

Increasing the Efficiency of the Drying Process of Fruits Treated Using SHF Method

¹Popescu V., ²Tirsu M., ³Tsislinscaia N., ³Vishanu V., ³Balan M., ³Melenchuk M.

¹State Agrarian University of Moldova, Kishinau, Republic of Moldova

²Institute of Power Engineering of Moldova, Kishinau, Republic of Moldova

³Technical University of Moldova, Kishinau, Republic of Moldova

Abstract. The aim of this work is to increase the efficiency of the fruit drying process with the SHF treatment in a uniform rectilinear movement. In order to achieve the purpose of the work, an experimental installation for fruit drying was developed with the application of the SHF treatment in the uniform rectilinear movement, on the basis of which the research was carried out. The efficiency of the drying process with the application of the experimental installation was estimated for 3 types of fruits: peaches, pears and apples. These types of fruit have been selected for the study because their drying is currently problematic, and they are of great interest to consumers and to processing and marketing businesses. The main results obtained regarding the application of the plant developed for fruit drying are: the drying process speed increase, the heat processing time decrease, the electricity consumption reduction, the dried fruit quality improvement and the processing costs reduction. Moreover, the installation is simple in terms of construction, low cost and easy use. At the same time, the installation allows the automation of the process, and during the research it demonstrated a high level of safety. The significance of the results obtained lies in solving a number of current problems faced by primary agri-food processing companies, by streamlining the process of drying fruit in rounds, mainly by reducing the technological processing costs and improving the quality of dried fruit for storage, marketing and use in nutrition.

Keywords: fruit drying, process efficiency, uniform rectilinear movement treatment, drying plant.

DOI: <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2022.3-55.10>

UDC: 664.85.047.38

Sporirea eficienței procesului de uscare a fructelor tratate cu SHF

¹Popescu V., ²Tîrșu M., ³Țislinscaia N., ³Vișanu V., ³Balan M., ³Melenciuc M.

¹Universitatea Agrară de Stat din Moldova

²Institutul de Energetică

³Universitatea Tehnică a Moldovei

Chișinău, Republica Moldova

Rezumat. Scopul acestei lucrări constă în sporirea eficienței procesului de uscare a fructelor, prin tratarea cu SHF. Pentru atingerea scopului lucrării, a fost elaborată o instalație experimentală pentru uscarea fructelor, cu aplicarea tratării cu SHF în mișcare rectilinie uniformă, în baza căreia au fost realizate cercetările. Eficiența procesului de uscare cu aplicarea instalației experimentale elaborate, a fost estimată pentru 3 tipuri de fructe: piersici, pere și mere. Au fost selectate pentru cercetare anume aceste tipuri de fructe, deoarece la momentul actual uscarea lor este problematică, iar ele prezintă un mare interes pentru consumatori și pentru multe întreprinderi din domeniul prelucrării și comercializării produselor agroalimentare. Rezultatele principale obținute privind aplicarea instalației experimentale sunt: creșterea vitezei procesului de uscare, micșorarea timpului de prelucrare termică, reducerea consumului de energie electrică, creșterea calității rondelelor de fructe uscate și micșorarea cheltuielilor de prelucrare. Mai mult decât atât, instalația este simplă din punct de vedere constructiv, are cost redus și este ușor de utilizat. Totodată instalația permite automatizarea procesului de prelucrare în flux, cu monitorizarea riguroasă a parametrilor tehnologici, iar pe durata cercetărilor a demonstrat un nivel înalt de siguranță în funcționare. Semnificația rezultatelor obținute constă în soluționarea la o serie de probleme actuale cu care se confruntă întreprinderile de prelucrare primară a produselor agroalimentare, prin eficientizarea procesului de uscare a fructelor în rondele, în baza tratării cu SHF în mișcare rectilinie uniformă, preponderent cu reducerea costurilor de prelucrare tehnologică și creșterea calității rondelelor de fructe, pentru păstrare, comercializare și utilizare în alimentare.

Cuvinte-cheie: uscarea fructelor, eficientizarea procesului, tratarea în mișcare rectilinie uniformă, instalație de uscare.

Повышение эффективности процесса сушки фруктов обработанных СВЧ
Попеску В.,²Тыршу М.,³Цислинская Н.,³Вишану В.,³Балан М.,³Меленчук М.

