

Energy-Efficient Modes of Dehydration of Pome Fruits during Microwave Treatment in Combination with Convection

Popescu V., Vișanu V., Balan M., Melenciuc M., Volconovici O., Balan T.

Technical University of Moldova

Chisinau, Republic of Moldova

Abstract. The aim of the work is to significantly increase the efficiency of the dehydrating process of fruits with seeds, by treating it with microwaves in combination with convection. To achieve the purpose, an electrical installation was designed, produced, tested, optimized and implemented, which applies the combined technological treatment method in the dehydration process. Pears were selected as the object of the research in particular, because currently the production of these seeded fruits is not fully exploited, but they are of an increased interest for the agricultural producers and for specialized enterprises, and their dehydration by the methods currently used is difficult, especially because of the browning effect that occurs in the heat treatment process. The essential results obtained based on the research carried out, regarding the application of the elaborated installation, are: reduction of electricity consumption and treatment duration, increase in productivity and quality of dehydrated fruits. At the same time, the developed installation is simple in construction, has low cost and is easy to use, and during fruit processing it allows strict monitoring of the technological parameters, and researches demonstrated a high level of safety in operation. The significance of the obtained results lies in the solution to a series of problems, which are currently faced by the enterprises specialized in fruit processing, in particular by significantly increasing the efficiency of the process of dehydration of pears, based on the proposed method of combined treatment, predominantly with increasing the speed of dehydration, energy efficiency, quality of final products and profitability.

Keywords: electrical installation, dehydration process, fruit with seeds, energy efficiency, microwave, convection.

DOI: <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2023.3-59.09>

UDC: 664.8.047.38:634.25

Regimurile energoeficiente de deshidratare a fructelor cu semințe prin tratarea cu microunde în combinație cu convecția

Popescu V., Vișanu V., Balan M., Melenciuc M., Volconovici O., Balan T.

Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Rezumat. Scopul lucrării constă în determinarea regimurilor eficienți ai procesului de deshidratare a fructelor cu semințe, prin tratarea cu microunde în combinație cu convecția. Pentru atingerea scopului propus, a fost proiectată, elaborată, testată, optimizată și implementată o instalație electrică, care aplică în procesul de deshidratare, anume procedeul de tratare tehnologică, care combină microundele și convecția. Au fost selectate în calitate de obiect al cercetărilor în mod special perele, deoarece, actualmente, producția de aceste fructe semințoase nu este valorificată pe deplin, dar ele totuși prezintă un interes sporit pentru producătorii agricoli și pentru întreprinderile din industria de procesare, iar deshidratarea lor prin metodele utilizate în prezent este dificilă, îndeosebi din cauza efectului de brunificare, care apare frecvent în procesul de tratare termică. Rezultatele esențiale obținute în baza cercetărilor realizate, privind aplicarea instalației elaborate la deshidratare perelor, sunt: reducerea consumului de energie electrică și a duratei de tratare termică, creșterea productivității și a calității fructelor deshidratate. Instalația elaborată este simplă din punct vedere constructiv, are cost redus și este ușor de utilizat, iar la procesarea fructelor permite monitorizarea strictă a parametrilor tehnologici și pe durata cercetărilor a demonstrat un nivel înalt de siguranță în funcționare. Semnificația rezultatelor obținute constă în soluționarea la o serie de probleme, cu care se confruntă actualmente întreprinderile specializate în prelucrarea fructelor, în deosebi privind creșterea semnificativă a eficienței procesului de deshidratare a perelor, în baza procedeului propus de tratare combinată, preponderent cu sporirea vitezei de deshidratare, a eficienței energetice, a calității produselor finite și a rentabilității.

Cuvinte-cheie: instalație electrică, proces de deshidratare, fructe cu semințe, eficiență energetică, microunde, convecție.

Энергоэффективные режимы обезвоживания семечковых плодов при обработке СВЧ в сочетании с конвекцией

Попеску В., Вишану В., Балан М., Меленчук М., Волконович О., Балан Т.

