

## **Energy-efficient regimes for aerodynamic tube dehydration of agro-industrial technologies residual products**

**Popescu V.S., Melenchiuc M.G., Balan T.V., Fiodorov O.S., Postica V.S., Kurdov I.S.**  
 Technical University of Moldova  
 Kishinau, Republic of Moldova

**Abstract.** The purpose of this work is to determine energy-efficient regimes for aerodynamic tube dehydration of residual products from agro-industrial technologies. To achieve this goal, an experimental electrical installation was developed, that applies the aerodynamic tube thermal treatment method for the dehydration process of the products under examination. The research focused on the example of apple seeds residues from the juice extraction industry, as these residues are currently of great interest to other industries, and the technological processing equipment and methods used in their case is inefficient and does not allow for the justified utilization of these products, because they currently have valuable potential for the food, pharmaceutical, and cosmetics industries, thus inefficient dehydration technologies do not allow for the further use of these seeds in related industries. The main problems currently existing in the field of dehydration of these products are the increased consumption of electricity and the low quality of the processed seeds. Thus, the main results obtained on the basis of research carried out using the developed installation are, first and foremost, increased energy efficiency and improved quality of end products, with the application in this case of the aerodynamic tube treatment method and by arguing the technological dehydration regimes. The significance of the results lies in solving the pressing current problems faced by producers in the agro-industrial sector, by making the treatment process more efficient, which also provides the opportunity to utilize waste in the context of the circular economy.

**Keywords:** energy efficiency, electrical installation, dehydration process, waste products, processing method, aerodynamic tube.

**DOI:** <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2026.2-70.03>

**UDC:** 633.432:664.8.047

### **Regimurile energoeficiente de deshidratare în tub aerodinamic a produselor reziduale din tehnologiile agroindustriale**

**Popescu V.S., Melenciuc M.G., Balan T.V., Fiodorov O.S., Postica V.S., Kurdov I.S.**  
 Universitatea Tehnică a Moldovei  
 Chișinău, Republica Moldova

**Rezumat.** Scopul lucrării constă în determinarea regimurilor energoeficiente de deshidratare în tub aerodinamic a produselor reziduale din tehnologiile agroindustriale. Pentru atingerea scopului, a fost elaborată o instalație electrică experimentală, care aplică în procesul de deshidratare a produselor examinate anume metoda de tratare termică în tub aerodinamic. Cercetările au fost axate pe exemplul semințelor reziduale de măr provenite din industria de extragere a sucului, deoarece aceste rezidurii la moment prezintă interes sporit pentru alte industrii, iar instalațiile tehnologice de procesare aplicate în cazul lor au o eficiență redusă și nu permit valorificarea justificată a acestor produse, fiindcă, actualmente ele prezintă un potențial valoros pentru industria alimentară, farmaceutică și cea cosmetică, iar tehnologiile ineficiente de deshidratare nu permite utilizarea ulterioară a acestor semințe în industriile cointeresate și din această cauză ele sunt utilizate preponderent în industria furajeră. Problemele principale existente la moment în domeniul deshidratării acestor produse sunt consumul sporit de energie electrică și calitatea redusă a semințelor procesate. Astfel, rezultatele esențiale obținute în baza cercetărilor efectuate cu aplicarea instalației elaborate sunt în prim plan sporirea eficienței energetice și creșterea calității produselor finite, cu aplicarea în cazul dat a metodei de tratare în tub aerodinamic și prin argumentarea regimurilor tehnologice optime de deshidratare. Semnificația acestor rezultate constă în soluționarea problemelor actuale stringente cu care se confruntă întreprinderile din sectorul agroindustrial, prin eficientizarea proceselor de prelucrare a produselor, fapt ce oferă și oportunitatea valorificării deșeurilor în contextul economiei circulare.

**Cuvinte-cheie:** eficiență energetică, instalație electrică, proces de deshidratare, produse reziduale, metodă de procesare, tub aerodinamic.

### Энергоэффективные режимы дегидратации остаточных продуктов агропромышленных технологий в аэродинамической трубе

Попеску В.С., Меленчук М.Г., Балан Т.В., Фёдоров О.С., Постика В.С., Курдов И.С.

