

MODELAREA PROCESULUI DE USCARE A CAISELOR

conf. univ., dr. Olga LUPU,
prof. univ., dr. hab. Andrei LUPAȘCO,
prof. univ., dr. Galina DICUSAR,
drd. Ilie TERZI,
Universitatea Tehnică a Moldovei

Întemeiate pe studiul legităților generale, metodele apropiate de calcul al cineticii procesului de uscare sunt prin excelență progresiste, contribuie plinar la îmbinarea teoriei și practicii în procesul de uscare a fructelor. Cea mai favorabilă dependență pentru ecuația generalizată a procesului de uscare este dependența multiplicativă de factorii care influențează procesul parametrului de ieșire. Pentru prelucrarea datelor experimentale a fost întocmit un program, care aduce preventiv ecuația multiplicativă la forma liniară. La prelucrarea datelor s-a utilizat metoda celor mai mici pătrate și pachetul matematic al programelor MathCAD. S-au obținut ecuațiile generalizate ale curbilor vitezei de uscare și au fost construite curbele care determină gradul de corespundere al modelelor date.

Analiza clasică regresivă se bazează pe un sistem de postulate, având la bază un caracter static: regresia reprezintă o combinație liniară a unor funcții de bază independente de factorii cu coeficienți necunoscuți.

Factorii respectivi sunt determinanți, iar toate variabilele se măsoară în scări continue. Acest fapt oferă posibilitatea de a evalua coeficienții de regresie și de a verifica ipotezele statistice de bază privind ecuațiile de regresie, coeficienții lor și valorile prognozate ale variabilelor dependente măsurate.

Una dintre analizele regresive care se utilizează în scopul prelucrării datelor experimentului și obținerii concluziilor necesare privind proprietățile ecuației selectate este metoda celor mai mici pătrate [2, 3].

1. LEGITĂȚILE CINETICII TRANSFERULUI DE UMIDITATE ÎN PROCESUL DE USCARE

Caracterul procesului de uscare, reflectat de curbele de uscare și de cele ale vitezei de uscare și încălzire, este determinat, în general, de proprietățile fizico-

chimice și structural-mecanice ale materialului, de care depind formele de legătură ale umidității cu materialul, precum și de fenomenul difuziei și cel al aportului de energie.

Multitudinea factorilor și interdependența dintre ei face dificilă obținerea unor funcții analitice ale cineticii procesului de uscare a unui material concret.

După cum s-a menționat, crearea metodelor apropiate de calcul ale cineticii procesului de uscare constituie un obiectiv dintre cele mai progresiste, fiind întemeiat pe studiul legităților generale ale procesului, ceea ce îmbină efectiv teoria cu practica procesului de uscare [4].

În procesul uscării prin orice metodă posibilă a unui material concret, care are o umiditate inițială determinată U_0 , în orice regim de uscare se păstrează neschimbată mărimea $N\tau$, ce corespunde conținutului curent de umiditate U .

$$N_1\tau_1 = N_2\tau_2 = N_n\tau_n = (N\tau)_w = \text{const.}, \quad (1)$$

unde: N_1, N_2, \dots, N_n – viteza de uscare în prima perioadă la diferite regimuri;

$\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ – timpul de uscare pe parcursul căruia umiditatea s-a schimbat de la U_i până la U .

Variabila $N\tau$ reprezintă un complex stabil de mărimi caracteristice pentru procesul de uscare. Conform teoriei similitudinii și analizei mărimilor, valoarea $N\tau$ poate fi numită variabilă generalizată sau timp de uscare generalizat.

Valoarea constantei în (1) depinde de mărimile U_i, U ale materialului, de masa specifică a acestuia și de metoda de uscare.

În particular, pentru prima perioadă avem egalitatea:

$$(N\tau)_w = U_i - U, \quad (2)$$

Din (2) se observă că timpul generalizat $N\tau$ în prima perioadă de uscare se determină doar prin valorile U_i și U . În perioada a doua de uscare (caz general) mărimea $N\tau$ poate fi exprimată prin U_i :

$$(N\tau)_u = U_i + U', \quad (3)$$

în care: U' – conținutul de umiditate, care depinde de U curent și de proprietățile materialului. În caz general, avem egalitatea:

$$(N\tau)_u = U_i - U + U_x = \text{const.}, \quad (4)$$

în care: U_x – reprezintă mărimea ce depinde de proprietățile materialului și care crește odată cu majorarea valorii U (în prima perioadă $U_x = 0$).

Introducerea componentei timpului generalizat $N\tau$ poate servi drept bază pentru crearea teoriei de modelare a procesului de uscare.

Operarea cu timpul generalizat de uscare oferă cercetării procesului de uscare un caracter generalizat. La studierea procesului de uscare cu utilizarea $N\tau$ se analizează nu un caz particular, ci un șir de cazuri diferite de uscare, unite prin generalizarea parametrilor procesului.

Cu cât este mai mare mărimea N , cu atât este mai mic timpul de uscare τ necesar pentru obținerea conținutului de umiditate dat U , însă conform (1), pentru toate valorile N posibile pentru acest U , mărimea $N\tau$ rămâne constantă.