Технический университет Молдовы

Кишинев, Республика Молдова

Аннотация. Целью данной работы является значительное повышение эффективности процесса обезвоживания плодов с семенами, путем обработки их микроволнами в сочетании с конвекцией. Для достижения поставленной цели была спроектирована, разработана, испытана, оптимизирована и внедрена электроустановка, применяемая в процессе обезвоживания фруктов, а именно метод технологической обработки, сочетающий микроволны и конвекцию. В качестве объекта исследования были выбраны именно груши, так как, на данный момент, производство этих семечковых плодов освоено не в полной мере, но они по-прежнему представляют повышенный интерес для сельхозпроизводителей и для специализированных предприятий в области перерабатывающей промышленности фруктов, и их сушка используемыми в настоящее время способами затруднена и проблематична из-за неблагоприятных эффектов, которые часто возникают в процессе термической обработки, особенно эффекта потемнения, который неизбежно возникает в процессе. Существенными результатами, полученными на основе проведенных исследований по применению разработанной установки для сушки груши, являются: снижение энергозатрат и продолжительности термической обработки, повышение производительности и качества сушеных плодов. При этом разработанная установка проста с конструктивной точки зрения, имеет невысокую стоимость и удобна в эксплуатации, а при переработке плодов позволяет строго контролировать технологические параметры и в ходе исследований показала высокий уровень безопасности при использовании. Значимость результатов, полученных на основе проведенных исследований, заключается в решении ряда насущных проблем, с которыми в настоящее время сталкиваются специализированные предприятия в области переработки фруктов, особенно в части значительного повышения эффективности процесса обезвоживания плодов с семенами, на основе предлагаемого метода обработки путем сочетания микроволн и конвекции, что в основном повышает скорость обезвоживания, энергоэффективность, качество готовой продукции и рентабельность.

Ключевые слова: электроустановка, процесс обезвоживания, фрукты с семенами, энергоэффективность, микроволны, конвекция.

Introducere

În prezent, instalațiile de deshidratare a produselor agricole sunt bazate pe tehnologii cu eficiență scăzută, care necesită în prim plan un timp îndelungat pentru tratarea termică.

Acest fapt influențează negativ asupra calității produselor finite și contribuie nemijlocit la sporirea consumului de energie electrică. Astfel, pentru eficientizarea procesului de deshidratare, este nevoie ca în cadrul întreprinderilor specializate din domeniul industriei de procesare a produselor agricole, de implementat instalații bazate pe noi metode de prelucrare tehnologică [4-8, 12-14, 21-24, 28, 37].

Trebuie de menționat faptul că perfecționarea instalațiilor de procesare, tot timpul a fost în vizorul cercetătorilor din domeniu, atât din țară cât și din străinătate, iar problemele țintite mereu au fost creșterea productivității, a calității produselor finite, a eficienței energetice, a simplității constructive, a siguranței de funcționare a utilajului, etc.

Toate aceste probleme descrise au rămas încă nesoluționate definitiv și sunt și în prezent abordate în multe exemple de studiu și în

literatura de specialitate [10-12, 17-22, 29-33, 35-36]

Problemele menționate se evidențiază în cazul deshidratării în rondele a fructelor semănțoase cu conținut bogat în fier, cum sunt și perele, deoarece viteza redusă și durata mare a procesului, în baza metodelor de tratare aplicate la moment, provoacă efecte adverse, cum este brunificarea, preponderent cu oxidarea stratului superficial și reducerea calității produselor finite [2-5, 23-27, 30-34].

După cum remarcă mulți savanți din domeniu respectiv, creșterea vitezei de deshidratare și reducerea duratei procesului de prelucrare tehnologică, nemijlocit împiedică apariția efectelor adverse, care afectează calitatea produselor finite [1-3, 7-9, 11-13, 15-18].

Studiile efectuate până acum nu au evaluat în mod suficient eficiența procesului, privind performanțele sau avantajele și dezavantajele uscării fructelor semănțoase în rondele, cu combinarea convecției și a microundelor, cu atât mai mult nu a fost abordat exemplul perelor, care sunt extrem de sensibile, atât la procesul de prelucrare, cât și cel de păstrare. Îndeosebi nu sunt studiate particularitățile de procesare tehnologică

a acestor fructe prin metoda propusă și nu sunt stabilite regimurile eficiente de tratare, cu indicarea parametrilor tehnologici optimali pentru asigurarea calității rondelor de fructe prelucrate [26-29, 32-36].

În primul rând, cercetările realizate până la moment, au scos în evidență unele contradicții cu referire la indicatorii de calitate a rondelor de fructe uscate prin diverse metode. Unii cercetători afirmă că fructele deshidratate prin convecție au calitate mai ridicată față de cele procesate prin tratarea cu microunde, însă alții remarcă că la convecție predomină frecvent efectele adverse precum carbonizarea, în cazul creșterii temperaturii pentru sporirea vitezei procesului și pentru reducerea efectului de oxidare a substratului, iar la microunde procesul de deshidratare la viteze mari se transformă în preferbere [22-24, 31-34]. Din acest punct de vedere nu se asigură indicatorii de calitate, conform cerințelor impuse de piață și necesitățile consumatorilor cu referire la proprietățile organoleptice corespunzătoare pentru comercializare și consum, cum ar fi: aspectul rondelor, culoare, miros și gust.