Технический университет Молдовы, Кишинев, Республика Молдова

**Аннотация.** Целью данной работы является определение энергоэффективных режимов дегидратации остаточных продуктов агропромышленных технологий в аэродинамической трубе. Для достижения цели работы была спроектирована, разработана и внедрена экспериментальная электроустановка, применяющая метод термической обработки в процессе обезвоживания исследуемых продуктов в аэродинамической трубе. Исследования проводились на примере остаточных продуктов, которые в настоящее время представляют повышенный интерес для использования в других отраслях промышленности, а применяемые в их случае технологии переработки имеют низкую эффективность и не позволяют обоснованно повышать ценность этой продукции. В частности, в качестве основного объекта исследования, проводимого в данном случае, были выбраны именно яблочные семена, поскольку в настоящее время они представляют ценный потенциал для пищевой, фармацевтической и косметической промышленности, а эффективные технологии обезвоживания отсутствуют в их случае, то что предотвращает последующее использование этих семян в смежных отраслях и по этой причине их преимущественно используют в кормовой промышленности и в зоотехнической сфере. Основными проблемами, существующими в настоящее время в области обезвоживания продуктов со специфическими свойствами, являются повышенный расход электроэнергии и снижение качества обрабатываемых семян. Таким образом, существенными результатами, полученными на основе исследований, проведенных с применением разработанной установки, являются, прежде всего, повышение энергоэффективности и повышение качества готовой продукции с адаптацией в данном случае метода обработки в аэродинамической трубе и аргументируя технологические режимы обезвоживания. Значимость этих результатов заключается в решении актуальных проблем, с которыми в настоящее время сталкиваются перерабатывающие предприятия агропромышленного комплекса, за счет повышения эффективности процессов переработки сельскохозяйственной продукции, что также открывает возможность утилизации отходов в контексте экономики замкнутого цикла.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, электрооборудование, процесс дегидратации, отходы, метод обработки, аэродинамическая труба.

#### Introducere

La momentul actual, problema esențială caracteristică proceselor de prelucrare din sectorul agroindustrial o constituie necesitatea sporirii eficienței energetice. Acest fapt este impus evident de creșterea prețurilor la toate resursele de energie.

Specialiștii din domeniu, remarcă că eficientizarea energetică a proceselor tehnologice din sectorul agroindustrial, inclusiv și cele de prelucrare primară a produselor agricole, poate fi realizată prin perfecționarea tehnologiilor existente și prin implementarea unor noi metode de procesare [3-6, 9-12, 21-25].

Problema menționată se acutizează îndeosebi în cazul proceselor de deshidratare a produselor, din cauza că aceste procese necesită un consum sporit de energie electrică și pentru soluționarea ei este necesar de identificat căile corespunzătoare pentru fiecare proces și produs în mod individual, în funcție de particularitățile tehnologice specifice [29-31, 38-41].

Reieșind din cele menționate, preocuparea cercetătorilor din domeniu la ziua de azi este direcționată îndeosebi spre reducerea consumului de energie electrică în procesele de deshidratare

a produselor respective, care au particularități specifice [1-4, 15-18, 40-42].

O altă problemă stringentă la moment, în contextul direcțiilor actuale de protecție a mediului ambiant, o constituie necesitatea implementării în sectorul agroindustrial a unor tehnologii ecologice, care să permită valorificarea la potențialul maximal a oricărui produs inclusiv și a deșeurilor [5-8, 28-32].

Soluția principală a acestei probleme ar fi aplicarea unor procedee tehnologice care să ofere posibilitatea prelucrării eficiente și a utilizării produselor reziduale din industriile menționate.

Problema globală a deșeurilor se acutizează de la an la an și afectează întreaga societate umană. În acest context, tehnologiile din sectorul agroindustrial, cu toate că asigură populația cu produse alimentare necesare pentru hrană, totuși, ele au un impact semnificativ asupra mediului înconjurător.

Din această cauză, pentru reducerea impactului asupra mediului, este necesar de utilizat în diverse scopuri toate deșeurile din aceste industrii, în așa mod ca toate produsele reziduale să fie valorificate la modul corespunzător, în funcție de potențialul lor specific [10-18, 37-40].

Realizând multiple studii cu referire la industria produselor agricole, s-au evidențiat o serie de produse reziduale, ce nu sunt valorificate la modul respectiv, dar care au un potențial valoros de a fi utilizate în diverse scopuri. Aici pot fi aliniată și așa produse reziduale cum sunt în cazul dat semințele reziduale de măr din industria sucului, care au un conținut bogată de uleiuri vegetale și acizi cu particularități specifice, ce prezintă un mare interes pentru a fi utilizate în industria cosmetică, farmaceutică, chiar și cea alimentară [19-28].

Problema principală care împiedică utilizarea acestor semințe o constituie lipsa unor instalații eficiente de prelucrare a lor, iar soluționarea ei poate fi realizată numai prin cercetări ample, privind studierea particularităților specifice de prelucrare a oricărui produs. Acest fapt ar permite indiscutabil identificarea metodelor de procesare eficiente, cât și argumentarea regimurilor și a parametrilor tehnologici optimali ai instalațiilor de procesare [25-27, 31-36].

Altă problemă actuală din domeniul prelucrării primare a produselor agricole este necesitatea asigurării unei calități mai ridicate a produselor finite. Ca exemplul, în cazul deshidratării produselor respective, deseori este accentuată această problemă și întreprinderile din domeniul procesării produselor agricole se confruntă cu lipsa unei tehnologii eficiente de deshidratare a semințelor [16-21, 26-29].

