

## Energy-Efficient Fruit Dehydration Regimes in Modified Atmosphere

Popescu V.S., Tsislinscaia N.I., Vishanu I.V., Melenchiuc M.G., Balan M.M.,  
Vishanu V.V.

Technical University of Moldova  
Kishinau, Republic of Moldova

**Abstract.** The aim of this work is to establish energy-efficient fruit dehydration regimes in a modified atmosphere. To achieve the goal, an experimental electrical installation was developed, which applies in the technological process the CO<sub>2</sub> modified atmosphere dehydration method. Carbon dioxide was used as a drying agent because it is harmless for food and for the human body, including even children and is often used in food industry. The researches were focused on the example of the local origin fruits dehydration, but in particular, peaches were selected as the main object of the research, because they are extremely sensitive to both storage and processing, and the current technologies applied in their case have low efficiency due to adverse reactions that cause processing defects. The essential problems in the dehydration of peaches are the oxidation of the superficial layer and the browning, which considerably reduce the quality of the finished products and also require an increased energy intake, and because of the mentioned shortcomings, these fruits are mainly used during the season, being mainly consumed fresh, nevertheless the dried fruits are of interest and are sought after by consumers the year-around. The main results obtained with the application of the elaborated installation are: increasing in the energy efficiency and the quality of the finished products. The significance of these results lies in the solution of the essential characteristic problems of the fruit dehydration process, which are currently faced by specialized companies in the respective field.

**Keywords:** electrical installation, processing method, energy-efficient regimes, fruit dehydration, modified atmosphere, carbon dioxide.

DOI: <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2024.3-63.06>

UDC: 633/635-021.51:664.8.047

### Regimurile energoeficiente de deshidratare a fructelor în atmosferă modificată

Popescu V.S., Țislinscaia N.I., Vișanu I.V., Melenciuc M.G., Balan M.M., Vișanu V.V.

Universitatea Tehnică a Moldovei  
Chișinău, Republica Moldova

**Rezumat.** Scopul lucrării constă în stabilirea regimurilor energoeficiente de deshidratare a fructelor în atmosferă modificată. Pentru atingerea scopului a fost elaborată o instalație electrică experimentală, care aplică în procesul tehnologic anume metoda de deshidratare în atmosferă modificată cu CO<sub>2</sub>. A fost utilizat în calitate de agent anume dioxidul de carbon, deoarece acesta este un gaz inofensiv pentru alimente și din punct de vedere vital pentru organismul uman, inclusiv chiar și pentru copii, fiind des utilizat în industria alimentară. Cercetările realizate au fost axate pe exemplul deshidratării fructelor de proveniență autohtonă, însă în mod special, în calitate de obiect principal al cercetărilor au fost selectate piersicile. Au fost cercetate anume aceste fructe, deoarece ele sunt extrem de sensibile atât la procesul de păstrare cât și la cel de prelucrare, iar tehnologiile actuale aplicate în cazul lor au o eficiență scăzută din cauza reacțiilor adverse care cauzează defecte la prelucrare. Problemele esențiale la deshidratarea piersicilor sunt oxidarea stratului superficial și brunificarea, care reduc considerabil calitatea produselor finite și necesită totodată și un aport energetic sporit, iar din cauza neajunsurilor menționate aceste fructe sunt întrebuițate preponderent la sezon, fiind consumate mai mult în stare proaspătă, însă cele uscate prezintă interes și sunt căutate de consumatori pe parcursul întregului an. Rezultatele principale obținute cu aplicarea instalației elaborate, sunt: sporirea eficienței energetice și a calității produselor finite. Semnificația acestor rezultate constă în soluționarea problemelor esențiale caracteristice procesului de deshidratare a fructelor cu care se confruntă la moment întreprinderile specializate din domeniul respectiv.

**Cuvinte-cheie:** instalație electrică, metodă de procesare, regimuri energoeficiente, deshidratarea fructelor, atmosferă modificată, dioxid de carbon.

© Popescu V.S., Țislinscaia N.I., Vișanu I.V.,  
Melenciuc M.G., Balan M.M., Vișanu V.V.  
2024

**Энергоэффективные режимы обезвоживания фруктов в модифицированной атмосфере  
Попеску В.С., Цислинская Т.И., Вишану И.В., Меленчук М.Г., Балан М. М., Вишану В.В.**

Технический университет Молдовы, Кишинев, Республика Молдова

**Аннотация.** Основной целью данной работы является установление энергоэффективных режимов обезвоживания плодов в модифицированной атмосфере. Для достижения поставленной цели исследования была разработана экспериментальная электроустановка, применяющая в технологическом процессе именно метод обезвоживания плодов в модифицированной атмосфере с CO<sub>2</sub>. В качестве агента в данном случае использовался именно углекислый газ, поскольку это безвредный для пищевых продуктов и с жизненно важной точки зрения для организма человека, в том числе даже детского, газ часто используемый в пищевой промышленности, особенно при газировании различных напитков. Проведенные исследования были сосредоточены на примере обезвоживания плодов местного происхождения, но, в частности, в качестве основного объекта исследований были выбраны персики. Эти плоды были специально исследованы, поскольку они чрезвычайно чувствительны как к процессам хранения, так и к процессам переработки, а применяемые в данном случае существующие технологии обработки имеют низкую эффективность из-за побочных реакций, возникающих в ходе процессов и вызывающих дефекты обработки. В настоящее время существенными проблемами, характерными для процесса обезвоживания персиков, являются окисление поверхностного слоя и потемнение, что значительно снижает качество готовой продукции, а также требует повышенных затрат электроэнергии. В связи с указанными недостатками, эти фрукты используются сезонно и больше потребляются в свежем виде, но и сушеные представляют интерес и пользуются спросом у потребителей в течение круглого года. Основными результатами, полученными при применении разработанной установки, являются: повышение энергоэффективности и качества готовой продукции. Значимость полученных результатов заключается в решении существенных проблем, характерных для процесса обезвоживания плодов, с которыми в настоящее время сталкиваются специализированные предприятия соответствующей области.