Astfel, după cum remarcă mulți savanți din domeniu respectiv, creșterea eficienței procesului de deshidratare a fructelor, poate fi realizată numai prin studii ample, din punct de vedere cantitativ și calitativ, în vederea eficientizării procesului, ceea ce ar permite evitarea efectelor adverse, sporind astfel calitatea produselor finite [14-18, 30-32, 34-36].

Așadar, cercetările realizate în cazul acestei lucrări au fost focusate spre atingerea scopului de identificare a soluțiilor cu privire la sporirea eficienței procesului de deshidratare a diferitor specii de fructe sensibile și cu dificultăți la prelucrare, cum sunt ca exemplu perele în cazul respectiv, selectate ca obiect de cercetare în acest studiu. Pentru atingerea acestui scop a fost proiectată, elaborată, testată și implementată o instalație experimentală pentru uscarea perelor în runde, cu aplicarea tratării prin combinarea microundelor și a convecției, în baza căreia au fost realizate cercetările și au fost stabilite regimurile optime de tratare tehnologică.

Instalația experimentală a fost elaborată ca rezultat al colaborării dintre cercetătorii din cadrul Departamentelor Inginerie electrică, Ingineria fabricației și Inginerie mecanică, a Universității Tehnice a Moldovei, preocupați de problemele descrise în realizarea cercetărilor comune în direcția identificării soluțiilor privind eficientizarea procesului de deshidratare a

fructelor cu sensibilitate mare și cu dificultăți la procesare.

Cercetările au fost realizate pe exemplul mai multor specii pomicole de fructe semănțoase, însă preocupările principale, după cum s-a evidențiat, au fost axate pe exemplul perelor, deoarece aceste fructe la moment prezintă interes și după cum s-a menționat, sunt mult mai sensibile la prelucrare, iar în procesul de deshidratare prin metodele aplicate tradițional, apar inevitabil efecte adverse care reduc considerabil calitatea, cum este ca exemplu frecvent anume efectul de brunificare.

Rezultatele obținute în baza instalației elaborate, au demonstrat că, aplicarea metodei propuse cu combinarea convecției și a microundelor la deshidratarea perelor în runde, permite: creșterea vitezei deshidratării, micșorarea timpului de prelucrare tehnologică, sporirea eficienței energetice, creșterea calității rondelor de fructe ca produse finite și reducerea costurilor de procesare.

Atingerea acestor rezultate a fost posibilă prin sporirea eficienței procesului de tratare tehnologică, cu majorarea ratei de evacuare a umidității din produs în timpul tratării termice, prin intensificarea aportului de încălzire a produsului, atât din interior, cât și din exterior, prin aplicarea tratării cu microunde în combinație cu convecția. Acest fapt a permis de a crește esențial viteza deshidratării și de a reduce semnificativ durata prelucrării termice, cu asigurarea temperaturii și încălzirii uniforme în fiecare punct al zonei de tratare și prevenirea efectelor adverse.

Mai mult decât atât, instalația propusă de autori este simplă constructiv, are cost redus și se utilizează ușor.

Totodată, instalația permite monitorizarea riguroasă a parametrilor tehnologici ai procesului, iar pe parcursul cercetărilor realizate, atât în condiții de laborator, cât și în condiții reale la implementarea în cadrul unei întreprinderi specializate din domeniul, a demonstrat un nivel înalt de siguranță în funcționare.

Astfel, se poate de evidențiat faptul, că rezultatele obținute în baza cercetărilor efectuate, au contribuit nemijlocit la soluționarea unor probleme actuale stringente, cu care se confruntă întreprinderile din domeniul industriei produselor agricole, prin sporirea eficienței procesului de deshidratare în runde a fructelor de specii pomicole sensibile cum sunt perele, preponderent cu creșterea eficienței energetice, micșorarea

cheltuielilor de procesare și creșterea calității produselor finite.

MATERIALE ȘI METODE

În această lucrare, metodologia de cercetare este bazată pe metode standard de analiză și studiu.

Inițial, seriile de experimente realizate la primele etape ale cercetărilor, au fost efectuate în condiții de laborator, iar ulterior au fost continuate în condiții reale, în cadrul unei întreprinderi specializate, pentru a estima eficiența instalației elaborate privind implementarea ei în practică.

Așadar, seriile de experimente privind cercetarea procesului de deshidratare au fost realizate în baza instalației experimentale elaborate, care este prezentată în figura 1.

Această instalație experimentală elaborată de autori, oferă posibilitatea de a cerceta procesul de deshidratare a fructelor atât după metoda clasică, cât și după metoda propusă – cu aplicarea tratării prin combinarea microundelor și a convecției.

