	9,70±0,2	67,32±0,4	0,48±0,1
70	9,63±0,2	68,69±0,4	0,24±0,1
80	9,44±0,2	70,82±0,4	0,22±0,1
90	9,21±0,2	69,34±0,4	0,21±0,1
100	9,11±0,2	69,11±0,4	0,21±0,1

În cazul analizei indicilor de calitate ai crupelor uscate prin metoda combinată (tab.4), conform rezultatelor experimentale obținute, se evidențiază relația dintre indicii de calitate, odată cu modificarea celor doi parametri ai experimentelor (temperatura agentului de uscare și nivelul de putere a magnetronului).

În continuare se analizează variația indicilor de calitate pentru următoarele cazuri: regimul minim de uscare combinată a crupelor de soriz ($t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ și $N = 25\%$) comparativ cu cel maxim ($t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ și $N = 75\%$), unde se observă că conținutul de amidon odată cu creșterea temperaturii, se modifică neesențial. Aceasta se explică prin faptul că acțiunea exagerată a microundelor asupra crupelor provoacă dezintegrarea țesuturilor și, prin urmare, are loc transformarea amidonului în substanțe derivate.

În același timp, se poate spune că modificarea valorii nivelului de utilizare a magnetronului nu influențează esențial nici asupra conținutului de proteină, așadar, rezultatele experimentale pentru regimul descris mai sus arată că proteina scade de la 9,82 până la 9,44 %, adică se reduce doar cu 6,1%.

Un indice esențial care caracterizează crupele fierte uscate este rehidratarea lor sau capacitatea de a absorbi lichidul. Această proprietate determină nu numai proprietățile organoleptice, dar și aspectul bucatelor pregătite. Durata de restabilire a crupei de soriz pentru toate probele fierte-uscate a fost de 5 – 8 min, iar dacă le supuneam procesului de fierbere, rehidratarea se desfășura doar 2 min.

În scopul automatizării procesului de uscare **în capitolul șase** al tezei, **„Modelul matematic al procesului de uscare a crupelor de soriz”** este prezentat un algoritm de interconexiune a caracteristicilor cinetice ale procesului de uscare. Folosirea metodei clasice a analizei de regresie cu utilizarea metodei pătratelor minime și prelucrarea datelor cu ajutorul pachetului programelor MathCAD ne-a permis obținerea dependenței multiplicative exponențiale și definitivarea duratei procesului de uscare a sorizului în funcție de umiditatea produsului (U , %) și temperatura agentului termic (t , $^{\circ}\text{C}$) pentru anumite niveluri de utilizare a puterii magnetronului:

– pentru nivelul de putere a magnetronului de 25 %N:

$$\tau(t, U) := 155.4450586 - 1.4813114 \cdot t + 0.0049738 \cdot t^2 - 0.0000065 \cdot t^3 - 0.0000246 \cdot U^3 + 0.0142874 \cdot U^2 - 2.4614985 \cdot U + 0.0155124 \cdot t \cdot U - 0.0000229 \cdot t^2 \cdot U - 0.0000478 \cdot U^2 \cdot t \quad (3)$$

– pentru nivelul de putere a magnetronului de 75 %N, unde au fost obținute cele mai optime rezultate:

$$\tau(t, U) := -17.0571091 - 0.5752803 \cdot t + 0.0019866 \cdot t^2 - 0.0000043 \cdot t^3 + 0.0001918 \cdot U^3 + 0.0407402 \cdot U^2 + 2.5217470 \cdot U + 0.0048697 \cdot t \cdot U - 0.0000006 \cdot t^2 \cdot U - 0.0000238 \cdot U^2 \cdot t \quad (4)$$

Pentru a simplifica automatizarea procesului de uscare a sorizului, tot, pentru nivelul de putere a magnetronului de 75 %N a fost creat modelul matematic, care este determinat prin ecuațiile de calcul a umidității în orice moment de timp la diferite temperaturi a agentului termic.

$$U(\tau = 80^\circ C) := 221.83853 - 45.11202 \cdot \tau + 4.83444 \cdot \tau^2 - 0.25946 \cdot \tau^3 + 0.00519 \cdot \tau^4 \quad (5)$$

În teză sunt prezentate relațiile matematice și ale celorlalte temperaturi cercetate.