**Ключевые слова:** электроустановка, способ переработки, энергоэффективные режимы, обезвоживание плодов, модифицированная атмосфера, углекислый газ.

### Introducere

Actualmente, creșterea prețurilor la toate resursele energetice impune eficientizarea de urgență a proceselor de prelucrare din sectorul agroindustrial, îndeosebi a celor de deshidratare a fructelor, care sunt procese cu consum sporit de energie.

Specialiștii din domeniul uscării fructelor afirmă că dezvoltarea sectorului agroindustrial poate fi realizată numai în baza cercetărilor ample cu privire la identificarea soluțiilor eficiente și modernizarea instalațiilor de procesare și prin argumentarea parametrilor tehnologici și a regimurilor eficiente de funcționare [2-5, 8-11, 24-27].

Studiile realizate până în prezent, au confirmat că modernizarea tehnologiilor și instalațiilor de procesare, tot timpul a fost în vizorul cercetătorilor, iar problemele principale de interes stringent au fost mereu creșterea eficienței energetice și a calității produselor finite [1-3, 6, 9].

Astfel, de multiple ori s-a evidențiat faptul că în mare parte, efortul cercetătorilor este axat nemijlocit pe reducerea consumului de energie electrică și pe sporirea indicatorilor de calitate a produselor procesate destinate consumatorilor,

fapt ce permite soluționarea problemelor sus menționate [7, 10, 12-15].

Mai mult decât atât, actualmente se accentuează o tendință de utilizare a tehnologiilor inovative, îndeosebi în sectoarele cu probleme stringente, ca în cazul deshidratării fructelor [19-22, 23-26].

Totuși problema principală a tehnologiilor de uscare existente la momentul actual pentru fructe este consumul sporit de energie electrică [27-29, 31-34].

În afară de cele menționate, alte probleme esențiale care parvin la deshidratarea fructelor cu conținut bogat de fier, cum sunt în cazul dat piersicile, sunt oxidarea stratului superficial și brunificarea, care reduc considerabil calitatea produselor finite. Din această cauză aceste fructe sunt considerate de sezon și se consumă mai mult în stare proaspătă, iar pentru a putea beneficia de ele pe parcursul întregului an este nevoie de implementat procedee eficiente de procesare [4-7, 31-33].

Multe studii au confirmat că procesarea în atmosferă modificată, are multiple efecte benefice în privința ameliorării neajunsurilor menționate mai sus [21-24, 30-32].

De exemplu, pentru unele fructe și legume s-a demonstrat o ameliorare a calității și o reducere a consumului de energie.

Metodele convenționale de deshidratare a fructelor utilizează ca agent de uscare aerul, însă la uscarea convectivă cu aer produsele suferă reacții de degradare care duc la diminuarea calității, cauzate de diverse modificări nedorite, care au loc în timpul procesului de uscare.

Cele mai des întâlnite reacții în cazul fructelor duc la apariția efectelor de brunificare și zbârcire. Brunificarea poate fi cauzată de reacțiile enzimatiche sau neenzimatiche, care pot avea loc la procesare. Enzima care se întâlnește cel mai des în fructe și cauzează apariția acestor efecte este polifenoloxidaza.

O acțiune negativă asupra produselor supuse uscării o are evident în cazul dat prezența oxigenului [15-18, 25-27].

Pentru a evita oxidarea produsului supus uscării și pentru combaterea distrugerii ingredientelor sale bioactive este necesar de a reduce conținutul de oxigen din camera de procesare. În acest scop, aerul utilizat ca agent termic la uscarea convectivă, care conține 21% oxigen, poate fi înlocuit cu azot sau dioxid de carbon.

Prin eliminarea oxigenului, se evită astfel oxidarea și unele reacții adverse nedorite care au loc sub acțiunea oxigenului.

Astfel, modificarea atmosferei reduce brunificarea produselor și îmbunătățește păstrarea substanțelor bioactive. În plus, uscarea în atmosferă modificată mărește viteza de evacuare a umidității din produs în timpul procesării.

Un grup de savanți [10-16, 21-26] au studiat aplicarea uscării în atmosferă modificată pentru unele fructe, cu utilizarea pompei de căldură.

O serie de studii experimentale au fost efectuate cu privire la uscarea în atmosferă modificată, cu utilizarea pompei de căldură, pentru diferite tipuri de produse pomicole și au demonstrat o îmbunătățire deosebită a calității produsului finit [10, 26-30].

O soluție la problemele cu privire la reducerea consumului de energie în timpul procesului de uscare, reprezintă utilizarea metodelor de uscare cu aplicarea dioxidului de carbon [11-13, 15-19].

Un alt pas important în reducerea consumului de energie, este determinarea regimurilor eficiente de procesare tehnologică [1-3, 27-30].

Uscarea în atmosferă modificată de dioxid de carbon reduce esențial consumul de energie electrică și a fost apreciată de a avea un impact mare nu doar asupra timpului de uscare dar și a calității produselor finite [10-14].

La fel pot fi folosite și alte metode netradiționale de uscare, care au beneficiile sale specifice în particular și permit păstrarea calității produsului, dar și reducerea timpului de uscare și a consumului de energie necesar procesului [16-21, 25].

Totodată nimeni nu a studiat pe potrivă eficiența aplicării dioxidului de carbon în cazul piersicilor sau altor fructe de proveniență autohtonă și nu au apreciat impactul concret asupra consumului de energie și a calității produselor.

Mulți cercetători din domeniu au încercat să soluționeze problemele respective până la moment, însă ele nu au fost soluționate totalmente și au rămas și în prezent în vizorul cercetătorilor.