¹Государственный Аграрный Университет Молдовы

²Институт энергетики

³Технический Университет Молдовы

Кишинев, Республика Молдова

Аннотация. Целью данной работы является повышение эффективности процесса сушки фруктов при обработке с СВЧ при равномерном прямолинейном движении продукта. Для достижения поставленной в данной работе цели была разработана экспериментальная установка для сушки фруктов с применением СВЧ-обработки в равномерном прямолинейном движении продукта, на базе которой проводились исследования. Эффективность процесса сушки с применением разработанной экспериментальной установки оценивалась для трех видов фруктов: персиков, груш и яблок. Эти виды фруктов были выбраны для исследований, потому что они имеют высокое содержание железа и в настоящее время их сушка классическими методами так как происходит окисление поверхностного слоя. Основными результатами, полученными при применении разработанной установки, являются: увеличение скорости процесса сушки, сокращение времени тепловой обработки, снижение расхода электроэнергии, повышение качества сухофруктов и снижение затрат на обработку. При этом установка проста с конструктивной точки зрения, имеет невысокую стоимость и удобна в эксплуатации. При этом установка позволяет автоматизировать процесс сушки фруктов, а в ходе исследований показала высокий уровень надежности в эксплуатации. Значимость полученных результатов заключается в решении ряда актуальных задач, стоящих перед предприятиями первичной агропродовольственной переработки, за счет рационализации процесса сушки фруктов в турах на основе обработки СВЧ с равномерным прямолинейным движением продукта, главным образом за счет снижения технологических затрат на обработку и повышение качества фруктовой нарезки для хранения, реализации и использования в питании населения.

Ключевые слова: сушка фруктов, эффективность процесса, обработка в равномерном прямолинейном движением, сушильная установка.

Introducere

Actualmente, în procesele de uscare a fructelor și legumelor, se utilizează tehnologii clasice, bazate pe metode tradiționale de procesare și instalații cu eficiență scăzută, îndeosebi cu consum sporit de energie electrică. Pefecționarea proceselor tehnologice de prelucrare primară a fructelor și legumelor, poate fi realizată numai pe baza aplicării unor tehnologii noi de procesare [5, 7, 9-11, 15-20, 24-27].

În scopul perfecționării tehnologiilor de uscare a fructelor și legumelor, au fost realizate cercetări științifice de mai mulți savanți din diferite țări, însă cercetările respective nu au rezolvat complet problemele cu privire la uscarea produselor vegetale, în special ce ține de reducerea consumului de energie electrică și a costurilor de prelucrare tehnologică [1-8, 10, 12-14, 17-23, 27-34].

Mai mult decât atât, problemele caracteristice proceselor de uscare se acutizează îndeosebi în cazul uscării în rondule a piersicilor, perelor și merelor, deoarece aceste fructe au un conținut bogat în fier și din cauza aceasta sunt instabile la procesele de oxidare și tratare termică, iar durata mare a procesului de uscare în baza tehnologiilor existente, afectează semnificativ calitatea fructelor în procesul prelucrării [9, 11, 20-27].

Așadar, după cum remarcă cercetătorii din domeniu [1-4,7-10,12-14,17-23,27-34], creșterea vitezei procesului, și reducerea duratei de uscare, determină o reducere a ratei de apariție a proceselor fizico-chimice adverse și a defectelor, iar în consecință, aceasta determină calitatea și aspectul produselor prelucrate.

Totodată, în timpul uscării, este necesară o monitorizare riguroasă a procesului, iar uscătoarele existente și utilizate la momentul actual [5,9-11,15-20,23-26, 31-35] nu asigură un control adecvat a parametrilor tehnologici, iar aceasta duce la o scădere a calității produsului final și la pierderi financiare pentru producători.

Mulți cercetători remarcă în lucrările lor [6-10, 12-14, 17-23, 27-36], că, uscarea produselor în condiții controlate și cu monitorizarea riguroasă a parametrilor, pentru satisfacerea cerințelor consumatorilor este un proces dificil, dar totodată și strict necesar.

Cel mai răspândite tipuri de uscătoare aplicate de întreprinderile specializate sunt uscătoarele cu flux de aer cald, care au fost analizate de mulți cercetători în studiile lor [6, 8, 10, 12, 19, 28, 30].

Rezultatele utilizării acestor uscătoare au arătat că, cu creșterea temperaturii, crește viteza de uscare și se reduce timpul de uscare, însă marele dezavantaje ale acestor uscătoare sunt consumul ridicat de energie electrică, cheltuieli

mari de prelucrare și calitatea scăzută a produselor, din cauza defectelor de preuscare și carbonizare, apărute la ridicarea temperaturii pentru creșterea vitezei procesului [6-10, 12, 19, 28, 30].

Uscarea cu microunde este o tehnologie modernă care a atras cercetători în ultimul timp, datorită disponibilității resurselor și ușurinței în utilizare [2-5, 13-18, 20-27].

Avantajele principale ale tehnologiilor cu microunde confirmate de multiple cercetări sunt: viteza mai mare a procesului, durata mică de prelucrare tehnologică și consumul redus de energie electrică [2-4, 15, 16, 21-25, 31-34].

Deoarece nici o metodă nu este perfectă, după cum indică cercetătorii în lucrările lor [8-11, 15-20, 24-29, 36-40] și această metodă nu este fără neajunsuri, sau ideală, iar în afară de avantajele menționate mai sus, are și o serie de dezavantaje și probleme specifice, caracteristice procesului de uscare cu microunde.

Așadar, în lucrările [3-5, 13-17, 20-27, 31-35, 39-45], cercetătorii au scos în evidență faptul că principala problemă a studiilor cineticii de uscare este cea a neuniformității încălzirii în procesul deshidratării cu SHF, iar distribuția neuniformă a temperaturii în produs este un factor primordial în analizele de cinetică.