Prin prelucrarea matematică a rezultatelor experimentale, în baza ecuațiilor obținute, au fost descrise curbele de uscare, care sunt echivalente în limite admisibile cu curbele de uscare obținute experimental.

În capitolul șapte al tezei „*Realizarea tehnică a rezultatelor experimentale privind etapele de prelucrare termică a crupelor de soriz în crupe fierte- uscate*” se reflectă descrierea instalațiilor propuse pentru realizarea proceselor de gonflare, fierbere și uscare și combinarea lor într-un agregat pentru prelucrarea termică a crupelor de soriz cu utilizarea surselor de microunde în procesul de uscare, prezentat în fig. 7, ale cărui elemente de bază sunt instalația de gonflare sub presiune – I, instalația de fierbere – II și instalația de uscare – III.

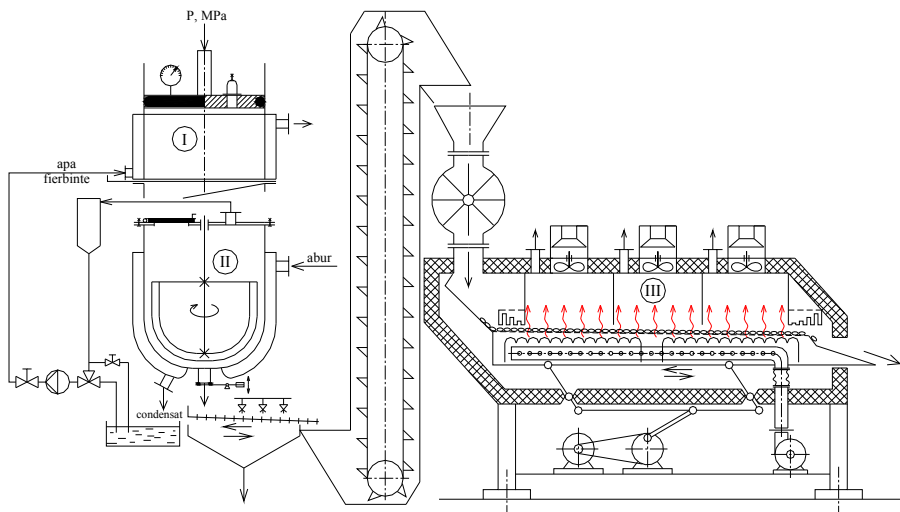


Fig.7. Agregat pentru pentru prelucrarea termică a crupelor

În capitolul opt al tezei „*Calculul efectului economic al măsurilor tehnico-tehnologice, propuse spre implementare în lucrare*”, este prezentat calculul efectului economic al instalației de uscare propuse pentru realizarea procedeeului combinat de uscare a sorizului fiert.

Efectul economic anual, în urma implementării instalației de uscare proiectată în linia de producere a crupelor fierte și uscate de soriz este de 1137 lei/tona de produs finit.

Concluzii

Generalizarea rezultatelor obținute în lucrare au permis formularea următoarelor concluzii:

1. S-a constatat avantajul utilizării sorizului în alimentație ca concentrat alimentar și necesitatea perfecționării operațiilor tehnologice de tratare termică ca: gonflarea, fierberea și uscarea;
2. S-au determinat parametrii optimi ai procesului de gonflare, care sunt: presiunea în camera de gonflare 2.0 MPa, temperatura solventului 60 °C și durata de gonflare 20 min;

3. S-a elaborat metoda și dispozitivul pentru determinarea gradului de fierbere a crupelor în baza studiul experimental și teoretic al procesului de fierbere a crupelor de soriz gonflante.

4. S-a demonstrat eficiența utilizării microundelor la prelucrarea termică a sorizului, aplicând următorul regim optim în procesul de uscare: viteza agentului de uscare 1,1 m/s, temperatura agentului de uscare 80 °C, nivelul de putere a magnetronului de 75 %N, durata de uscare 20 min;

5. S-au determinat indicii de calitate ai crupelor fierte-uscate prin diferite metode de uscare. S-a demonstrat, că în urma prelucrării termice indicii fizico-chimici au rămas în limitele normelor (% la s.u.) și calitatea produsului finit corespunde standartelor.