Mai mult decât atât, nimeni nu a evaluat influența regimurilor de lucru asupra eficienței procesului tehnologic și până în prezent nu sunt cunoscute valorile parametrilor tehnologici și a regimurilor energoeficiente de procesare.

Specialiștii din domeniul afirmă că numai prin cercetarea profundă, atât din punct de vedere cantitativ cât și calitativ, a procedurilor moderne de procesare, ar permite determinarea regimurilor eficiente de procesare tehnologică și soluționarea problemelor menționate.

Astfel, rezultatele principale obținute în acest studiu sunt cele cu privire la stabilirea soluțiilor eficiente privitor la aceste probleme, care au o importanță semnificativă pentru întreprinderile de procesare a fructelor și oferă posibilitatea eficientizării procesului de uscare.

Reieșind din cele menționate, scopul acestor cercetări constă în stabilirea regimurilor energoeficiente de deshidratare a fructelor, în baza unei metode eficiente de tratare în atmosferă modificată de CO<sub>2</sub>.

Astfel, pentru atingerea scopului cercetărilor a fost elaborată o instalație electrică experimentală, în baza căreia a fost realizate cercetările.

Instalația propusă aplică la procesare, anume metoda de prelucrare tehnologică în atmosferă modificată de CO<sub>2</sub>.

Cercetările au fost axate preponderent pe exemplul piersicilor, deoarece, în prezent, după cum s-a menționat aceste fructe prezintă mare interes, dar ele nu sunt valorificate pe deplin,

fiind consumate preponderent în stare proaspătă la sezon, dar ele totuși constituie un potențial valoros pentru utilizarea pe parcursul întregului an, având un conținut bogat în elemente nutritive necesare organismului uman.

Multe studii au scos în evidență că uscarea fructelor respective, prin metodele utilizate în prezent este dificilă, îndeosebi din cauza defectelor și a reacțiilor adverse, care apar frecvent în procesul de prelucrare tehnologică.

Totodată, mulți cercetători din domeniu procesării au confirmat necesitatea și eficiența aplicării metodelor inovative în privința înlăturării acestor neajunsuri [3-5, 9-12, 25-28].

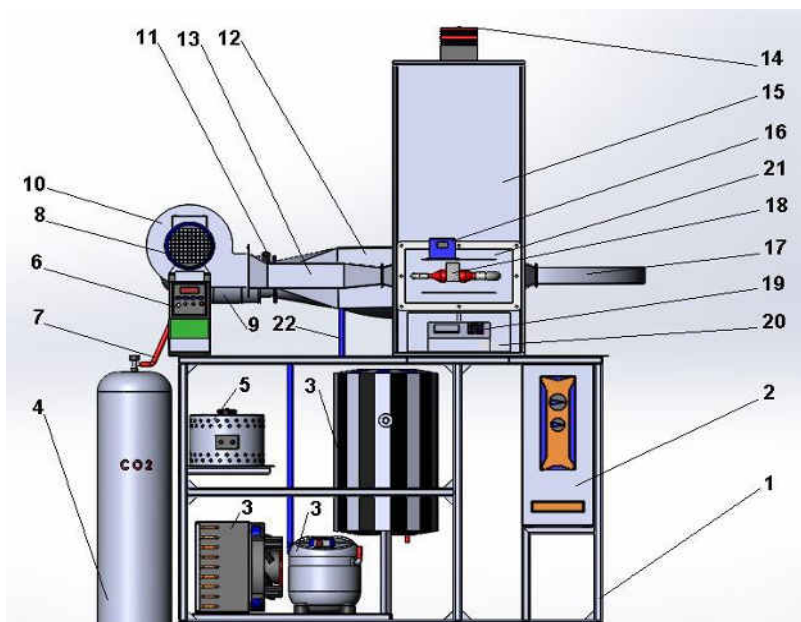
Așadar, rezultatele obținute în baza cercetărilor efectuate în această lucrare au permis de a soluționa problemele esențiale descrise, prin aplicarea metodei de deshidratare în atmosferă modificată de CO<sub>2</sub>.

În acest context, rezultatele principale obținute în baza studiilor sunt sporirea eficienței energetice și a calității produselor finite, care au o semnificație primordială pentru întreprinderile de procesare a fructelor.

### MATERIALE ȘI METODE

Instalația electrică care a fost elaborată pentru realizarea cercetărilor experimentale asupra procesului de deshidratare a fructelor este prezentată în Figura 1.

În baza acestei instalații a fost estimată eficiența procesului de deshidratare a fructelor prin metoda de procesare propusă în atmosferă modificată de CO<sub>2</sub>, iar rezultatele au fost comparate cu cele obținute prin metoda clasică de uscare convectivă. Pentru fiecare metodă aplicată s-a urmărit în prim plan influența regimurilor tehnologice asupra consumului de energie electrică și a calității fructelor procesate.



1 – carcasă; 2 – panou de comandă; 3 – sistem de captare a umidității; 4 – recipient CO<sub>2</sub>; 5 – sistem de reglare a intensității încălzitorului electric; 6 – sistem de dirijare a ventilatorului; 7 – conductă de alimentare cu CO<sub>2</sub>; 8 – motor electric; 9 – conductă de recirculare; 10 – ventilator; 11 – supapă; 12 – schimbător de căldură; 13 – generator de căldură; 14 – termovizor; 15 – camera de procesare; 16 – ecran de monitorizare a parametrilor tehnologici; 17 – conductă de ieșire; 18 – detector de CO<sub>2</sub>; 19 – cântar electronic; 20 – suport pentru cântar.