Mai mult decât atât, problema dată se acutizează îndeosebi în procesul uscării semințelor oleaginoase, cum sunt în acest studiu semințele de măr, deoarece sunt bogate în grăsimi vegetale, care sunt instabile la procesele de tratare termică [20-25]. Astfel ineficiența procesului de deshidratare în baza tehnologiilor existente afectează semnificativ calitatea semințelor procesate.

Trebuie de remarcat că, calitatea produselor este afectată în primul rând de durata de prelucrare.

Cercetătorii din domeniul respectiv au stabilit în multiple studii că viteza și durata procesării au cel mai mare impact asupra calității produselor finite, iar pentru înlăturarea acestor neajunsuri este necesar ca pentru fiecare produs de identificat procedeul tehnologic optimal de procesare [5-11, 28-42].

Pentru soluționarea problemelor expuse, este nevoie de a realiza studii ample în acest domeniu, atât din punct de vedere cantitativ cât și calitativ, pentru a stabili procedeele eficiente

de prelucrare tehnologică pentru produsele menționate, care să permită soluționarea problemelor descrise [9-18].

Reieșind din cele menționate, pentru identificarea soluțiilor cu privire la problemele respective, scopul principal al cercetărilor realizate în acest caz, constă în determinarea regimurilor energoeficiente de deshidratare în tub aerodinamic a semințelor reziduale din tehnologiile agroindustriale, care la moment nu sunt cunoscute și necesită stabilite.

Astfel, pentru atingerea scopului propus, a fost elaborată o instalație electrică experimentală, care aplică în procesul de deshidratare a produselor examinate anume metoda de procesare în tub aerodinamic, în baza căreia au fost realizate cercetările.

Studiile au fost efectuate preponderent pe exemplul produselor reziduale, care la moment prezintă interes sporit pentru alte industrii, iar instalațiile tehnologice de procesare aplicate în cazul lor au o eficiență redusă și nu permit valorificarea justificată a acestor produse cu proprietăți specifice.

Așadar, în mod special, în calitate de obiect principal al cercetărilor în cazul dat au fost selectate anume semințele reziduale de măr fiindcă, actualmente ele prezintă un potențial valoros pentru industria alimentară, farmaceutică și cea cosmetică.

Tehnologiile actuale ineficiente de deshidratare nu permite utilizarea ulterioară a acestor semințe în industriile cointeresate și din această cauză ele sunt utilizate preponderent în industria furajeră din sectorul zootehnic, iar problemele principale urmărite la moment în domeniul deshidratării acestor produse sunt reducerea consumului de energie electrică și sporirea calității semințelor procesate.

Așadar, rezultatele esențiale obținute în baza cercetărilor efectuate cu aplicarea instalației elaborate sunt în prim plan sporirea eficienței energetice și creșterea calității semințelor, cu ajustarea în cazul dat a metodei de tratare în tub aerodinamic și prin argumentarea regimurilor tehnologice de deshidratare, care au fost obținute în baza proiectului 020405 - Optimizarea tehnologiilor de procesare a alimentelor în contextul bioeconomiei circulare și schimbărilor climatice. Semnificația acestor rezultate constă în soluționarea problemelor actuale stringente cu care se confruntă întreprinderile de procesare din sectorul agroindustrial, prin eficientizarea proceselor de prelucrare a produselor agricole cu particularități specifice.

Rezultatele obținute în acest studiu oferă în primul rând posibilitatea reducerii consumului de energie electrică și oportunitatea valorificării produselor reziduale din industria de procesare, în contextul bioeconomiei circulare și a valorificării deșeurilor.

### MATERIALE ȘI METODE

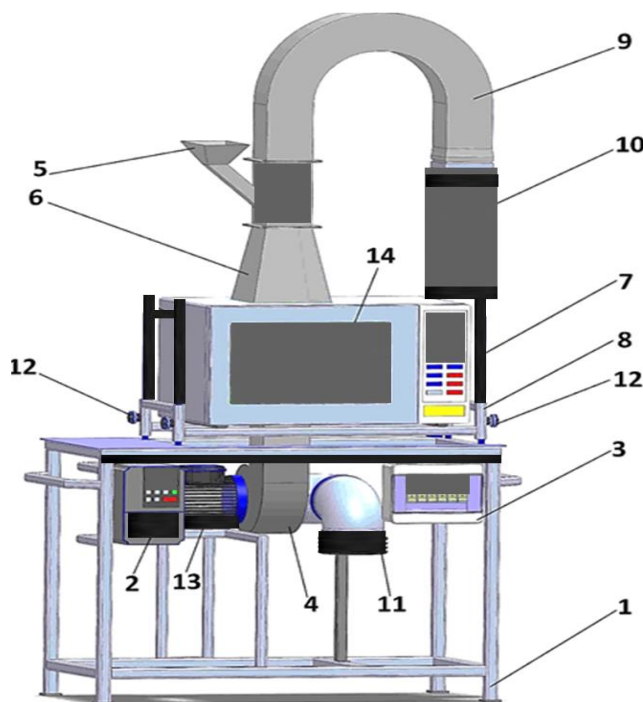
Cercetările efectuate au fost realizate pe exemplul produselor reziduale din tehnologiile agroindustriale, care la moment prezintă interes sporit pentru alte industrii, iar instalațiile de procesare a lor utilizate în prezent au o eficiență redusă, în special din cauza consumului sporit de energie electrică și calitate redusă a produselor finite. În calitate de obiect principal al cercetărilor în cazul dat, au fost selectate anume semințele reziduale de măr din industria sucului, fiindcă, au un conținut bogat în uleiuri vegetale și acizi cu proprietăți specifice, care actualmente