Cu alte cuvinte, comportamentul deshidratării a diferitor părți din produs, depinde de temperatura locală, deci problema uniformității este evidentă atunci când se aplică încălzirea cu microunde [2-5, 14-16, 21-26, 31-35, 46].

Îmbunătățirea uniformității încălzirii cu SHF în procesul de uscare, cercetătorii o realizează prin rotirea probei și plasând-o în raza optimală față de dimensiunile cavității și centrul ei, iar generatorul de microunde este amplasat de obicei lateral [3-5, 13-17, 20-27].

Totodată, eficientizarea procesului poate fi realizată numai prin studii ample, din punct de vedere cantitativ și calitativ, în vederea sporirii nivelului de eficiență, ceea ce ar crește gradul de uniformitate a uscării și calitatea produselor finite [1-4, 9, 17-23, 27-35].

Astfel, pentru identificarea soluțiilor privind eficientizarea procesului de uscare a fructelor, a fost proiectată, elaborată, testată și implementată o instalație experimentală pentru uscarea fructelor în rondele, cu aplicarea tratării cu SHF în mișcare rectilinie uniformă, în baza căreia au fost realizate cercetările.

Rezultatele cercetărilor efectuate au demonstrat că, aplicarea instalației elaborate la uscarea fructelor, pe exemplul piersicilor, perelor

și merelor, permite: creșterea vitezei procesului de uscare, micșorarea timpului de prelucrare termică, reducerea consumului de energie electrică, creșterea calității rondelilor de fructe procesate și micșorarea cheltuielilor de prelucrare.

Atingerea acestor rezultate a fost posibilă prin sporirea eficienței acțiunii agentului de prelucrare termică, prin poziționarea efectivă a generatorului SHF în partea de sus a camerei de procesare și determinarea amplasării eficiente în corelație cu asigurarea temperaturii și încălzirii uniforme în fiecare punct al produsului, prin prelucrarea cu SHF în mișcare rectilinie uniformă a producției.

Totodată, instalația este simplă din punct de vedere constructiv, are cost redus și este ușor de utilizat. În afară de aceasta, instalația permite monitorizarea riguroasă a parametrilor tehnologici și prelucrarea în flux cu automatizarea procesului, iar parcursul cercetărilor a demonstrat un nivel înalt de siguranță în funcționare.

Reieșind din rezultatele obținute, se poate de remarcat faptul că cercetările au contribuit la soluționarea la o serie de probleme actuale cu care se confruntă întreprinderile de prelucrare primară a produselor agroalimentare, prin sporirea eficienței procesului de uscare a fructelor în rondele, preponderent cu reducerea consumului de energie electrică, micșorarea costurilor de prelucrare tehnologică și creșterea calității fructelor, pentru păstrare, comercializare și utilizare în alimentare.