6. S-a elaborat modelul matematic al procesului de uscare combinat a crupelor de soriz cu aplicarea microundelor, care descrie procesul cu exactitatea de 12 %.

7. S-a elaborat un agregat de prelucrare termică a crupelor de soriz cu elemente „Know-Haw” care include o instalație de gonflare, o instalație de fierbere și un uscător S.H.F.

8. În urma implementării agregatului de prelucrare termică a crupelor de soriz se presupune obținerea unui efect economic de 1137,3 lei/tona produs uscat.

Notații convenționale

S.H.F. – curenți de frecvență supraînaltă;

$du/d\tau$ – viteza de uscare, %/s;

U – conținutul de umiditate, %;

K_I – constanta vitezei de uscare în I-a perioadă, %/(s·m²·kg/kg);

K_{II} – coeficientul vitezei de uscare în II-a perioadă 10⁴, s⁻¹

c_u – capacitatea termică specifică a materialului uscat, J/(kg·K);

$m_{s.u.}, W_{in}$ – cantitatea substanțelor uscate în produs și conținutul inițial de umezeală, kg;

$d\bar{\theta}$ – schimbarea temperaturii medii (în volum) a produsului;

t_a – temperatura aburului umidității, ce se elimină de pe suprafața materialului, K;

t_e – temperatura de evaporare a umidității, K;

τ – timpul, s;

G_{in} – masa inițială a produsului, kg;

G_{cr} – masa produsului ce corespunde umidității critice, kg;

Pe tema tezei au fost publicate 32 lucrări, dintre care cele mai reprezentative sunt:

1. Dicusar G., Dodon A., E. Bognibova. Studiarea proceselor de uscare a crupelor fierte de soriz. – Materiale a X conf. Naționale de Termotehnică, Sibiu, 2000
2. Bognibov E., Dodon A., Dicusar G. Fractionnement des albumines dissoutes du crup au grain de soriz. // Materialele celui de al II-ea colocviu Franco-Român de Chimie Aplicată. – Bacău, România, 2002. – p. 207 – 208.
3. Dodon Adelina. Caracteristicile proprietăților tehnologice ale crupei Soriz . // Conferința Tehnico-Științifică a Studenților și Doctoranzilor. – Chișinău, Moldova, 2002. – p.16.
4. Lupașco A., Dicusar G., Moraru G., Dodon A., Bognibov E., Rotaru A. Capacitățile fizico-chimice a crupelor de soriz în funcție de tratamentul hidrotermic. // Eiția a XIII- a a Simpozionului Național, cu participare internațională. Buletin informativ pentru industria de morărit și panificație . Vol. 14, nr. 2. – 2003. – p. 86.
5. Lupașco A., Dodon A., Dicusar G., Bognibov E., Argint E. Tratarea hidrotermică a crupei de soriz. // Lucrările Simpozionului Internațional // EuroAliment – 2003. – Galați, România, 2003. – p. 265.
6. Dodon A. Intensificarea pprocesului de uscare a crupei de soriz. // Lucrările Simpozionului Internațional // EuroAliment – 2003. – Galați, România, 2003. – p. 275.
7. Лупашко А. С., Додон А. Г., Астахова О. В., Дикусар Г. К., Богнибова Е. В. Крупа «Сориз» и возможность ее пищевой