Toate curbele de uscare experimentală a materialului dat, obținute pentru același consum inițial de umiditate

U_i , dar pentru diferite regimuri transferate într-un nou sistem de coordonate $U - N\tau$, trebuie să fie combinate într-o curbă unică, numită curba generalizată a cineticii procesului de uscare.

Punctele experimentale de uscare a unui material concret, indiferent de regimul de uscare, se aplică pe curbă cu un grad de precizie corespunzător preciziei experimentului.

Curba de uscare generalizată se construiește după curba de uscare experimentală unică a materialului cu o valoare determinată U_i , obținută pentru un regim oarecare. Dacă este cunoscută dependența corelativă N a parametrilor de bază ai regimului, atunci cu ajutorul curbei generalizate poate fi creat un șir de curbe de uscare (la același U_i) corespunzând diferitelor regimuri de uscare, fără a efectua anumite experimente.

Metodele apropiate de generalizare a curbelor cineticii procesului de uscare, pe care vi le propunem aici, permit să se efectueze anticipat examinarea și aprecierea calitativă a derulării procesului de uscare la schimbarea regimului, ceea ce oferă posibilitatea de a reduce considerabil numărul experiențelor.

2. PRELUCRAREA MATEMATICĂ A DATELOR

Analiza datelor experimentale obținute și a surselor bibliografice privind analiza regresivă aplicată [1, 2, 3, 6, 7] a demonstrat că cea mai benefică dependență pentru ecuația generalizată a procesului de uscare este dependența multiplicativă de factorii care influențează procesul dat al parametrului de ieșire, adică:

$$V = a_0 x_1^{a_1} x_2^{a_2} \dots x_j^{a_j} \quad (5)$$

în care: V – parametrul de ieșire (conținutul de umiditate U , diferența dintre conținutul de umiditate și conținutul de umiditate de echilibru $U-U_p$); x_j – parametrii de intrare (timpul sau perioada de uscare τ , temperatura de uscare t , viteza sau intensitatea uscării $\frac{dU}{d\tau}$, intensitatea câmpului electromagnetic E); a_0 – coeficientul care ia în considerare faptul că mărimile părții drepte și ale celei stângi sunt diferite; a_j – coeficienții de putere pentru parametrii de intrare.

Pentru prelucrarea datelor experimentale, conform recomandărilor [2, 3, 7], a fost elaborat un program, care aduce preventiv ecuația multiplicativă (5) la forma liniară:

$$\ln V = \ln a_0 + a_1 \ln x_1 + a_2 \ln x_2 + \dots + a_i \ln x_j \quad (6)$$

Pentru prelucrarea datelor s-a utilizat metoda celor mai mici pătrate și pachetul matematic al programelor MathCAD:

- 1) Pentru condiții inițiale: $ORIGIN = 0$, $n =$ numărul punctelor experimentale, $p =$ numărul parametrilor de intrare, $i = 1 \dots n$, $j = 1 \dots p$, $k = 1 \dots p$. Întocmim sistemul de ecuații normale.

$$\left\{ \begin{array}{l} m_{0,0} := n \\ m_{0,j} := \sum_i \ln(x_{i,j}) \\ b_0 := \sum_i \ln(V_i) \\ m_{j,0} := m_{0,j} \\ m_{k,j} := \sum_i (\ln(x_{i,j}) \cdot \ln(x_{i,k})) \\ b_j := \sum_i (\ln(x_{i,j}) \cdot \ln(V_i)) \end{array} \right.$$

- 2) Rezolvarea sistemului se determină după formula:

$$a := m^{-1} \cdot b \quad (7)$$

în care: m^{-1} – matricea inversă matricei m .

- 3) În rezultat, obținem matricea vector cu coeficienți de regresie în forma:

$$a^T = (\ln a_0 \quad a_1 \quad a_2 \quad \dots \quad a_j). \quad (8)$$

- 4) Determinăm dispersia gradului de corespundere după formula:

$$S_{ad}^2 = (n - p - 1) \sum_{i=1}^n [\ln(V_i) - \ln(V_{pi})]^2 \quad (9)$$

în care: $(n - p - 1)$ – numărul gradelor de libertate;

$\ln(V_{pi})$ – logaritmul mărimilor calculate ale parametrului de ieșire, determinat după formula:

$$\ln(V_{pi}) = \ln a_0 + \sum_{j=1}^p a_j \ln(x_{i,j}) \quad (10)$$

- 5) Calculăm eroarea medie pătrată pentru determinarea coeficienților a_j :

$$S_{aj} = \frac{S_y}{\sqrt{n}} = S_b \quad (11)$$

în care: S_y – dispersia de reproducere.

Repetarea experiențelor $m = 3$ a demonstrat că valoarea parametrului de ieșire a fost determinată cu o precizie de 5%.