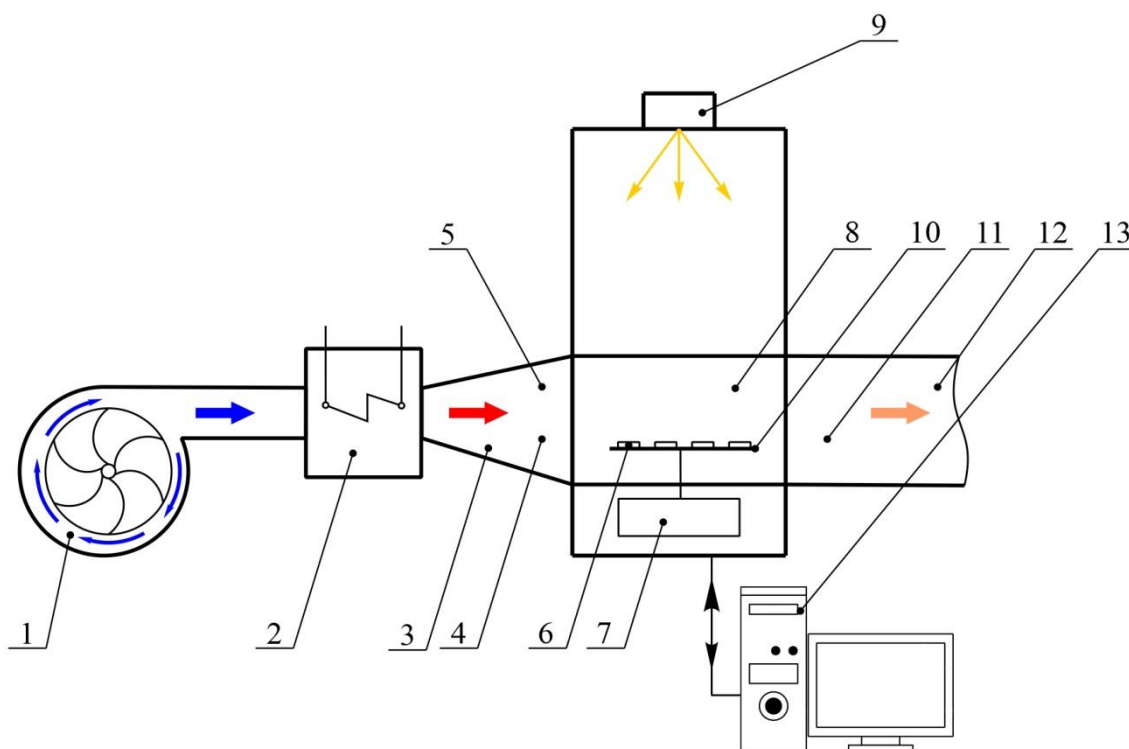
MATERIALE ȘI METODE

Schema tehnologică a instalației experimentale elaborate și utilizate pentru uscarea fructelor este prezentată în figura 1.

Instalația elaborată permite de a utiliza în procesul de uscare a fructelor atât SHF, cât și convecția, iar în procesul de realizare a experimentelor, oferă oportunitatea de a examina uscarea fructelor, atât după metoda clasică de uscare, cât și după metoda propusă – cu aplicarea tratării cu SHF în mișcare rectilinie uniformă.

Cercetările cu privire la uscarea fructelor cu aplicarea instalației elaborate, au fost realizate pe exemplul piersicilor, merelor și perelor.

Au fost selectate fructele respective, deoarece la momentul actual, uscarea lor este problematică și cu dificultăți, iar tehnologiile existente de procesare și deshidratare aplicate în cazul lor, au eficiență redusă [1-8,10, 12-14, 17-23, 27-30, 33-38, 41-44].



1 – ventilator; 2 – schimbător de căldură; 3 – senzor de viteză a aerului; 4,5 – senzori de temperatură și umiditate a aerului la intrare; 6 – rondele de fructe supuse prelucrării; 7 – traductor de masă pentru produs; 8 – camera de uscare; 9 – generator SHF; 10 – suport pentru produs; 11, 12 – senzori de temperatură și umiditate a aerului la ieșire; 13 – calculator.

Figura 1. Schema tehnologică a instalației experimentale elaborate pentru uscarea fructelor.

1 - fan; 2 - heat exchanger; 3 - air speed sensor; 4,5 - inlet air temperature and humidity sensors; 6 - fruit rounds subjected to processing; 7 - mass transducer for the product; 8 - drying chamber; 9 - SHF generator; 10 - product support; 11, 12 - outlet air temperature and humidity sensors; 13 - computer.

Figure 1. Technological scheme of the experimental plant developed for fruit drying.

Pentru realizarea cercetărilor și pentru estimarea eficienței aplicării instalației elaborate, fructele pentru uscare au fost tăiate în rondele de diferite grosimi: 2,4,6,8,10 mm și au fost prelucrate pentru comparație, atât după tehnologia clasică de uscare, cât și după tehnologia propusă – cu aplicarea tratării cu SHF.

Pentru uscarea fructelor în baza instalației elaborate, cu aplicarea convecției, se utilizează ventilatorul 1, care antrenează getul de aer prin schimbătorul de căldură 2, spre camera de uscare 8, în care este amplasat produsul pentru prelucrare 6, care apoi iese împreună cu vaporii de umiditate prin hota de evacuare.

Pentru uscarea cu aplicarea SHF, se utilizează ventilatorul 1, care antrenează aerul pe aceeași cale și se conectează generatorul 9, pentru tratarea fructelor cu SHF.

Pentru monitorizarea procesului de uscare se conectează calculatorul 13, și softul specializat IgiCOM&UT Dryer-V.2.0 care este în conexiune

cu senzorii de viteză a aerului, temperatură a aerului, umiditate, masă 3, 4, 5, 7, 11, 12.

În cercetarea procesului de uscare a fructelor, pentru fiecare metodă aplicată, au fost examinați următorii parametri: viteza procesului de uscare, timpul de prelucrare termică, consumul de energie electrică și calitatea rondelelor de fructe uscate.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Așadar, cercetând procesul de uscare a fructelor, în baza instalației experimentale elaborate, s-a constatat că, pentru a crește eficiența procesului, este necesar de a majora rata de difuzie a umidității din produs în timpul tratării termice.

Acest fapt s-a dovedit de a fi posibil numai prin înlocuirea aportului de căldură din exterior pe unul din interior, iar acest mecanism a fost posibil de fi realizat prin aplicarea tratării cu SHF în mișcare rectilinie uniformă.

S-a observat, îndeosebi, că, eficiența procesului este într-o strânsă dependență de durata prelucrării tehnologice, care la rândul său depinde de metoda aplicată și de intensivitatea parametrilor de tratare termică.

În figura 2 se prezintă ca exemplu, curbele reducerii umidității în procesul de uscare a fructelor tăiate în rondele cu grosimea optimală de

4 mm, cu aplicarea metodei clasice, pentru 5 regimuri selectate, din seria celor examinate.