**Figura 1. Schema constructivă a instalației experimentale elaborată pentru cercetarea procesului de deshidratare a fructelor în atmosferă modificată.**

1 – casing; 2 – control panel; 3 – moisture capture system; 4 – CO<sub>2</sub> container; 5 – electric heater control system; 6 – fan management system; 7 – CO<sub>2</sub> supply pipe; 8 – electric motor; 9 – recirculation pipe; 10 – fan; 11 – valve; 12 – heat exchanger; 13 – heat generator; 14 – thermal imager; 15 – processing room; 16 – technological parameters monitoring screen; 17 – outlet pipe; 18 – CO<sub>2</sub> detector; 19 – electronic scale; 20 – scale support.

**Figure 1. Constructive scheme of the experimental plant developed for the research of the process of dehydration of fruits in a modified atmosphere.**

Seriile de experimente au fost realizate pentru diferite temperaturi ale agentului de uscare, diferite viteze ale agentului și diferite concentrații de CO<sub>2</sub>.

Experimentele efectuate au fost axate pe procesul uscării fructelor de proveniență autohtonă, însă, în mod special, în calitate de obiect principal al cercetărilor au fost selectate piersicile. Au fost selectate anume aceste fructe, deoarece, actualmente, tehnologiile existente de deshidratare în cazul lor au o eficiență redusă, din cauza reacțiilor averse care au loc la procesare și provoacă defecte, ce reduc semnificativ calitatea produselor finite.

Pentru determinarea eficienței aplicării instalației elaborate, fructele au fost procesate atât după metoda clasică de procesare convectivă cu aer cald, cât și cu aplicarea metodei propuse de deshidratare în atmosferă modificată. În acest scop a fost utilizat un recipient de dioxid de carbon – CO<sub>2</sub>.

La realizarea experimentelor, fructele de piersic au fost supuse prelucrării fiind spălate și tăiate în rondele de diferite grosimi, în diapazonul 2-6 mm.

Suplimentar, pentru măsurarea vitezei aerului și temperaturii a fost utilizat anemometrul CPS-AM50 cu precizia ±1,5 % și termometru cu fir cald TESTO 400 cu precizia ± 1 %. Pentru controlul masei produsului s-a utilizat cântar electronic G&G JJ2000B cu eroarea ±0,01 g, pentru a monitoriza temperatura produsului s-a utilizat și termometru cu infraroșu IR cu eroarea ± 1,5 %.

## REZULTATE ȘI DISCUȚII

În rezultatul cercetării procesului de deshidratare a fructelor cu aplicarea instalației experimentale elaborate, a fost estimată eficiența aplicării metodei de procesare în atmosferă modificată în raport cu metoda clasică. Astfel, pentru a stabili influența conținutului de CO<sub>2</sub> asupra procesului tehnologic au fost efectuate multiple serii de încercări experimentale. Pentru compararea rezultatelor, au fost realizate teste de deshidratare, atât prin metoda convențională – cu aer, cât și în mediu modificat de CO<sub>2</sub>.

Așadar, uscarea s-a examinat la mai multe regimuri termice (cu temperaturi cuprinse între 60 °C și 100 °C), pentru diferite viteze ale agentului de uscare (între 1 și 2 m/s) și pentru mai multe concentrații ale CO<sub>2</sub> în camera de lucru (între 30 % și 80 %).

În scopul determinării influenței mediului de deshidratare asupra procesului, au fost întocmite diagramele de cinetică a uscării, iar pentru analiza calității produselor finite, au fost determinate conținutul vitaminei C, activitatea enzimatică și proprietățile organoleptice.

Analiza cineticii procesului de uscare a piersicilor prin convecție cu aer cald a permis de a stabili regimurile tehnologice eficiente pentru aceste fructe.

Pentru a efectua uscarea piersicilor, produsul a fost spălat și tăiat în rondele cu diferite grosimi, între 2 și 6 mm, cu o masă inițială a fiecărei probe de fructe supuse uscării de 100 ± 0,87 g, după care produsul a fost supus metodei de uscare examinată, cu aplicarea mai multor regimuri.

Umiditatea inițială a produsului supus uscării a fost în medie de 84 ± 0,75 %, iar cea finală a produsului uscat de 19 ± 0,20 %.

La aplicarea metodei clasice, în calitate de agent de uscare a fost utilizat aerul din mediul ambiant. Prelucrarea s-a realizat la diferite temperaturi ale agentului de uscare, și anume: 60, 70, 80, 90 și 100 °C.

Viteza agentului de uscare a fost încercată pentru următoarele valori: 1, 1,5 și 2 m/s.

Piersicile au fost tăiate în formă de rondele cu următoarele grosimi: 2, 3, 4, 5 și 6 mm.

La fiecare probă, fructele supuse uscării au fost aranjate uniform într-un singur strat, iar masa totală a fiecărei probe examinate a fost de 100 ± 0,87 g.

În baza rezultatelor experimentale s-au obținut curbele de uscare prin metoda tradițională.

Astfel, în Figura 2 se prezintă pentru exemplificare curbele reducerii umidității (U, %) a fructelor, în dependență de durata de procesare (τ, minute), deshidratate prin metoda tradițională, pentru probele examinate cu grosimea optimă stabilită de 4 mm și pentru viteza optimă a agentului de uscare de 1,5 m/s.

Curbele de uscare obținute corespund metodei tradiționale și sunt bine evidențiate duratele procesului tehnologic.

Acest fapt confirmă că procesul de deshidratare prin convecție a piersicilor este influențat semnificativ de valoarea temperaturii din camera de procesare.