Pentru a monitoriza toți parametrii tehnologici caracteristici procesului de deshidratare a fructelor semințoase, la instalația elaborată este prevăzută conexiunea la calculator, care aplică softul specializat IgiCOM&UTDryer-V.2.0.2, pentru înregistrarea și prelucrarea datelor experimentale.



1 - blocul convectiv; 2 - blocul de microunde.

Figura 1. Instalația experimentală elaborată pentru cercetarea procesului de deshidratare a fructelor cu semințe.

1 - the convective block; 2 - the microwave block.

Fig. 1. The experimental plant developed for the research of the process of dehydration of fruits with seeds.

Astfel, calculatorul conectat la instalație, recepționează și prelucrează informația primită de la transductoarele instalației, care monitorizează parametrii procesului tehnologic.

În calitate de obiect al cercetărilor au fost selectate anume perele, deoarece după cum s-a menționat, aceste fructe semințoase sunt extrem de sensibile la procesul de deshidratare, cauzând apariția efectelor adverse cum este brunificarea, iar la momentul actual ele prezintă interes pentru mulți producători agricoli și pentru întreprinderile specializate din domeniul industriei prelucrătoare.

La efectuarea experimentelor, perele supuse deshidratării au fost tăiate în runde cu diverse grosimi în diapazonul 2-10 mm și au fost deshidratate pentru comparație, atât după metoda clasică, cât și după metoda propusă – cu aplicarea tratării prin combinarea microundelor și a convecției, iar fructele au fost supuse procesului de deshidratare de la valoarea maximală inițială de $89 \pm 0,5\%$, până la cea finală minimală de $19\% \pm 0,5\%$, stabilită ca optimală pentru păstrare și comercializare.

Așadar, pentru fiecare metodă examinată, au fost urmăriți următorii parametri: viteza deshidratării, timpul de procesare tehnologică, consumul de energie electrică și calitatea produselor finite.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Astfel, în baza experimentelor realizate, s-a constatat că, pentru a crește viteza deshidratării și pentru a reduce durata prelucrării fructelor, este necesar de a spori rata de evacuare a umidității din produs în timpul procesării tehnologice. Acest fapt s-a dovedit de a fi posibil doar prin intensificarea aportului de încălzire a produsului, atât din interior, cât și din exterior, iar acest mecanism a fost posibil numai prin aplicarea tratării cu microunde în combinație cu convecția.

Astfel, pentru stabilirea parametrilor tehnologici optimali ai procesului cu eficiență maximă, s-a examinat procesul de deshidratare a perelor cu aplicarea metodei clasice și a celei propuse, realizându-se multiple serii de experimente repetate, efectuate pentru: diferite regimuri de temperatură ale aerului în diapazonul 30-90°C, diferite viteze ale aerului în diapazonul

0,5-3,0 m/s, diferite grosimi ale rondelilor în diapazonul 2-10 mm și diferite regimuri ale microundelor 50-500 W.

În timpul experimentelor realizate, s-a evidențiat faptul, că, eficiența prelucrării și calitatea produselor finite sunt într-o strânsă dependență de viteza deshidratării și durata procesării, care la rândul lor depind de procedeul de deshidratare aplicat și de intensitatea parametrilor tehnologici.

Așadar, în figura 2 se prezintă, curbele de viteză a deshidratării prin metoda clasică, pentru perele cu grosimea optimă a rondelilor stabilită de 4 mm, la viteza optimă a aerului de 2,0 m/s, pentru 5 regimuri de temperatură selectate pentru exemplificare – 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C, din seria celor examinate.

Astfel, analizând cinetica deshidratării perelor prin metoda clasică, pentru diferite regimuri de temperatură, s-a observat o reducere uniformă a umidității în timp, iar durata deshidratării de la valoarea maximală inițială până la cea finală optimă, variază în funcție de regimul de temperatură examinat.