Analizînd curbele de uscare a fructelor prin metoda clasică, pentru diferite regimuri de uscare, s-a observat o scădere uniformă a umidității în timp, iar durata scăderii umidității de la valoarea inițială de $90 \pm 0,1\%$, până la cea finală de $18 \pm 0,1\%$, variază în funcție de regimul termic.

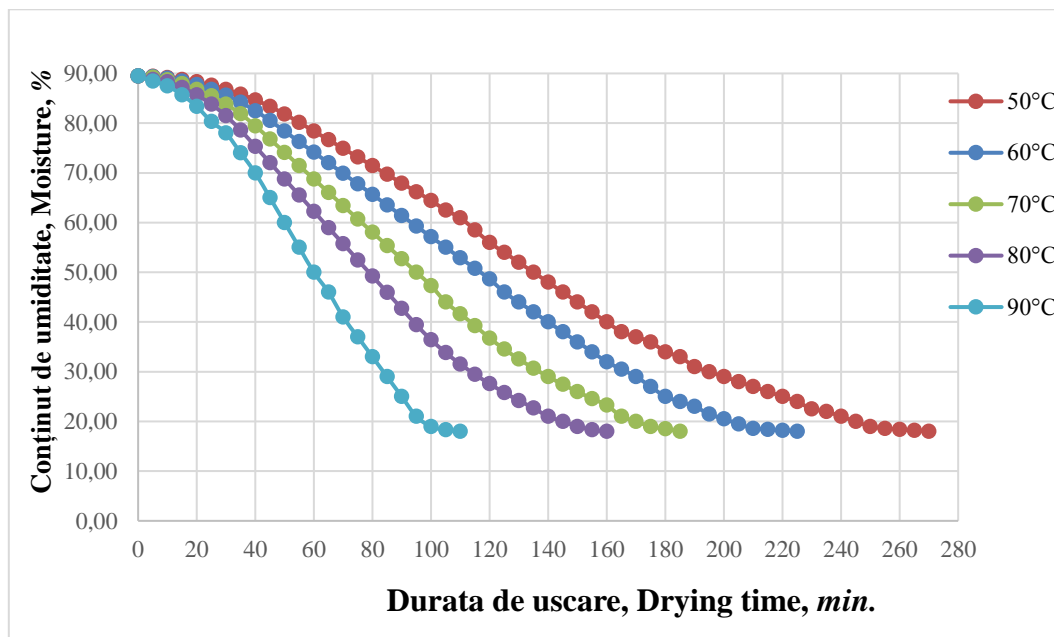


Figura 2. Curbele de uscare a fructelor prin metoda clasică.
Figure 2. Fruit drying curves by the classical method.

Astfel, ca exemplu, pentru grosimea optimală a rondelei de 4 mm și umiditatea inițială a fructelor $90 \pm 0,1\%$ s-a constatat că: pentru temperatura de 50°C – durata de uscare este de 271 minute, pentru temperatura de 60°C – durata de uscare este de 227 minute, pentru temperatura de 70°C – durata de uscare este de 186 minute, pentru temperatura de 80°C – durata de uscare este de 160 minute, iar pentru temperatura de 90°C – durata de uscare a constituit 111 minute.

Așadar, la uscarea prin metoda clasică, conform curbelor de scădere a umidității, s-a observat că durata de uscare este invers proporțională cu temperatura regimului și variază în limitele 111 minute și 271 minute, iar viteza de uscare variază între $0,1\%/minut$ și $0,6\%/minut$.

În figura 3 se prezintă, curbele reducerii umidității în procesul de uscare a fructelor tăiate în rondele cu grosimea optimală de 4 mm, cu aplicarea metodei propuse de tratare cu SHF în mișcare rectilinie uniformă, pentru 5 regimuri selectate, din seria celor examinate.

Analizînd curbele de uscare prin metoda propusă, s-a constatat că, durata scăderii umidității fructelor de la cea inițială de $90 \pm 0,1\%$, până la cea finală de $18 \pm 0,1\%$, depinde de regimul de tartare în felul următor: pentru 360W – durata de uscare a este de 80 minute, pentru 315W – 120 minute, pentru 270W – 161 minute, pentru 225W – 201 minute, iar pentru 180W - 260 minute.