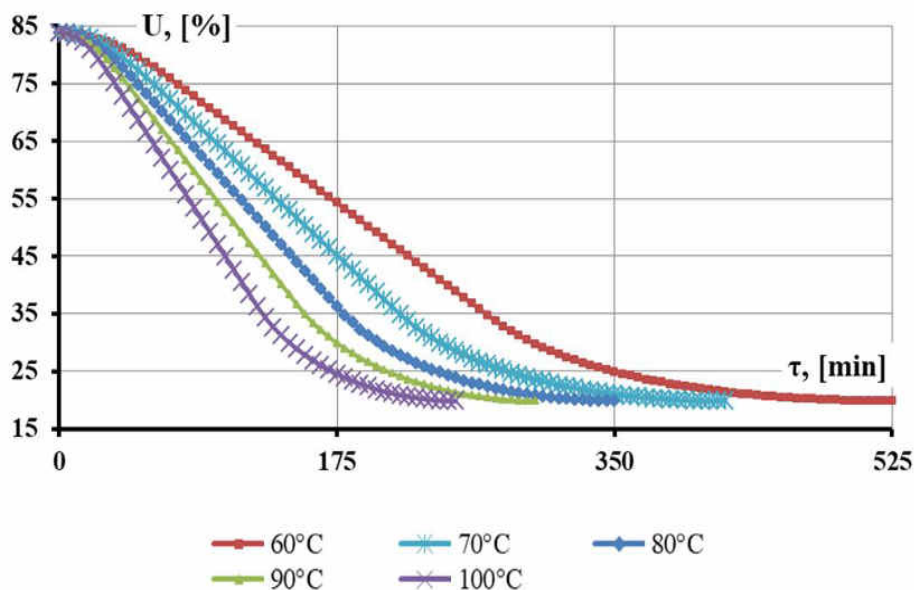
Totodată, graficele obținute demonstrează și o intensificare a procesului de deshidratare la creșterea temperaturii agentului de uscare.

Astfel la temperatura de 60 °C durata de uscare a fost de 525 minute, iar la temperatura de 100 °C – de 260 minute, demonstrând o intensificare a procesului de deshidratare a fructelor de circa 2 ori.

La următoarele etape ale cercetărilor s-a examinat cinetica procesului de uscare a piersicilor în atmosferă modificată de CO<sub>2</sub>.

Experimentele s-au realizat pentru diferite concentrații de dioxid de carbon – 30, 60 și 80 %,

pentru diferite regimuri termice (s-au examinat pentru comparație aceleași regimuri de temperatură ca și la uscarea clasică cu aer) – 60, 70, 80, 90 și 100 °C și aceleași valori ale vitezei agentului de uscare de 1, 1,5 și 2 ± 0,127 m/s. Forma geometrică a fructelor a fost dimensionată la fel ca și la uscarea clasică cu aer – rondele cu grosimea de 2, 3, 4, 5 și 6 mm și aranjate uniform într-un strat, analogic ca și-n cazul metodei tradiționale.

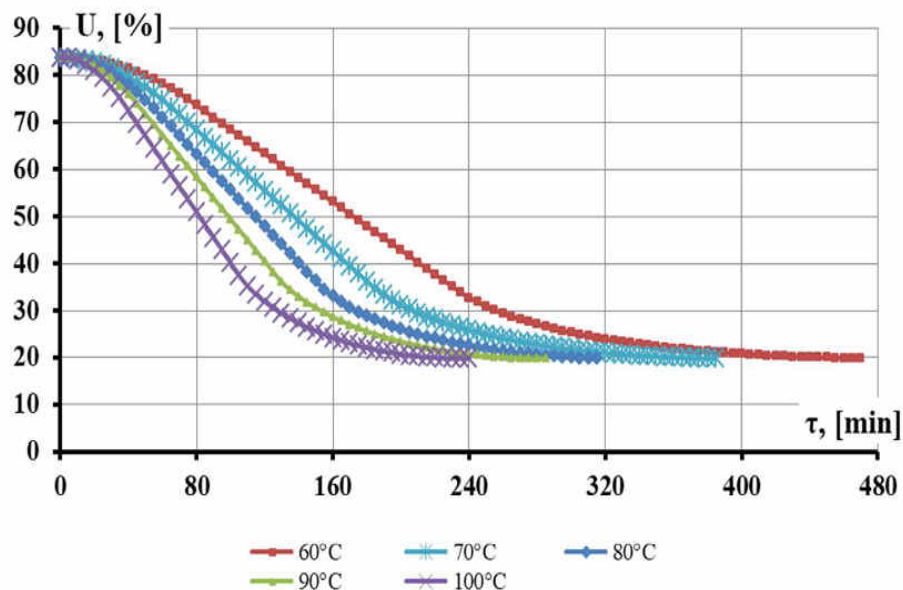


**Figura 2. Curbele reducerii umidității fructelor procesate prin metoda tradițională cu aer.**  
**Figure 2. Moisture reduction curves of fruits processed by the traditional air method.**

În Figura 3 se prezintă ca exemplu, curbele de deshidratare a fructelor de piersic în atmosferă modificată de CO<sub>2</sub>, pentru aceleași regimuri termice examinate ca și prin metoda clasică, pentru probele similare cu grosimea optimă stabilită de 4 mm și pentru viteza optimă a agentului de uscare de 1,5 m/s, iar

concentrația optimă a conținutului de CO<sub>2</sub> a fost stabilită de 80%.

Rezultatele au demonstrat că, curbele și-au păstrat forma similară celor din Figura 2, caracteristică cineticii procesului de uscare a fructelor de piersic, prin metoda convectivă clasică cu aplicarea aerului încălzit.



**Figura 3. Curbele reducerii umidității fructelor deshidratate în atmosferă modificată.**  
**Figure 3. Moisture reduction curves of dried fruits in modified atmosphere.**

Din graficele obținute se observă o reducere a duratei de deshidratare în atmosferă modificată de  $\text{CO}_2$ , în comparație cu uscarea prin convecție clasică cu aer. Deci, la regimul cu temperatura de  $60^\circ\text{C}$  procesul s-a redus cu 12,1%, la temperatura de  $70^\circ\text{C}$  cu 11,8%, la regimul de  $80^\circ\text{C}$  cu 11,6%, la temperatura de  $90^\circ\text{C}$  cu 11,3% și la regimul de  $100^\circ\text{C}$  cu 10,9%. Totodată s-a confirmat că dependența dintre durata de procesare în mediul modificat de  $\text{CO}_2$  și temperatură este invers proporțională.