prezintă un potențial valoros pentru industria alimentară, farmaceutică și cea cosmetică.

Pentru a estima eficiența procesării produselor examinate în tub aerodinamic, produsele examinate au fost prelucrate pentru comparație atât prin metoda propusă, cât și prin metoda clasică.

Trebuie de menționat că, pentru determinarea eficienței și a regimurilor tehnologice optime ale procesului de prelucrare prin metoda propusă, a fost elaborată o instalație electrică experimentală, care aplică în procesul dehidratării anume metoda de tratare termică în tub aerodinamic.

Schema constructivă a instalației elaborate pentru cercetarea procesului de dehidratare a semințelor reziduale de măr este prezentată în Figura 1.



1 - carcasă; 2 -sistem de dirijare a ventilatorului; 3 -panou; 4 - ventilator; 5 - buncher; 6 - tub de trecere la secțiuni diferite; 7 - suport; 8 -tijă; 9 - tub cu secțiunea uniformă; 10-receptor; 11-sistem de admisie-filtrare-încălzire a aerului; 12 - sistem de fixare-reglare; 13 - motor electric; 14 - camera de tratare.

**Figura 1. Schema constructivă a instalației experimentale elaborată pentru dehidratarea produselor reziduale în tub aerodinamic.**

1 - casing; 2 - fan control system; 3 - panel; 4 - fan; 5 - hopper; 6 - different sections connecting tube; 7 - support; 8 - rod; 9 - uniform section tube; 10 - receiver; 11 - air intake-filtering-heating system; 12 -fastening-adjustment system; 13 - electric motor; 14 - treatment chamber.

**Figure 1. Construction diagram of the experimental installation developed for dehydrating waste products in an aerodynamic tube.**

În baza acestei instalații experimentale a fost determinată eficiența procesului de deshidratare a semințelor reziduale prin metoda propusă, iar rezultatele au fost comparate cu cele obținute prin metoda clasică de deshidratare a produselor respective.

Eficiența procesului pentru semințele reziduale examinate prin ambele metode de prelucrare a fost estimată în baza următorilor parametri: viteza și durata procesului de deshidratare, consumul de energie electrică și calitatea semințelor procesate.

Seriile de experimente realizate prin ambele metode au fost efectuate pentru aceleași produse și condiții similare.

Pentru estimarea eficienței fiecărui regim tehnologic în particular, experimentele au fost realizate pentru diferite regimuri termice aplicate analogic pentru cele două metode examinate.

Pentru controlul temperaturii a fost utilizat termometru cu fir cald de model TESTO 400, cu precizia  $\pm 1\%$ .

## REZULTATE ȘI DISCUȚII

Analizând procesul de uscare a semințelor examinate prin ambele metode aplicate, a fost determinată cinetica deshidratării, iar rezultatele obținute prin metoda de tratare în tub aerodinamic, au fost comparate cu cele obținute prin metoda clasică de uscare.

Astfel, s-a urmărit pentru fiecare metodă de uscare: viteza de deshidratare și durata procesului, calitatea semințelor procesate și consumul de energie electrică.

S-a constatat că, calitatea semințelor procesate este dependentă în primul rând de durata de procesare, fiind stabilită o dependență invers proporțională între acestea.

Respectiv, cu cât durata de procesare este mai mare cu atât calitatea produselor finite este mai redusă, iar durata depinde nemijlocit de metoda aplicată.

În mod evident, pentru reducerea duratei de procesare este necesar de sporit viteza deshidratării, care depinde direct de regimul tehnologic. Adică, cu cât regimul tehnologic este mai intens, cu atât viteza procesului este mai mare și durata evident mai mică, iar ca rezultat se obțin produse cu o calitate mai înaltă.

Alt lucru destul de esențial în cazul dat și anume în ceea ce privește consumul de energie electrică, s-a confirmat că, metoda aplicată la fel are o contribuție semnificativă asupra intensității energetice a procesului, deoarece consumul îndeosebi depinde în mod direct de durata procesării și cu cât durata deshidratării este mai mare, cu atât crește și consumul de energie electrică.