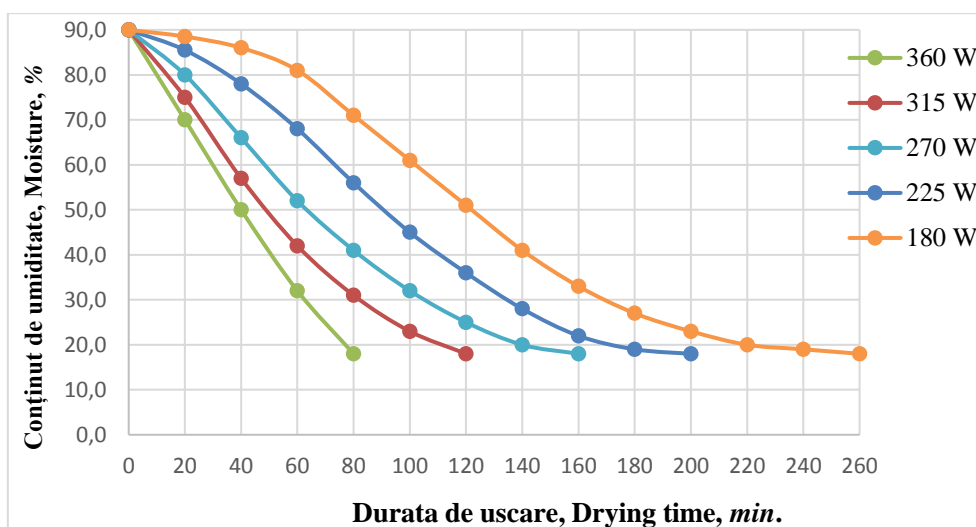


Figura 3. Curbele de uscare a fructelor prin metoda propusă.
Figure 3. Fruit drying curves by the proposed method.

Astfel, la uscarea prin tratarea cu SHF în mișcare rectilinie uniformă, conform curbelor de scădere a umidității, s-a observat că durata de uscare este invers proporțională cu puterea sursei și variază în limitele 80 minute și 260 minute, iar viteza de uscare variază între 0,2 %/minut și 0,8 %/minut.

Totodată, s-a stabilit că, utilizând metoda clasică, pentru uscarea fructelor tăiate în rondele cu grosimea optimală de 4 mm, la o viteză optimală a aerului de 2,0 m/s, consumul de energie electrică variază între 0,61-1,12 kWh, în dependență de tipul fructelor și umiditatea acestora, iar cu aplicarea metodei de tratare cu SHF în mișcare rectilinie uniformă, consumul variază între 0,36-0,77 kWh.

Consumul ridicat de energie electrică, la uscarea prin metoda clasică, în raport cu aplicarea metodei propuse, are loc din cauza utilizării ineficiente a sursei de tratare termică, care necesită o putere mai ridicată și un timp mai mare pentru uscarea fructelor pînă la umiditatea optimală.

Așadar, datorită eficientizării procesului, cu sporirea eficienței acțiunii sursei de tratare termică și reducerea duratei de prelucrare, consumul de energie electrică la uscarea fructelor cu aplicarea tratării cu SHF în mișcare rectilinie uniformă, este în mediu cu 32% mai mic, față de cel al metodei clasice, iar acest fapt permite reducerea semnificativă a cheltuielilor de prelucrare tehnologică și a costului produselor procesate.

Reducerea consumului de energie electrică, în baza metodei propuse pentru uscarea fructelor, se datorează utilizării eficiente a sursei de

încălzire la tratarea termică, grație prelucrării rondelor în mișcare rectilinie uniformă, care permite eficientizarea acțiunii agentului de tratare, cu sporirea gradului de uniformitate a uscării, creșterea vitezei și reducerea duratei procesului.

În afară de aceasta, soluționarea acestei probleme, privind sporirea eficienței acțiunii agentului de prelucrare termică și creșterea gradului de tratare uniformă, a fost posibilă și prin poziționarea oportună a generatorului SHF în partea de sus a camerei de procesare, cu stabilirea coordonatelor poziției de amplasare eficientă, în corelație cu asigurarea temperaturii și încălzirii uniforme în fiecare punct al produsului supus prelucrării termice:

$$T(x, y, z)|_{y=0} = T_0 \tag{1}$$

$$\left. \frac{\partial T^{(x,y,z)}}{\partial x} \right|_{x=\pm R} \rightarrow \tag{2}$$

$$= \mp \frac{\varphi}{\alpha_{sp}} (T_s - T_p) \Big|_{x=R}$$

$$\left. \frac{\partial T^{(x,y,z)}}{\partial z} \right|_{z=0,l} \rightarrow \tag{3}$$

$$= \mp \frac{\varphi}{\lambda_{sp}} (T_s - T_p) \Big|_{z=0;l}$$

unde:

– T_0 – temperatura produsului înainte de al supune prelucrării, °C;

- T_s – temperatura la suprafața produsului în timpul prelucrării, °C;
- T_p – temperatura în interiorul produsului supus prelucrării, °C.

Totodată, pentru analiza calității, fructele uscate prin metoda clasică și cele uscate după metoda propusă cu aplicarea tratării cu SHF în mișcare rectilinie uniformă, au fost examinate din punct de vedere al rigorilor impuse pentru

utilizare spre consum și cerințelor pieței pentru realizare și comercializare consumatorilor.

Astfel, fructele au fost examinate din punct de vedere a următorilor indicatori: aspectul rondelelor, culoare, miros, gust.

În Figura 4 se reprezintă analiza calității rondelelor de fructe uscate prin metoda clasică, iar în figura 5 – analiza calității rondelelor de fructe uscate prin metoda propusă.



Figura 4. Analiza calității rondelelor de fructe uscate prin metoda clasică.
Figure 4. Analysis of the quality of dried fruit slices by the classical method.