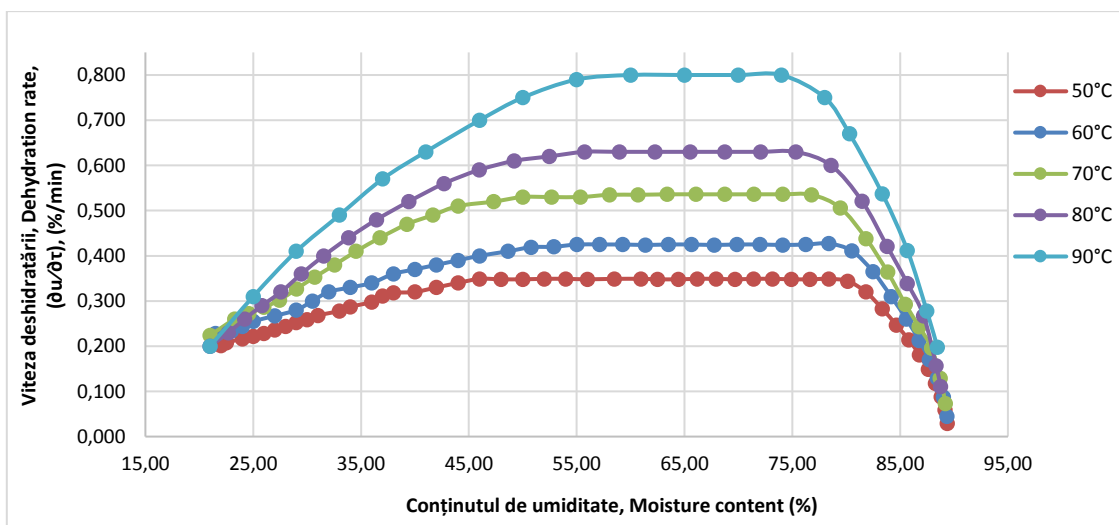


Figura 2. Curbele de viteză a deshidratării prin metoda clasică.
Fig. 2. Dehydration velocity curves by the classical method.

Ca exemplu, pentru grosimea optimă a rondelii stabilită de 4 mm s-a observat că: pentru regimul termic de 50°C – durata deshidratării este de 259 minute, pentru regimul cu intensitatea de 60°C – durata deshidratării este de 216 minute, pentru regimul de 70°C – durata este 173 minute, pentru 80°C – durata este 152 minute și respectiv

pentru regimul cu intensitatea maximă de 90°C – durata deshidratării este 108 minute.

În baza studiilor de cinetică realizate, s-a evidențiat faptul că durata deshidratării este invers proporțională cu intensitatea regimului termic și variază în limitele 108 minute și 259 minute.

În camera temperatura este uniformă. Mai mult ca atât, s-a observat că la viteze mici de

deshidratare pentru regimurile cu intensitate redusă și darata mai mare a procesării termice, apar efecte adverse evidente de brunificare, iar la creșterea vitezei deshidratării cu scopul de a combate efectul de brunificare, pentru regimurile cu intensitate sporită și cu durată mai mică de prelucrare, apar defecte pronunțate de carbonizare a stratului superficial al produsului și astfel nici un regim nu s-a evidențiat ca fiind eficient din punct de vedere a calității finale obținute, însă, se poate de menționat că rezultate mai satisfăcătoare obținându-se pentru regimul de 60°C.

Așadar, s-a confirmat că, la majorarea temperaturii pentru creșterea vitezei procesului și pentru evitarea efectului de brunificare, apare ca rezultat alt efect advers precum carbonizarea stratului superficial, fapt ce înrăutățește semnificativ calitatea produsului final.

Totodată, analizând procesul de uscare cu diferite viteze ale aerului în diapazonul 0,5-3,0 m/s, s-a confirmat că, odată cu creșterea vitezei aerului, crește și viteza de deshidratare, însă valoarea optimă a vitezei aerului pentru deshidratarea eficientă, constituie 2,0 m/s, pentru că la viteze mai mari, are loc scăderea calității produselor prin deformarea rondelilor și totodată se reduce eficiența energetică a procesului, din cauza intensificării evacuării energiei termice din

camera de uscare odată cu evacuarea umidității din produse.

Examinând procesul de uscare pentru diferite grosimi ale rondelilor în diapazonul 2-10 mm, s-a confirmat că, cu cât grosimea rondelilor este mai redusă, crește viteza deshidratării și se reduce timpul de prelucrare tehnologică, însă grosimea optimă s-a dovedit a fi cea de 4 mm, pentru că la grosimea mai mică, are loc reducerea calității produselor și apariția reacțiilor adverse, precum preuscarea și carbonizarea stratului superficial.

Pentru identificarea soluțiilor privind ameliorarea problemelor mai sus menționate, la următoarele etape ale cercetărilor realizate, s-a examinat cinetica deshidratării perelor, cu aplicarea metodei propuse de tratare cu microunde în combinație cu convecția.

Așadar, în figura 3 se prezintă, ca exemplu, curbele de viteză a deshidratării perelor, cu aplicarea metodei propuse, pentru 5 regimuri selectate pentru exemplificare – 180W, 225W, 270W, 315W, 360W, din seria celor examinate în diapazonul 50-500W.