Deci, pentru reducerea consumului de energie și pentru sporirea calității semințelor uscate, este necesar de contribuit la creșterea vitezei procesului și respectiv la reducerea duratei de tratare termică, care la rândul lor s-a confirmat că depind esențial de metoda aplicată și de intensitatea regimurilor tehnologice de prelucrare.

Astfel, pentru compararea rezultatelor obținute, în Figura 2 se prezintă curbele deshidratării semințelor reziduale prelucrate prin metoda clasică, pentru diferite regimuri termice examinate și anume: regimul 1 – 60 °C; regimul 2 – 70 °C; regimul 3 – 80 °C; regimul 4 – 90 °C; regimul 5 – 100 °C.

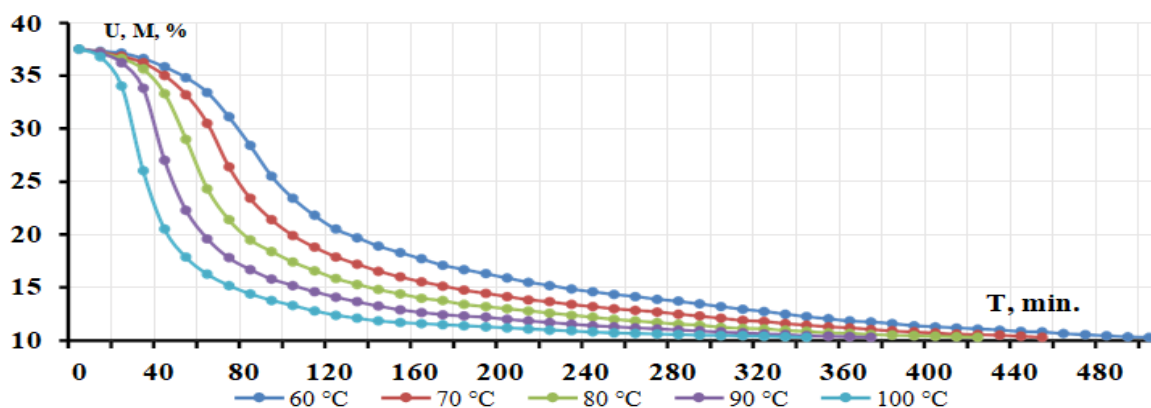


Figura 2. Curbele reducerii umidității (U, %) pe durata de procesare (T, min.) prin metoda clasică.  
Figure 2. Moisture (M, %) reduction curves during the processing time (T, min.) using classic method treatment.

Pentru toate regimurile tehnologice examinate, aplicând metoda clasică de tratare, semințele reziduale supuse procesului de prelucrare, au fost deshidratate de la umiditatea inițială de  $35.7 \pm 1\%$  și până la umiditatea finală optimă de  $10.2\% \pm 0.1\%$ .

În așa mod, cercetările au permis de a determina durata de procesare pentru fiecare regim examinat.

Totodată au fost stabilite și regimurile tehnologice ale procesului cu eficiență maximă.

În așa mod, în rezultatul examinării celor 5 regimuri de uscare prin metoda clasică:  $60^\circ\text{C}$ ,  $70^\circ\text{C}$ ,  $80^\circ\text{C}$ ,  $90^\circ\text{C}$ ,  $100^\circ\text{C}$ , a fost determinată durata procesului pentru fiecare regim de prelucrare a semințelor examinate, respectiv: 510 minute, 455 minute, 424 minute, 376 minute și respectiv 343 minute.

În mod similar, în Figura 2 se prezintă pentru comparație, curbele reducerii umidității, în cazul deshidratării semințelor respective, procesate în cazul dat prin metoda propusă de tratare termică în tub aerodinamic.