Figura 5. Analiza calității rondelelor de fructe uscate prin metoda propusă.
Figure 5. Analysis of the quality of dried fruit slices using the proposed method.

Analizând calitatea fructelor uscate prin ambele metode aplicate, s-a observat că, rondelele de fructe uscate prin metoda propusă cu aplicarea tratării cu SHF în mișcare rectilinie uniformă, au calitate mai ridicată față de cele uscate prin metoda clasică, din punct de vedere al cerințelor impuse de piață și necesitățile clienților pentru comercializare și consum, cum ar fi: aspectul rondelelor, culoare, miros și gust.

Așadar, rezultatele cercetărilor efectuate au confirmat că, utilizarea instalației experimentale elaborate pentru uscarea fructelor

cu aplicarea tratării cu SHF în mișcare rectilinie uniformă, sporește gradul de uniformitate a tratării, crește viteza procesului și reduce durata de prelucrare termică, contribuind la creșterea productivității și a calității produselor procesate.

Mai mult decât atât, la uscarea fructelor cu aplicarea metodei propuse, consumul de energie electrică se reduce cu circa 32% față de metoda clasică de uscare, fapt ce permite reducerea cheltuielilor de prelucrare tehnologică și a costurilor produselor pentru comercializare consumatorilor.

Totodată, instalația elaborată este simplă din punct vedere constructiv, este ușor de utilizat, are cost redus, oferă posibilitatea prelucrării în flux tehnologic, cu monitorizarea riguroasă a parametrilor tehnologici și automatizarea procesului, iar pe durata cercetărilor a demonstrat un nivel înalt de siguranță în funcționare.

CONCLUZII

În baza analizei rezultatelor cercetărilor realizate și examinând procesul de uscare a fructelor cu aplicarea instalației experimentale elaborate, s-a constatat că, pentru a spori eficiența procesului, este necesar de a majora rata de difuzie a umidității din produs în timpul prelucrării tehnologice, iar acest fapt a fost posibil numai prin înlocuirea aportului de energie din exterior pe unul din interior, aplicând tratarea cu SHF în mișcare rectilinie uniformă.

Astfel, rezultatele cercetărilor au demonstrat că instalația elaborată pentru uscarea fructelor cu aplicarea metodei propuse, permite: creșterea vitezei de uscare, reducerea duratei procesului, creșterea gradului de uniformitate a tratării și a calității produselor procesate, pentru toate cele 3 tipuri de fructe examinate: piersici, pere și mere.

Așadar, datorită eficientizării procesului, la uscarea fructelor cu aplicarea metodei de tratare cu SHF în mișcare rectilinie uniformă, consumul de energie electrică se reduce cu circa 32% comparativ cu uscarea după metoda clasică, fapt ce permite reducerea cheltuielilor de prelucrare tehnologică și a costurilor produselor pentru comercializarea ulterioară consumatorilor.

Mai mult decât atât, instalația elaborată este simplă din punct vedere constructiv, este ușor de utilizat, are cost redus și oferă posibilitatea monitorizării riguroase a parametrilor tehnologici, cu automatizarea procesului de prelucrare în flux, iar pe durata cercetărilor a demonstrat un nivel înalt de siguranță în funcționare.

BIBLIOGRAFIE (REFERENCES)

[1] 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.

[2] 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.

[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] Doymaz I. Air-drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 2007, nr. 78, pp. 1291–1297.

[6] 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.

[7] 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.

[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] Ranjbaran M., și Zare D. Simulation of Energetic and Exergetic Performance of Microwave-Assisted Fluidized Bed Drying of Soybeans. *Energy*, 2013, vol. 59, pp. 484–493, doi: 10.1016/j.energy.2013.06.057.

[15] Askarishahi M., Maus M., Schröder D., Slade D., Martinetz M., Jajcevic D. Mechanistic Modelling of Fluid Bed Granulation. *International Journal of Pharmaceutics*, 2020, vol. 573, pp. 8837-8845, doi: 10.1016/j.ijpharm.2019.118837.

[16] Kaensup W., Wongwises S., Chutima S. Drying of Pepper Seeds Using a Combined Microwave/Fluidized Bed Dryer. *Drying Technology*, 1998, vol. 16, nr. 3–5, pp. 853–862, doi: 10.1080/07373939808917440.