Ceilalți parametri tehnologici stabiliți ai procesului cu eficiența maximă în cazul dat au constituit: viteza optimă a aerului 2,0 m/s, temperatura optimă a aerului 60°C, grosimea optimă a rondelilor de 4 mm.

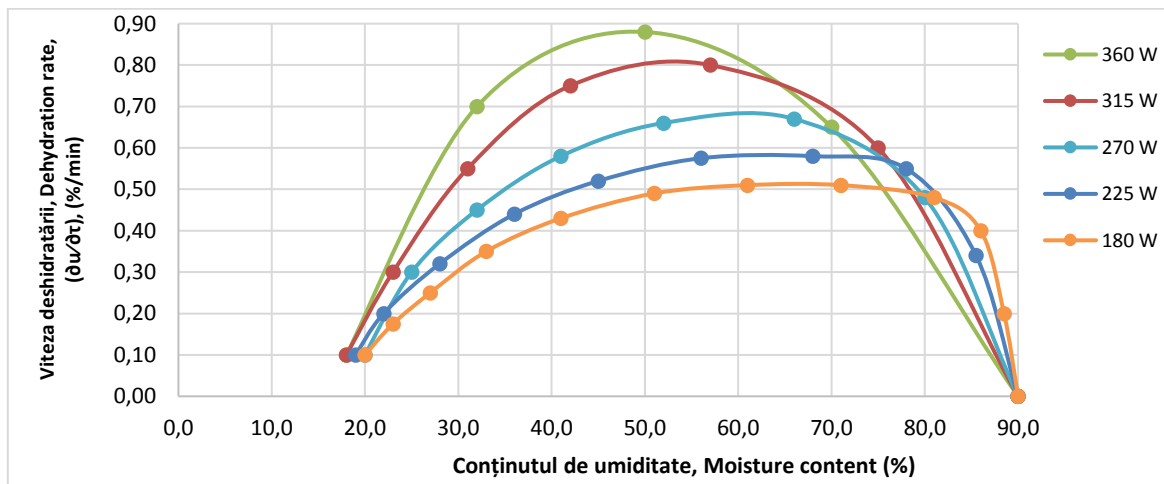


Figura 3. Curbele de viteză a deshidratării prin metoda propusă.
Fig. 3. Dehydration velocity curves by the proposed method.

Astfel, examinând cinetica deshidratării în baza metodei noi, s-a constatat că, durata deshidratării perelor de la umiditatea inițială de 89 ± 0,5%, până la cea finală de 19 ± 0,5%, depinde de regimul tehnologic de tratare în felul următor: pentru 360W – durata deshidratării este de 72

minute, pentru 315W – este 113 minute, pentru 270W – 152 minute, pentru 225W – este de 194 minute, iar pentru 180W - durata deshidratării este de 251 minute.

Așadar, la deshidratarea prin tratarea cu microunde în combinație cu convecția, conform

studiilor de cinetică realizate, s-a evidențiat faptul că durata deshidratării este invers proporțională cu intensitatea regimului și variază în diapazonul 72 și 251 de minute, fiind semnificativ mai mică față de metoda clasică, datorită sporirii vitezei deshidratării prin metoda propusă.

S-a observat că, la intensificarea regimului de tătare pentru creșterea vitezei procesului apar efecte adverse precum preferbarea și modificarea structurii poroase, fapt ce înrăutățește calitatea produsului final, iar regimul optim al microundelor pentru prelucrarea eficientă s-a stabilit că este 315 W.

Astfel, în urma realizării a mai multor serii de experimente și examinând mai multe regimuri pentru ambele metode de tratare, s-au stabilit regimurile cu eficiență maximă și parametrii tehnologici optimali ai procesului: grosimea optimală a rondelilor – 4 mm, viteza optimală a aerului – 2,0 m/s, temperatura optimală – 60°C, puterea optimală a microundelor – 315 W, durata optimală de procesare – 113 minute.

Mai mult decât atât, comparând consumul de energie electrică la deshidratarea perelor prin ambele metode examinate în baza instalației elaborate, s-a stabilit experimental, că, utilizând metoda clasică la uscarea probelor de fructe de la umiditatea inițială de $89 \pm 0,5\%$, până la cea finală de $19 \pm 0,5\%$, pentru regimul cu eficiență maximă (cu grosimea optimală a rondelilor de 4 mm, la o viteză optimală a aerului de 2,0 m/s și la temperatura optimală de 60°C), consumul de energie electrică este cu circa 37% mai mare ca și în cazul uscării aceluiași probe similare, cu aplicarea metodei de tratare propuse, pentru parametrii optimali stabiliți ai regimului cu eficiența maximă (grosimea optimală a rondelilor

– 4 mm, viteza optimală a aerului – 2,0 m/s, temperatura optimală – 60°C, puterea optimală a microundelor – 315 W).