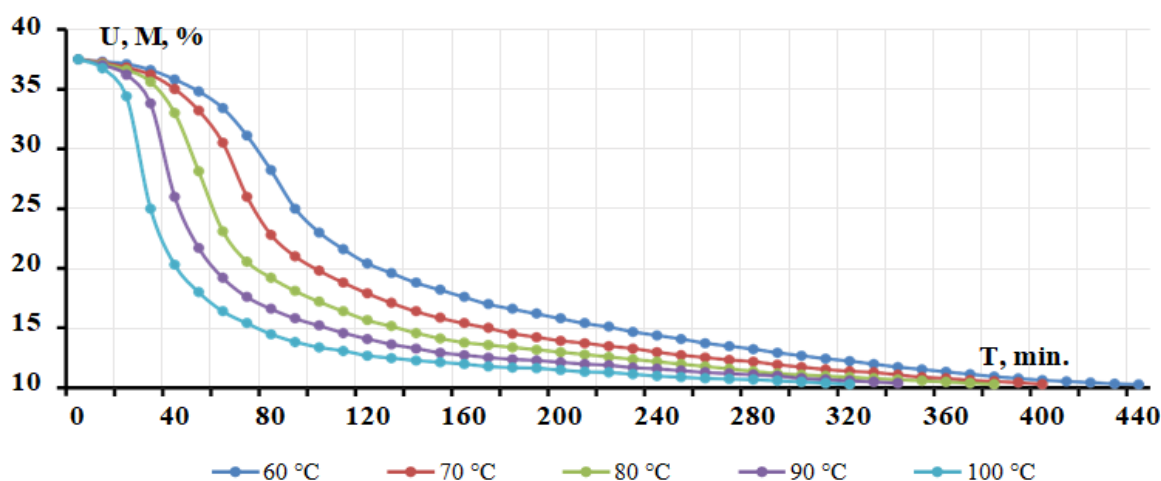


Figura 3. Curbele reducerii umidității (U, %) pe durata de procesare (T, min.) prin metoda propusă.  
Figure 3. Moisture (M, %) reduction curves during the processing time (T, min.) using the proposed method treatment.

Utilizând metoda de tratare în tub aerodinamic, analogic, semințele examinate au fost deshidratate similar ca și prin metoda clasică, de la același nivel de umiditate inițială de  $35.7 \pm 1\%$  și până la umiditatea finală optimă de  $10.2\% \pm 0.1\%$ .

Deci, în rezultatul analizei celor 5 regimuri de uscare ca și prin metoda clasică:  $60^\circ\text{C}$ ,  $70^\circ\text{C}$ ,  $80^\circ\text{C}$ ,  $90^\circ\text{C}$ ,  $100^\circ\text{C}$ , a fost determinată durata procesului pentru fiecare regim de prelucrare a acelorași semințe și prin metoda propusă de tratare în tub aerodinamic. Rezultatele obținute în cazul dat sunt respectiv: 446 minute, 405 minute, 387 minute, 345 minute și 326 minute.

Cu toate că experimentele au fost realizate pentru aceleași produse semănătoare și în condiții similare, dar s-a observat o reducere a duratei de procesare la aplicarea metodei de tratare în tub aerodinamic, spre deosebire de metoda clasică.

Astfel, s-a stabilit că pentru regimul termic de  $60^\circ\text{C}$ , durata procesului cu aplicarea metodei propuse s-a redus cu 64 de minute în comparație

cu metoda clasică și respectiv: pentru regimul cu temperatura de  $70^\circ\text{C}$  – cu 50 minute, pentru regimul de  $80^\circ\text{C}$  – cu 37 minute, pentru regimul de  $90^\circ\text{C}$  – cu 31 minute și pentru regimul de  $100^\circ\text{C}$  – cu 17 minute mai redusă față de tehnologia clasică de procesare.

Mai mult ca atât, analiza rezultatelor a confirmat la fel și o reducere a consumului de energie electrică la aplicarea metodei propuse, în medie cu circa 8.5 % în comparație cu metoda clasică, care depinde evident de intensitatea regimurilor de tratare.

Totodată, cercetările au scos în evidență și regimurile tehnologice ale procesului pentru cazurile când eficiență energetică este mai înaltă.

La următoarea etapă a cercetărilor a fost efectuată analiza de calitate cu privire la procesul de deshidratare a semințelor procesate prin ambele metode aplicate. Pentru atingerea scopului la această etapă, au fost estimați următorii parametri de bază ai procesului pentru fiecare regim tehnologic examinat: umiditatea eliminată din produs (%), masa probei după

prelucrare (g), fracția masică de grăsime la 100 g de semințe uscate (%) și consumul de energie electrică pentru fiecare metodă cercetată.

Reieșind din cele expuse, în Tabelul 1 se prezintă rezultatele obținute la cercetarea

procesului de deshidratare a semințelor reziduale examinate, care au fost prelucrate cu aplicarea metodei de tratare clasică.

**Tabelul 1. Rezultatele cercetării procesului de deshidratare clasică**  
**Table 1. Research results using classical dehydration process**

Parametrii determinați Determined parameters						
N <sub>2</sub>	Regimul termic, °C Thermal regime, °C	Durata, min. Duration, min.	Umiditatea eliminată, % Moisture removed, %	Masa probei de semințe după uscare, g Mass of seed sample after drying, g	Fracția masică de grăsime la 100 g semințe uscate, % Mass fraction of fat per 100 g of dry seeds, %	Consumul de energie electrică la eliminarea umidității, kwh/kg Electricity consumption when removing moisture, kwh/kg
1	60±1	510±0,5	28.8±0,5	71.2±0,5	13.65±0,5	0.89
2	70±1	455±0,5	28.9±0,5	71.1±0,5	13.73±0,5	0.91
3	80±1	424±0,5	29.0±0,5	71.0±0,5	13.81±0,5	0.93
4	90±1	376±0,5	29.1±0,5	70.1±0,5	14.47±0,5	0.95
5	100±1	343±0,5	29.1±0,5	70.1±0,5	14.12±0,5	0.98