Destul de important este și faptul că, analizând ambele metode de deshidratare, s-a confirmat că la deshidratarea fructelor în atmosferă modificată, consumul de energie electrică este mai redusă decât la deshidratarea prin metoda clasică, pentru toate seriile de experimente realizate și în dependență de regimul tehnologic examinat, consumul se reduce în medie cu 11,5%. Acest fapt are loc din cauza duratei mai reduse a procesului de prelucrare tehnologică prin metoda propusă, confirmată pentru fiecare regim termic.

Ca exemplu, pentru deshidratarea piersicilor de la umiditatea inițială a fructelor proaspete de  $84 \pm 0,75\%$  și până la cea finală a produsului uscat de  $19 \pm 0,20\%$ , la aplicarea metodei de tratare în atmosferă modificată de  $\text{CO}_2$  (pentru regimul cu eficiența maximă cu următorii parametri tehnologici optimali ai procesului: grosimea optimală a rondelilor stabilită de 4 mm, pentru viteza optimă a agentului de uscare de 1,5 m/s, pentru

concentrația optimală a conținutului de  $\text{CO}_2$  de 80 %, pentru temperatura optimală de procesare de  $70^\circ\text{C}$  și durata optimă de procesare prin această metodă de 385 minute) consumul de energie electrică este cu circa 11,8 % mai redus față de aplicarea metodei convective clasice de uscare cu aer, pentru aceleași probe similare (pentru regimul cu eficiența maximă cu parametrii tehnologici optimali stabiliți: grosimea optimală a rondelilor – 4 mm, viteza optimă a agentului de uscare – 1,5 m/s, temperatura optimă de procesare –  $70^\circ\text{C}$  și durata optimă de procesare prin metoda dată de 420 minute).

Totodată, pentru analiza calității, fructele deshidratate prin metoda clasică și cele deshidratate în atmosferă modificată de  $\text{CO}_2$  au fost analizate după unii indicatori de calitate.

Astfel, pentru aprecierea piersicilor ca obiect al cercetării și ca produs supus uscării, au fost analizați indicii de bază privind calitatea, printre care: activitatea polifenoloxidazei, conținutul total al vitaminei C și determinarea indicilor organoleptici.

Pentru determinarea polifenoloxidazei a fost luată ca bază proprietatea acesteia de a oxida acidul ascorbic. În rezultat, prin metoda de titrare cu soluție de iod, s-a determinat cantitativ acidul ascorbic rămas în mediul de reacție.

Analiza rezultatelor experimentale obținute ne confirmă că activitatea polifenoloxidazei a scăzut de 3 ori pentru perele uscate prin metoda clasică și de 5 ori pentru



perele uscate în mediu modificat, în comparație cu perele proaspete.

Activitatea examinată a polifenoloxidazei a scăzut semnificativ datorită influenței duratei mai mare de procesare, însă metoda de uscare în mediu modificat de CO<sub>2</sub>, a permis micșorarea acesteia de circa 1,7 ori mai mult, în comparație cu metoda de uscare clasică în aer, la aceeași temperatură a agentului de tratare.

Conținutul de Vitamină C în probele de fructe deshidratate a fost determinat prin metoda fotocolorimetrică, iar rezultatele au fost comparate pentru ambele metode de procesare examinate.

Din analiza rezultatelor obținute s-a constatat că în urma procesului de uscare a piersicilor, conținutul de vitamina C din fructele procesate, a scăzut cu circa 50% în cazul deshidratării convective clasice cu aer și cu circa 25% în cazul deshidratării în mediu modificat de CO<sub>2</sub>.

Scăderea concentrației de vitamina C, pentru ambele metode de uscare, poate fi explicată prin acțiunea temperaturii în procesul

de tratare, însă scăderea concentrației de acid ascorbic în cazul uscării clasice în aer, mai este determinată și de acțiunea oxigenului, fapt care explică și păstrarea în cantități mai mari ale vitaminei C în cazul uscării după metoda de tratare în atmosferă modificată de CO<sub>2</sub>, care a limitat efectele oxidative în timpul procesării, datorită substituirii unei mari părți de oxigen – O<sub>2</sub> din aer, cu dioxid de carbon – CO<sub>2</sub>.

În Figura 4 se prezintă ca exemplu o probă de piersici deshidratate prin metoda convectivă clasică de tratare, iar în Figura 5 – o probă de piersici deshidratate prin metoda de tartare în mediu modificat de CO<sub>2</sub>.

Determinarea proprietăților organoleptice ale piersicilor deshidratate prin ambele metode, a fost efectuată conform următorilor indicatori: culoarea produselor finite, mirosul, gustul, textura și forma. Analizei de calitate au fost supuse minuțios probele stabilite ca fiind cele mai optime de la fiecare metodă de uscare examinată: metoda convectivă clasică cu aplicarea aerului cald și metoda propusă de deshidratare în mediu modificat de CO<sub>2</sub>.



**Figura 4. Probă de fructe deshidratate prin metoda clasică.**  
**Figure 4. Sample of fruits dehydrated by the classic method.**





**Figura 5. Probă de fructe deshidratate prin metoda propusă.**  
**Figure 5. Sample of fruits dehydrated by the proposed method.**

În urma analizei s-a observat o calitate mai înaltă la piersicile uscate în mediu modificat de CO<sub>2</sub> iar piersicile uscate prin metoda convențională cu aer au confirmat un nivel mai redus de calitate.

Unul din aspectele analizate în prim plan a fost culoarea, iar piersicile uscate în aer au confirmat o culoare de chihlimbariu închis. Culoarea mai întunecată a piersicilor uscate prin metoda clasică, este cauzată de reacțiile adverse de brunificare, care au loc în prezența oxigenului din aerul cald, aplicat ca agent la prelucrarea tradițională. Din aceste considerente, piersicile deshidratate în atmosferă modificată, au o culoare mai deschisă, față de cele procesate prin metoda clasică.