- переработки. \ \ Материалы симпозиума \ \ Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования . - т.3. – М.: Пушино, 2003. – с. 396 – 399.
8. Lupașco A., Dicusar G., Dodon A., Bognibov E. The physical-chemical capacity of soriz croup dependind on the hidrotermic treatment. International conference “Advanced manufacturing technologies”. – București. Politehnica, 2003. – p. 181 – 183.
 9. Lupașco A., Dicusar G., Dodon A., Bognibov E. Procedeu de uscare a crupelor după umectarea lor termică. Infoinvent 2003. – MoldExpo. – Catalog oficial. – Chișinău. – p. 38.
 10. Dicusar G., Lupașco A., Dodon A. Le transfert le la masse et de la chaleur dans le process de sechage par la methode convective du pruuau cuit de soriz. // Materialele conferinței / Tehnologii Moderne, Calitate, Restructurare. – Iași. România, 2004. – p. 931 – 934.
 11. Lupașco A., Dodon A., Dicusar G., Bognibov E. Le traitment hydrotermique de la croupe de soriz.// Buletinul Institutului Politehnic din Iași / Tehnologii Moderne, Calitate, Restructurare. – T.LII. – Iași, România, 2004 – p. 26 – 29.
 12. Lupașco A., Dicusar G., Dodon A. Contributions a la preparation et la caracterisation de la croupe soriz bouilli – seche . // Colloque franco-roumain de chimie appliquée COFrRoCa. – Bacău. România, 2004. – p. 286.
 13. Lupașco A., Dicusar G., Dodon A. Utilisation du proces de sechage par la methode convectiv a la preparation des concetrats des grains de soriz. Conferința Științifică Internațională „Tehnologii Moderne, Calitate, Restructurare”- Chișinău. – 2005. – p. 189 – 193.
 14. Лупашко А. С., Додон А. Г., Дикусар Г. К. Влияние способа нагрева сориза на его кинетические характеристики процесса сушки. // Научные труды Одесской Государственной Академии Пищевых Технологий. –Одесса, Украина, 2006. – с. 289 – 291.

15. Dodon A. Uscarea sorizului prin metoda convectivă cu aplicarea microundelor. – Meridian ingineresc. – Nr.1. – 2007. – p. – 71.
16. Lupașco A., Dicusar G., Dodon A., Deliu A., Terzi I. Termodinamica și cinetica uscării sorizului cu aplicarea microundelor. – Intellectus. – nr.1. – 2007. p. – 74 – 79.

Adnotare

Dodon A. G. „Contribuții privind studierea procesului de uscare a crupei soriz, pentru obținerea concentratelor alimentare”. Teza de doctorat în vederea conferirii titlului științific de doctor în științe tehnice la specialitatea 05.18.12 – Procese și aparate în industria alimentară, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, 2007. Teza este prezentată în formă de manuscris.

La tema tezei de doctorat au fost publicate 32 lucrări științifice, inclusiv două hotărâri pozitive privind brevete de invenție, înregistrate în Republica Moldova, în care sunt reflectate studiul teoretic și analiza cercetărilor experimentale în ceea ce privește intensificarea proceselor de prelucrare termică a crupelor de soriz cum sunt: gonflarea, fierberea și uscarea.

S-au determinat experimental proprietățile de gonflare a sorizului și s-au stabilit dependențele acestora de presiunea exercitată, temperatură și umiditatea crupelor. S-a constatat că gonflarea crupelor de soriz trebuie efectuată în regim optim la presiunea de 2,0 MPa și temperatura solventului de 60 °C.

S-au efectuat cercetări experimentale ale cineticii procesului de uscare a crupelor fierte de soriz prin metode convective și combinate cu utilizarea microundelor – SHF. S-au determinat caracteristicile cinetice ale procesului de uscare. S-au comparat constantele vitezei de uscare convectivă a crupelor de soriz K_I obținute experimental cu coeficienții transferului de umiditate β calculați, și s-a constatat prezența în crupa fiartă de soriz a unei rezistențe de difuziune. Înlăturarea acestei difuziuni este posibilă în cazul în care aplicăm câmpul de frecvență supraînaltă. Astfel, microundele contribuie la intensificarea procesului de uscare și coeficientul K_I crește (la

utilizarea nivelului maxim al puterii nominale a magnetronului) de 10 ori.

În baza cercetărilor efectuate, s-a constatat, că uscarea crupelor de soriz prin metoda combinată este eficientă de efectuat la temperatura agentului termic de 80 °C și nivelul de utilizare de 75 % din puterea nominală a magnetronului, argumentând acest regim prin cel mai redus consum de energie și prin cei mai înalți indici de calitate a crupelor uscate.

S-a elaborat modelul matematic al procesului de uscare combinat a crupelor de soriz cu aplicarea microundelor, în funcție de durata procesului de uscare, temperatură, nivelul de utilizare a puterii magnetronului și conținutul de umiditate al produsului cercetat.