- [17] Jittanit W., Srzednicki G., Driscoll R., Seed Drying in Fluidized and Spouted Bed Dryers. *Drying Technology*, 2010, vol. 28, nr. 10, pp. 1213–1219, doi: 10.1080/07373937.2010.483048.
- [18] Tsuji Y., Kawaguchi T., Tanaka T. Discrete Particle Simulation of Two-Dimensional Fluidized Bed. *Powder Technology*, 1993, vol. 77, nr. 1, pp. 79–87, doi: 10.1016/0032-5910(93)85010-7.
- [19] Roberts J., Kidd D., Padilla-Zakour o. Drying Kinetics of Grape Seeds. *Journal of Food Engineering*, 2008, vol. 89, nr. 4, pp. 460–465, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.05.030.
- [20] Kaya A., Aydın O. An Experimental Study on Drying Kinetics of Some Herbal Leaves. *Energy Conversion and Management*, 2010, nr. 50, pp. 118–124.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] Jin G., Zhang M., Fang Z., Cui Z., Song C. Numerical Investigation on Effect of Food Particle Mass on Spout Elevation of a Gas–Particle Spout Fluidized Bed in a Microwave–Vacuum Dryer. *Drying Technology*, 2015, vol. 33, nr. 5, pp. 591–604, doi: 10.1080/07373937.2014.965317.
- [24] Lane W., Storlie C., Montgomery C., Ryan E. Numerical Modeling and Uncertainty Quantification of a Bubbling Fluidized Bed with Immersed Horizontal Tubes. *Powder Technology*, 2014, vol. 253, pp. 733–743, doi: 10.1016.2013.11.037.
- [25] 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.
- [26] Doymaz I. Drying Kinetics of Black Grapes Treated with Different Solutions. *Journal of Food Engineering*, 2006, nr.76, pp. 212–217.
- [27] Goksu E., Sumnu G., Esin A. Effect of Microwave on Fluidized Bed Drying of Macaroni Beads. *Journal of Food Engineering*, 2005, nr. 66, pp. 463–468.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] Syahrul S., Hamdullahpur F., Dincer I. Thermal Analysis in Fluidized Bed Drying of Moist Particles. *Applied Thermal Engineering*, 2002, vol. 22, nr. 15, pp. 1763–1775, doi: 10.1016/S1359-4311(02)00079-0.
- [33] Matsen J., Hovmand S., Davidson J. Expansion of Fluidized Beds in Slug Flow. *Chemical Engineering Science*, 1969, vol. 24, nr. 12, pp. 1743–1754, doi: 10.1016/0009-2509(69)87018-1.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] 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.
- [38] Kaya A., Aydın O. An Experimental Study on Drying Kinetics of Some Herbal Leaves. *Energy Conversion and Management*, 2009, nr. 50, pp. 118–124.
- [39] Kaya A., Aydın O., Demirtaş C. Drying Kinetics of Red Delicious Apple. *Biosystems Engineering*, 2007, nr. 96, pp. 517–524.
- [40] Kouchakzadeh A., Shafeei S. Modeling of Microwaveconvective Drying of Pistachios. *Energy Conversion and Management*, 2010, nr. 51, pp. 2012–2015.
- [41] 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.
- [42] 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.
- [43] 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.
- [44] 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.
- [45] Singh K. Development of a small capacity dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering*, 1994, nr. 21, pp. 19–30.

[46] Castrica M., Rebucci 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, Departamentul 2 – Electricizarea agriculturii, mecanică și bazele proiectării, Facultatea de Inginerie agrară și transport auto, Universitatea Agrară de Stat din Moldova. Domeniul de activitate științifică îl constituie identificarea căilor de asigurare a fiabilității sistemelor și perfecționarea tehnologiilor și utilajelor din sectorul agroindustrial.
E-mail: vspopescu@mail.ru



Tîrșu Mihai Ștefan. Institutul de energetică, Doctor în tehnică. Interesele sale de cercetare se referă la elaborarea scenariilor de interconectare a sistemului electroenergetic al Moldovei la ENTSO-E, a măsurilor de fortificare și dezvoltare a sistemului energetic, utilizarea și integrarea SER, elaborarea echipamentelor inovative de dirijare și control a fluxurilor de putere, eficiența energetică etc.
tirsu.mihai@gmail.com



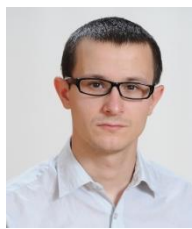
Țislinscaia Natalia Ion. Doctor în științe tehnice, conferențiar universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei. Domeniul de activitate științifică îl constituie identificarea căilor de sporire a eficienței proceselor de prelucrare și perfecționarea tehnologiilor și utilajelor din industria alimentară.
E-mail: natalia.tislinscaia@pmai.utm.md



Vișanu Vitali Valeriu. Doctorand, Universitatea Tehnică a Moldovei. Domeniul de activitate științifică îl constituie perfecționarea tehnologiilor și utilajelor de prelucrare primară și păstrare a produselor agroalimentare de origine vegetală.
E-mail: isanuvitali@mail.ru



Balan Mihail Mihail. Doctorand, Universitatea Tehnică a Moldovei. Domeniul de activitate științifică îl constituie perfecționarea tehnologiilor și utilajelor de prelucrare primară a produselor agroalimentare de formă granulară.
E-mail: balanmihail.utm@mail.ru



Melenciuc Mihail Gheorghe. Doctorand, Universitatea Tehnică a Moldovei. Domeniul de activitate științifică îl constituie perfecționarea tehnologiilor și utilajelor de prelucrare și păstrare a produselor agroalimentare.
E-mail: mihail.melenciuc@pmai.utm.md