Consumul mai redus de energie electrică, în cazul metodei propuse pentru uscarea fructelor, a fost confirmat de toate experimentele realizate și se datorează eficientizării procesului de tratare termică, cu sporirea ratei de evacuare a umidității din produs în timpul procesării tehnologice și prin intensificarea aportului de încălzire a produsului, atât din interior, cât și din exterior, datorită aplicării tratării cu microunde în combinație cu convecția.

Totodată, pentru analiza comparativă a calității produselor finite, perele deshidratate prin ambele metode cercetate, au fost examinate din punct de vedere a indicatorilor de calitate și a proprietăților organoleptice.

Așadar, probele de pere deshidratate, atât prin metoda clasică cât și prin metoda propusă, au fost examinate în prim plan, din punct de vedere al proprietăților organoleptice principale, ca: forma și suprafața produselor finite, culoarea, mirosul și gustul perelor procesate.

Astfel, ca exemplu, în figura 4, se prezintă analiza comparativă a probelor de pere deshidratate prin ambele metode examinate: metoda clasică (a) și metoda propusă – cu combinarea microundelor și a convecției (b).

Așadar, examinând multiple probe de produse finite, s-a constatat că, metoda propusă sporește calitatea perelor deshidratate în raport cu metoda clasică, cu ameliorarea îndeosebi a proprietăților organoleptice principale, ca: culoarea produselor finite, forma, suprafața, mirosul și gustul.



a) Probă procesată prin metoda clasică.
a) Sample processed by the classic method.



b) Probă procesată prin metoda propusă.
b) Sample processed by the proposed method.

Figura 4. Analiza comparativă a produselor finale procesate prin ambele metode examinate.

Fig. 4. Comparative analysis of final products processed by both methods examined.

În baza rezultatele obținute în acest studiu s-a constatat că, utilizarea instalației elaborate la deshidratarea perelor cu aplicarea tratării cu

microunde în combinație cu convecția, reduce gradul de oxidare a stratului superficial a rondelilor, deoarece crește viteza procesului și

reduce durata de prelucrare termică, contribuind la creșterea productivității și a calității produselor procesate.

Totodată, după cum s-a evidențiat, tehnologia propusă permite reducerea consumului de energie electrică cu circa 37% față de tehnologia clasică, fapt ce oferă posibilitatea de a micșora costurile de procesare.

Reducerea consumului de energie electrică, la procesarea prin metoda propusă, în raport cu aplicarea metodei clasice, se datorează faptului că, în procesul de prelucrare tehnologică, aportul convecției la prelucrarea termică este suplinit cu aportul microundelor, fapt ce sporește eficiența procesului, iar prelucrarea necesită un timp mai mic pentru atingerea umidității finale.

Aceasta are loc grație faptului că, anume prelucrarea rondelelor sub acțiunea combinată a agenților de tratare termică, permite esențial eficientizarea procesului tehnologic, cu sporirea gradului de intensificare a deshidratării, ceea ce contribuie nemijlocit la creșterea vitezei și reducerea duratei procesului.

Mai mult decât atât, instalația propusă de autori pentru deshidratarea fructelor, este simplă constructiv și este ușor de utilizat, are cost redus și permite realizarea monitorizării riguroase a parametrilor tehnologici ai procesului de deshidratare, iar pe durata experimentelor realizate, atât în condiții de laborator, cât și în condiții reale de exploatare în cadrul unei întreprinderi specializate din domeniul deshidratării fructelor a demonstrat un nivel înalt de siguranță în funcționare.

CONCLUZII

Rezultatele cercetărilor efectuate au demonstrat că instalația elaborată pentru deshidratarea fructelor semințoase cu aplicarea tratării cu microunde în combinație cu convecția, permite eficientizarea procesului tehnologic cu creșterea vitezei deshidratării și reducerea duratei de procesare.

Totodată, tehnologia propusă permite creșterea calității produselor procesate în comparație cu tehnologia clasică și în afară de aceasta, instalația elaborată este simplă constructiv, este ușor de utilizat, are cost redus și permite monitorizarea strictă a parametrilor tehnologici ai procesului de deshidratare, iar pe durata experimentelor realizate atât în condiții de laborator cât și în condiții reale de exploatare în cadrul unei întreprinderi specializate în deshidratarea fructelor, a demonstrat un nivel înalt de siguranță în funcționare.