Din rezultatele prezentate în Tabelul 1 s-a constatat, că fracția masică de grăsime la 100g de semințe uscate prin metoda clasică, are valoarea cea mai ridicată pentru regimurile tehnologice 4 și 5, cu temperaturile de uscare de 90°C și respectiv 100°C. Însă, pentru celelalte regimuri examinate 1, 2 și 3, cu temperaturile de 60°C, 70°C și respectiv 80°C, fracția masică de grăsime la 100g de semințe uscate este mai redusă.

În Tabelul 2 se prezintă pentru comparație rezultatele obținute la cercetarea procesului de deshidratare a semințelor prin metoda propusă de tratare în tub aerodinamic.

Datele prezentate în Tabelul 2 indică că fracția masică de grăsime la 100g de semințe uscate prin metoda de tratare în tub aerodinamic, are valoarea cea mai ridicată pentru regimurile 3, 4 și 5, cu temperaturile de uscare corespunzătoare de 80°C, 90°C și respectiv 100°C. Pentru regimurile 1 și 2, cu temperaturile de 60°C și respectiv 70°C, fracția masică de grăsime la 100g de semințe uscate s-a dovedit a fi mai redusă.

Totodată, pentru toate regimurile de temperatură examinate, s-a stabilit că semințele

uscate prin metoda propusă de tratare în tub aerodinamic, au fracția masică de grăsime mai înaltă față de aceleași produse deshidratate prin metoda de tratare clasică.

Acest fapt confirmă că în procesul tehnologic se păstrează o cantitate mai mare de substanțe utile pentru a fi utilizate ulterior ca materie primă în alte industrii, în timp ce prin metoda clasică o parte din ele se distrug la procesare.

Analizând rezultatele obținute ale cercetărilor efectuate pe exemplul semințelor reziduale din tehnologiile de prelucrare a produselor agricole, observăm că la deshidratarea în tub aerodinamic se reduce durata de tratare, datorită sporirii intensității și vitezei de evacuare a umidității din produsele procesate. Acest fapt permite atât reducerea consumului de energie electrică, cât și creșterea calității produselor procesate.

Totodată, cercetările au demonstrat, că, în timpul procesului de deshidratare în tub aerodinamic, semințele se usucă cu un grad de uniformitate mai înalt față de metoda clasică, chiar dacă ele diferă semnificativ din punct de vedere al formei geometrice, a masei, a rugozității, a conținutului de umiditate sau de substanțe nutritive, etc.

**Tabelul 2. Rezultatele cercetării procesului de deshidratare în tub aerodinamic**  
**Table 2. Research results using fluidized bed dehydration process**

Parametrii determinați Determined parameters						
No	Regimul termic, °C Thermal regime, °C	Durata, min. Duration, min.	Umiditatea eliminată, % Moisture removed, %	Masa probei de semințe după uscare, g Mass of seed sample after drying, g	Fracția masică de grăsime la 100 g semințe uscate, % Mass fraction of fat per 100 g of dry seeds, %	Consumul de energie electrică la eliminarea umidității, kwh/kg Electricity consumption when removing moisture, kwh/kg
1	60±1	446±0,5	29.5±0,5	70.5±0,5	14.89±0,5	0.73
2	70±1	405±0,5	29.6±0,5	70.4±0,5	14.97±0,5	0.74
3	80±1	387±0,5	29.6±0,5	70.4±0,5	15.12±0,5	0.75
4	90±1	345±0,5	29.8±0,5	70.2±0,5	15.23±0,5	0.77
5	100±1	326±0,5	29.9±0,5	70.1±0,5	15.19±0,5	0.79

Astfel, se exclude riscul de apariție a carbonizării pe suprafața semințelor sau a altor defecte, ceea ce nu se poate exclude prin metoda clasică.

Deci este exclus evident și riscul de afectare a substanțelor utile din conținutul semințelor procesate, iar acest fapt este destul de important pentru păstrarea calității semințelor uscate, pentru utilizarea ulterioară în industria alimentară, cosmetologie, farmaceutică, etc.

Așadar, se poate de menționat că rezultatele obținute în acest studiu au o semnificație indiscutabilă și un aport evident în soluționarea problemelor actuale stringente, cu care se confruntă întreprinderile de procesare din sectorul agroindustrial, îndeosebi privind creșterea eficienței energetice, a calității produselor procesate și a oportunității de valorificare a deșeurilor din sectorul respectiv.