Acest fapt se datorează combaterii reacțiilor de oxidare a stratului superficial și evitarea efectului de brunificare, fapt care permite nu numai de a îmbunătăți indicatorii organoleptici, dar și de a spori după cum s-a demonstrat și conținutul de substanțe nutritive din produsele finite.

## CONCLUZII

Rezultatele obținute în baza cercetărilor efectuate au demonstrat că instalația elaborată pentru deshidratarea fructelor în atmosferă modificată de CO<sub>2</sub>, permite sporirea eficienței procesului, preponderent cu reducerea consumului de energie electrică și creșterea calității fructelor procesate.

Studiile au demonstrat că la tratarea în atmosferă modificată, o dată cu sporirea conținutului de CO<sub>2</sub> la procesare, se reduce durata procesului de prelucrare din cauza

intensificării procesului de evacuare a umidității din produs în timpul prelucrării tehnologice.

Rezultatele au demonstrat că, metoda de tratare în atmosferă modificată nu permite apariția defectelor în procesul de deshidratare a fructelor, oferind în primul rând combaterea reacțiilor de oxidare a stratului superficial și reducerea efectului de brunificare.

Totodată, cercetările realizate au permis de a stabili regimurile energoeficiente de tratare și parametrii tehnologici optimali ai procesului de deshidratare a piersicilor în mediu modificat de CO<sub>2</sub>, care au oferit posibilitatea soluționării problemelor actuale cu care se confruntă în prezent întreprinderile specializate în prelucrarea fructelor.

## BIBLIOGRAFIE (REFERENCES)

- [1] Jajcevic D., Siegmann E., Radeke C., Khinast J. Large-scale CFD–DEM Simulations of Fluidized Granular Systems. *Chemical Engineering Science*, 2013, vol. 98, pp. 298–310.
- [2] Esposito B., Sessa M., Sica D., Malandrino O. Towards Circular Economy in the Agri-Food Sector. *Sustainability*, 2020, vol. 12, nr. 18, pp. 95–107, doi: 10.3390/su12187401.
- [3] Zhu H., Zhou Z., Yang R., Yu A. Discrete Particle Simulation of Particulate Systems: Theoretical Developments. *Chemical Engineering Science*, 2007, vol. 62, nr. 13, pp. 3378– 3396, doi: 10.1016.2006.12.089.
- [4] Panzella L., Moccia F., Nasti R., Marzorati S., Verotta L., Napolitano A., Bioactive Phenolic Compounds From Agri-Food Wastes. *Frontiers in Nutrition*, 2020, vol. 7, pp. 60-68, doi: 10.3389/fnut.2020.00060.
- [5] Pagotto M., Halog A. Towards a Circular Economy in Australian Agri-food Industry. *Journal*