Așadar, datorită eficientizării procesului de deshidratare, cu sporirea vitezei de deshidratare și reducerea duratei de prelucrare tehnologică, consumul de energie electrică la uscarea fructelor cu aplicarea metodei propuse, este cu circa 37% mai mic față de cel al metodei clasice, iar acest fapt permite reducerea semnificativă a cheltuielilor de prelucrare tehnologică și a costului produselor procesate.

BIBLIOGRAFIE (REFERENCES)

- [1] 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.
- [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] 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.
- [4] 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.
- [5] Doymaz I. Air-drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 2007, nr. 78, pp. 1291–1297.
- [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] 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.
- [8] Doymaz I. Convective drying kinetics of strawberry. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 2008, 47, pp. 914–919.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Singh K. Development of a small capacity dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering*, 1994, nr. 21, pp. 19–30.
- [12] 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.
- [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] 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.
- [15] Ranjbaran M., 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] Kaya A., Aydin O., Demirtaş C. Drying kinetics of red delicious apple. *Biosystems Engineering*, 2007, nr. 96, pp. 517–524.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] Kaya A., Aydın O. An experimental study on drying kinetics of some herbal leaves. *Energy Conversion and Management*, 2009, nr. 50, pp. 118–124.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] Doymaz I. Drying kinetics of black grapes treated with different solutions. *Journal of Food Engineering*, 2006, nr.76, pp. 212–217.
- [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] 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.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 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, 10.1016.2013.11.037.
- [37] 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.
- [38] Jing Sun, Wenlong Wang, Qinyan Yue. Review on Microwave-Matter Interaction Fundamentals and Efficient Microwave-Associated Heating Strategies. *Materials*, 2016, pp. 231. DOI: 10.3390/ma904023
- [39] Meda V., Orsat V., Raghavan V. Microwave heating and the dielectric properties of foods. *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*, 2017, pp. 23–43.

[40] Radha Raman Mishra, Apurbba Kumar Sharma. Microwave–material interaction phenomena: Heating mechanisms, challenges and opportunities in material processing. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, February 2016, vol. 81, pp. 78–97.

[41] Nguyen TVL., Nguyen PBD., Tran TTV., Tran B.L., Huynh TP. Low-Temperature Microwave-Assisted Drying of Sliced Bitter Melon: Drying

Kinetics and Rehydration Characteristics. *Journal of Food Process Engineering*, 2022, vol. 45, no. 12. doi: 10.1111/jfpe.14177.

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 asigurare a fiabilității sistemelor electrice și perfecționarea electrotehnologiilor din sectorul agroindustrial.

E-mail:

victor.popescu@ie.utm.md



Vișanu Vitali Valeriu.

Doctorand, Universitatea Tehnică a Moldovei. Domeniul de activitate științifică îl constituie identificarea căilor de asigurare a fiabilității utilajelor și perfecționarea tehnologiilor și instalațiilor de prelucrare primară și păstrare a produselor agroalimentare de origine vegetală.

E-mail:

vitali.visanu@pmai.utm.md

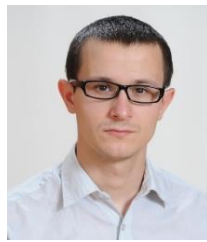


Balan Mihail Mihail.

Doctor în științe inginerești, lector, Universitatea Tehnică a Moldovei. Domeniul de activitate științifică îl constituie perfecționarea tehnologiilor și utilajelor de prelucrare primară a produselor agroalimentare cu aplicarea metodelor inovative de procesare.

E-mail:

mihail.balan@pmai.utm.md



Melenciuc Mihail Gheorghe.

Doctorand, lector, Universitatea Tehnică a Moldovei. Domeniul de activitate științifică îl constituie perfecționarea și eficientizarea tehnologiilor și utilajelor de prelucrare și păstrare a produselor agroalimentare de origine vegetală.

E-mail:

mihail.melenciuc@pmai.utm.md

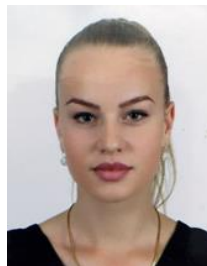


Volconovici Onorin Liviu.

Doctorand, Universitatea Tehnică a Moldovei. Domeniul de activitate științifică îl constituie perfecționarea tehnologiilor și utilajelor de prelucrare primară și păstrare a produselor agricole.

E-mail:

onorin.volconovici@if.utm.md



Balan Tatiana Victor.

Doctorand, Universitatea Tehnică a Moldovei. Domeniul de activitate științifică îl constituie eficientizarea proceselor din industria agroalimentară și auditul întreprinderilor de procesare și păstrare a produselor agricole.

E-mail:

tatiana.balan@ie.utm.md