### CONCLUZII

Rezultatele obținute în baza cercetărilor realizate, au demonstrat că instalația elaborată pentru deshidratarea în tub aerodinamic a semințelor reziduale din tehnologiile agroindustriale, permite sporirea eficienței procesului, preponderent cu reducerea consumului de energie electrică și cu creșterea calității acestor semințe pentru utilizarea ulterioară în industria alimentară, cosmetologie, farmaceutică, etc.

Cercetările realizate au demonstrat că aplicarea instalației elaborate la deshidratarea semințelor reziduale în tub aerodinamic permite atât creșterea vitezei de deshidratare și reducerea duratei procesului, cât și a gradului de uniformitate a uscării pentru toate semințele reziduale, chiar dacă ele diferă semnificativ din punct de vedere al formei geometrice, a masei, a rugozității, a conținutului de umiditate sau de substanțe nutritive, etc.

Totodată, rezultatele obținute au confirmat, că, metoda propusă nu permite apariția defectelor în procesul de deshidratare a semințelor ca prin metoda clasică și astfel se exclud riscurile de apariție a petelor de carbonizare pe suprafața lor sau a altor efecte adverse, fapt ce împiedică distrugerea substanțelor utile din conținutul semințelor procesate, ceea ce nu se poate realiza prin metoda tradițională, iar acest avantaj este destul de important și asigură păstrarea calității semințelor uscate pentru utilizarea lor ulterioară în calitate de materie primă pentru alte industrii.

### 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] 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.

- [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] 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] Doymaz I. Convective drying kinetics of strawberry. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 2008, 47, pp. 914-919.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [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] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [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] 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.
- [22] Jittanit W., Szrednicki 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.
- [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] Daud W. Fluidized Bed Dryers — Recent Advances. *Advanced Powder Technology*, 2008, vol. 19, nr. 5, pp. 403-418, doi: 10.1016/S0921-8831(08)60909-7.
- [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] Doymaz I. Drying kinetics of black grapes treated with different solutions. *Journal of Food Engineering*, 2006, nr.76, pp. 212-217.
- [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] 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.
- [32] 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.
- [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] 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] Kaya A., Aydın O., Demirtaş C. Drying kinetics of red delicious apple. *Biosystems Engineering*, 2007, nr. 96, pp. 517–524.
- [38] Kouchakzadeh A., Shafeei S. Modeling of microwaveconvective drying of pistachios. *Energy Conversion and Management*, 2010, nr. 51, pp. 2012–2015.
- [39] 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.
- [40] Kaya A., Aydın O. An experimental study on drying kinetics of some herbal leaves. *Energy Conversion and Management*, 2009, nr. 50, pp. 118–124.
- [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] Singh K. Development of a small capacity dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering*, 1994, nr. 21, pp. 19–30.

#### Date despre autori.



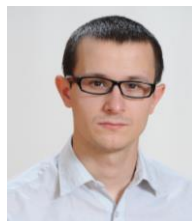
#### **Popescu Victor Serghei.**

Doctor în științe tehnice, conferențiar universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei. Domeniul de activitate științifică îl constituie perfecționarea tehnologiilor din sectorul agroindustrial.

E-mail:

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

ORCID: 0000-0002-4634-2255



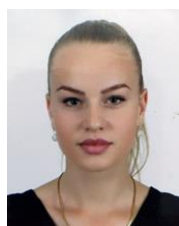
#### **Melenciuc Mihail Gheorghe.**

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

E-mail:

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

ORCID: 0000-0001-6575-8814



#### **Balan Tatiana Victor.**

Doctorand, Universitatea Tehnică a Moldovei. Domeniul de activitate științifică îl constituie eficientizarea proceselor de prelucrare.

E-mail:

[tatiana.balan@doctorat.utm.md](mailto:tatiana.balan@doctorat.utm.md)

ORCID: 0000-0002-8897-105X



#### **Fiodorov Olga Serghei.**

Doctorand, Universitatea Tehnică a Moldovei. Domeniul de activitate științifică îl constituie perfecționarea tehnologiilor de procesare.

E-mail:

[olga.fiodorov@doctorat.utm.md](mailto:olga.fiodorov@doctorat.utm.md)

ORCID: 0009-0003-9486-3236



#### **Postica Vasile Serghei.**

Doctorand, Universitatea Tehnică a Moldovei. Domeniul de activitate științifică îl constituie sporirea indicatorilor fiabilității sistemelor și echipamentelor electrice.

E-mail:

[vasile.postica@doctorat.utm.md](mailto:vasile.postica@doctorat.utm.md)

ORCID: 0009-0009-4220-9754



#### **Kurdov Igor Semion.**

Cercetător, Universitatea Tehnică a Moldovei. Domeniul de activitate științifică îl constituie perfecționarea tehnologiilor de procesare.

E-mail:

[igor.curdov@ie.utm.md](mailto:igor.curdov@ie.utm.md)

ORCID: 0000-0002-0731-5967