Se propune construcția agregatului pentru prelucrarea termică a crupelor de soriz cu utilizarea surselor de microunde în procesul de uscare, ale cărui elemente de bază sunt instalația de gonflare sub presiune, instalația de fierbere și instalația de uscare, pentru care a fost calculat efectul economic în unități convenționale.

Cuvinte cheie: crupe cerealiere, prelucrare hidrotermică, uscare, convecție, microunde, magnetron, concentrate alimentare, calitate.

Annotation

Dodon A. “Contributions regarding the soriz groats drying process for obtaining food concentrate”. Dissertation for the degree doctor of technical sciences on speciality 05.18.12 – Food industry processes and apparatuses, Technical University of Moldova, Chisinau, 2007. Dissertation is written as a manuscript.

There are presented 32 published scientific works and 2 patents for inventions, there has been carried out theoretical study and research concerning thermic processing of soriz groats such as: swelling, boiling and drying.

There have been determined swelling proprieties of the soriz groats and have been established dependences on pressure, temperature and groats humidity. It has been found out the soriz groats swelling process has to be performed at the pressure of 2,0 MPa and solvent temperature at 60°C. The applying of excessive

pressure in soriz groats swelling has intensified the process in 4,5 times.

There has been carried out research on the kinetics of the soriz boiled groats process by means of convection, microwaves and combined method – SHF. There have been determined kinetics characteristics of the drying process. Experimentally, there has been established the constant of the convective soriz groats K_1 and the coefficients of the humidity transfer B were calculated. As a results there has been determined a diffusion resistance in the boiled groats.

This diffusion could be removed by using super high frequency field. The application of the microwaves leads to the intensification of drying process. As a result the coefficient K increases in 10 times (when the maximal nominal power of the magnetron is used).

It has been deduced that soriz – drying by means of power – supply, represented by convection and microwaves has to be performed at the temperature of 80°C, 75 % of magnetron’s nominal power, motivating these conditions by using of reduced consumption of energy and high dried groats quality.

It has been elaborated mathematical model of soriz – drying combined process by means of microwaves applying depending on the length of drying process, temperature, nominal power of magnetron and the humidity content of examined product.

The construction of the industrial soriz – drier based on swelling, boiling and drying installations has been proposed.

Key words: groats, swelling, drying, convection, microwaves, temperature, concentrate, quality.

Аннотация

Додон А. Г. «Разработка и исследования процесса сушки крупы сориза для получения пищевых концентратов». Докторская диссертация подготовлена с целью получения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.12 - Процессы и аппараты пищевых производств, Техни-

ческий Университет Молдовы, Кишинев, 2007 год. Диссертация подана в виде рукописи.

По теме диссертации было опубликовано 32 научных статей, в том числе два положительных решения на патент зарегистрированных в Республике Молдова, в которых отражены основные моменты диссертации.

Проанализированы и даны рекомендации по термической обработки сориза в промышленных целях такие как: набухание под давлением, варка и сушка с применением комбинированного энергоподвода – конвекция + SHF.

Определенно, что наиболее лучшим режимом для получения пищевого концентрата является – набухания при температуре 60 °С и давлении 2,0 МПа при дальнейшей сушке при 80 °С и мощности магнетрона 75 % от номинальной.

С целью автоматизации процесса сушки подготовлено математическая модель.

На базе проведенных исследований разработан новый агрегат для получения быстрорастворимого концентрата из сориза состоящий из отдельных установок по набуханию под давлением, варки и сушки при комбинированном энергоподводе – конвекция + SHF.

Экономический эффект внедрения данного агрегата составляет 1137 лей/т.

Ключевые слова: крупа, набухание, сушка, конвекция, микроволны, магнетрон, температура, пищевые концентраты.

Bun de tipar 07.09.2007

Formatul hârtiei 60x84 1/16

Hârtie ofset. Tipar ofset.

Tirajul 60 ex.

Coli de tipar 1,75

Comanda nr. 117

U.T.M., 2007, Chişinău, bd. Ştefan cel Mare, 168
Secţia Redactare şi Editare a U.T.M.2068, Chisinau, str.
Studentilor, 11