- of *Industrial Ecology*, 2016, vol. 20, nr. 5, pp. 1176–1186, doi: 10.1111/jiec.12373.
- [6] Horabik J., Molenda M. Parameters and Contact Models for DEM Simulations of Agricultural Granular Materials. *Biosystems Engineering*, 2016, vol. 147, pp. 206–225, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2016.02.017.
- [7] Doymaz I. Air-Drying Characteristics of Tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 2007, nr. 78, pp. 1291–1297.
- [8] Paiva T., Ribeiro M., Coutinho P. Collaboration, Competitiveness Development, and Open Innovation. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 2020, vol. 6, nr. 4, pp. 416–424, doi: 10.3390/joitmc6040116.
- [9] Doymaz I. Convective Drying Kinetics of Strawberry. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 2008, 47, pp. 914–919.
- [10] Oliveira S., Brandão T., Silva C. Influence of Drying Processes and Pretreatments on Nutritional and Bioactive Characteristics of Dried Vegetables: a Review. *Food Engineering Reviews*, 2016, vol. 8, nr. 2, pp. 134–163.
- [11] Feng H., Tang J., Cavalieri R. Combined Microwave and Spouted Bed Drying of Diced Apples: Effect of Drying Conditions on Drying Kinetics and Product Temperature. *Drying Technology: An International Journal*, 1999, nr. 17, pp. 1981–1998.
- [12] Figiel A. Drying Kinetics and Quality of Beetroots Dehydrated by Combination of Convective and Vacuum-Microwave Methods. *Journal of Food Engineering*, 2010, nr. 98, pp. 461–470.
- [13] Scram J., Hall D., Stuckey D. Bioethanol from Grapes in the European Community. Biomass and Bioenergy, 1993, vol. 5, nr. 5, pp. 347–358, doi: 10.1016/0961-9534(93)90014.
- [14] Kaya A., Aydın O. An Experimental Study on Drying Kinetics of Some Herbal Leaves. *Energy Conversion and Management*, 2010, nr. 50, pp. 118–124.
- [15] Daud W. Fluidized Bed Dryers — Recent Advances. *Advanced Powder Technology*, 2008, vol. 19, nr. 5, pp. 403–418, 10.1016/S0921-8831(08)60909-7.
- [16] Ranjbaran M., Emadi B., Zare D. Simulation of Deep-Bed Paddy Drying Process and Performance. *Drying Technology*, 2014, vol. 32, pp. 919–934, doi: 10.1080/07373937.2013.875561.
- [17] Sharma Y., Mangla S., Patil p., Liu S., When Challenges Impede the Process: For Circular Economy-Driven Sustainability Practices in Food Supply Chain. *Management Decision*, 2019, vol. 57, nr. 4, pp. 995–1017, doi: 10.1108/MD-09-2018-1056.
- [18] Liu S., Fukuoka M., Sakai N. A Finite Element Model for Simulating Temperature Distributions in Rotating Food During Microwave Heating. *Journal of Food Engineering*, 2013, nr. 115, pp. 49–62.
- [19] Hazervazifeh A., Nikbakht A., Moghaddam P. Novel Hybridized Drying Methods for Processing of Apple Fruit: Energy Conservation Approach. *Energy*, 2016, nr. 103, pp. 679–687.
- [20] Chou S., Chua K. New Hybrid Drying Technologies for Heat Sensitive Foodstuffs. *Trends in Food Science & Technology*, 2016, vol. 12, p. 359–369, Bucharest, doi: 10.1016/S0924-2244(01)00102-9.
- [21] Haseeb M., Zandi G., Hartani H., Pahi M., Nadeem S. Environmental Analysis of the Effect of Population Growth Rate on Supply Chain Performance and Economic Growth of Indonesia. *Ekoloji*, 2019, vol. 28, nr. 107, pp. 417–426.
- [22] Ozbek B., Dadali G. Thin-Layer Drying Characteristics and Modelling of Mint Leaves Undergoing Microwave Treatment. *Journal of Food Engineering*, 2007, nr. 83, pp. 541–549.
- [23] Kahyaoglu L., Sahin, S., Sumnu, G. Spouted Bed and Microwave-Assisted Spouted Bed Drying of Parboiled Wheat. *Food and Bioproducts Processing*, 2012, nr. 90, pp. 301–308.
- [24] Karaaslan S., Tunçer I. Development of a Drying Model for Combined Microwave—Fan-assisted Convection Drying of Spinach. *Biosystems Engineering*, 2007, nr. 100, pp. 44–52.
- [25] Kardum J., Sander A., Skansi D. Comparison of Convective, Vacuum, and Microwave Drying Chlorpropamide. *Drying Technology: An International Journal*, 2001, nr. 19, pp. 167–183.
- [26] Kaya A., Aydın O. An Experimental Study on Drying Kinetics of Some Herbal Leaves. *Energy Conversion and Management*, 2009, nr. 50, pp. 118–124.
- [27] Kaya A., Aydın O., Demirtaş C. Drying Kinetics of Red Delicious Apple. *Biosystems Engineering*, 2007, nr. 96, pp. 517–524.
- [28] Popa A. Bantas R. Reliability Analysis of Systems for Distribution of Electricity. *Acta Electrotehnica*, Cluj-Napoca, 2013, vol. 54, nr. 5, p. 387-389.
- [29] Vasilevich S., Tarna R., et al. Efficient Installation for Primary Processing of Agricultural Products. Monograph: *Problems of Sustainable Development in Agriculture Including Renewable Energy Production and Environment Protection*. TOM XXIX, Falenty – Warsaw, Poland 2023, p. 66-73.
- [30] Kouchakzadeh A., Shafeei S. Modeling of Microwaveconvective Drying of Pistachios. *Energy Conversion and Management*, 2010, nr. 51, pp. 2012–2015.
- [31] Koyuncu T., Tosun I., Pinar Y. Drying Characteristics and Heat Energy Requirement of Cornelian Cherry Fruits. *Journal of Food Engineering*, 2007, nr. 78, pp. 735–739.
- [32] Li Z., Raghavan G., Wang N., Vigneault C. Drying Rate Control in the Middle Stage of Microwave Drying. *Journal of Food Engineering*, 2012, nr. 104, pp. 234–238.

[33] Singh K. Development of a Small Capacity Dryer for Vegetables. *Journal of Food Engineering*, 1994, nr. 21, pp. 19–30.

[34] Castrica M., Rebutti R., Giromini C., Tretola M., Cattaneo D., Baldi A. Total Phenolic Content and

Antioxidant Capacity of Agri-Food Waste and by-Products. *Italian Journal of Animal Science*, 2019, vol. 18, nr. 1, pp. 336–341, doi: 10.1080/1828051X.2018.1529544.

**Date despre autori.**



**Popescu Victor Serghei.**

Doctor în științe tehnice, conferențiar universitar, Facultatea Energetică și Inginerie electrică, Universitatea Tehnică a Moldovei. Domeniul de activitate științifică îl constituie identificarea soluțiilor de eficientizare a proceselor din sectorul agroindustrial.

E-mail:

[victor.popescu@ie.utm.md](mailto:victor.popescu@ie.utm.md)



**Țislinscaia Natalia Ion.**

Doctor în științe tehnice, conferențiar universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei. Domeniul de activitate științifică îl constituie sporirea eficienței proceselor tehnologice de prelucrare și păstrare a produselor agroalimentare.

E-mail:

[natalia.tislinscaia@pmai.utm.md](mailto:natalia.tislinscaia@pmai.utm.md)



**Vișanu Ion Valeriu.**

Doctorand, Universitatea Tehnică a Moldovei. Domeniul de activitate științifică îl constituie perfecționarea tehnologiilor din sectorul agroindustrial.

E-mail:

[ion.visanu@doctorat.utm.md](mailto:ion.visanu@doctorat.utm.md)



**Melenciuc Mihail Gheorghe.**

Doctor în științe inginerești, conferențiar universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei. Interesele științifice sunt în planul perfecționării tehnologiilor de procesare.

E-

[mailmihail.melenciuc@pmai.utm.md](mailto:mailmihail.melenciuc@pmai.utm.md)



**Balan Mihail Mihail.**

Doctor în științe inginerești, conferențiar universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei. Domeniul de activitate științifică îl constituie perfecționarea tehnologiilor de procesare a produselor agricole.

E-mail:

[mihail.balan@pmai.utm.md](mailto:mihail.balan@pmai.utm.md)



**Vișanu Vitali Valeriu.**

Doctor în științe inginerești, conferențiar universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei. Domeniul de activitate științifică îl constituie dezvoltarea tehnologiilor de procesare a produselor agricole.

E-mail:

[vitali.visanu@pmai.utm.md](mailto:vitali.visanu@pmai.utm.md)