În acest caz dispersia de reproducere este:

$$S_y = \frac{0.05 \cdot \ln \bar{V}}{3} \quad (12)$$

în care: $\ln \bar{V}$ - valoarea medie a logaritmului parametrului de ieșire:

$$\ln \bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln V_i}{n} \quad (13)$$

- 6) Importanța coeficienților ecuațiilor se determină cu ajutorul criteriului t : Valorile de calcul sunt:

$$t_0 = \ln a_0 / S_b \quad (14)$$

$$t_j = a_j / S_b \quad (15)$$

Valoarea tabelară a lui t_{cr} este aceeași pentru toți coeficienții ecuației de regresie. Conform tab. 5 din [7] pentru $f = m^{-1} = 2$ – numărul gradelor de libertate, $\gamma = 0,95$ – probabilitatea acceptată: $t_{cr} = 4,3$.

Coefficientul este static important, dacă valoarea de calcul a criteriului t este mai mare decât valoarea tabelară, adică: $t_j > t_{cr}$

- 7) Verificarea ecuației la gradul de corespundere se efectuează conform criteriului Fischer. Valoarea de calcul a criteriului Fisher se determină după formula:

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} \quad (16)$$

Valoarea tabelară a criteriului Fischer se selectează după tabelele statistice în funcție de probabilitatea acceptată γ (de obicei se acceptă $\gamma = 0,99$), din numărul gradelor de libertate ale gradului de corespundere $f_{ad} = n - p - 1$ și de numărul gradelor de libertate ale reproducerii $f_y = m - 1$.

Se consideră că ecuația descrie adecvat rezultatele experimentului, dacă valoarea de calcul a criteriului Fischer este mai mică decât cea tabelară, adică $F_c < F_{cr}$.

- 8) Eroarea medie relativă de aproximare se determină după formula [3]:

$$\alpha = \frac{S_{ad} \sqrt{2\pi}}{\ln \bar{V}} \cdot 100, \% \quad (17)$$

Ecuațiile de bază care descriu cinetica procesului de uscare a caiselor [6]:

$$\text{Metoda convectivă: } U = 1,503 \cdot 10^4 \cdot \tau^{-0,46} \cdot t^{-0,468}$$

$$\text{Metoda combinată: } U = 1,553 \cdot 10^{19} \cdot \tau^{4,058} \cdot t^{-3,006} E^{-0,031}$$

Au fost obținute, de asemenea, ecuațiile generalizate ale curbelor vitezei de uscare:

$$\text{Metoda convectivă: } U \cdot U_p = 1,507 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{dU}{d\tau} \cdot \tau \right)^{-1,284}$$

$$\text{Metoda combinată: } U \cdot U_p = 2,938 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{dU}{d\tau} \cdot \tau \right)^{-1,35}$$

Au fost construite curbele care determină gradul de corespundere al modelelor date.

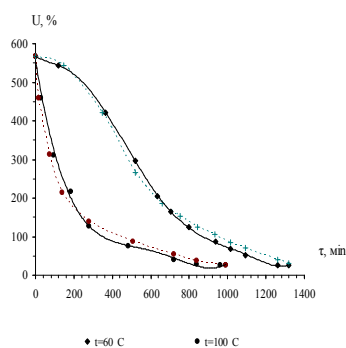


Fig. 1. Verificarea gradului de corespundere a curbelor de uscare, obținute experimental și prin calcule, cu aportul convectiv de energie

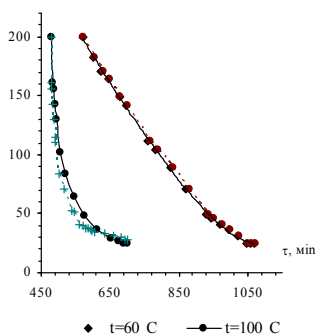


Fig. 2. Verificarea gradului de corespundere a curbelor de uscare, obținute experimental și prin calcule, cu metoda combinată de energie, $E=8750$ V/m

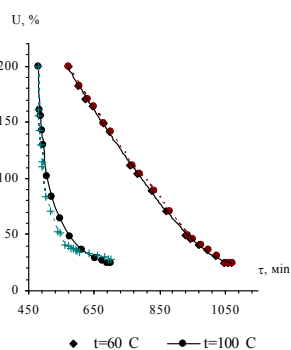


Fig. 3. Verificarea gradului de corespundere a curbelor de uscare, obținute experimental și prin calcule, cu metoda combinată de energie, $E=18000$ V/m

În concluzie, metodele apropiate de generalizare a curbelor cineticii procesului de uscare, pe care vi le propunem aici, permit să se efectueze anticipat aprecierea calitativă a derulării procesului de uscare la schimbarea regimului, ceea ce oferă posibilitatea de a reduce considerabil numărul experiențelor.

BIBLIOGRAFIE

1. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Москва.- Мир, 1980. 612 стр.
2. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Кн. 1, Москва, Финансы и статистика.- 1986. 368 стр.
3. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Кн. 2, Москва, Финансы и статистика.- 1987. 352 стр.
4. Красников В.В. Закономерности кинетики сушки влажных материалов //ИФЖ. – 1970.-т.19.- №1. стр. 34-41.
5. Красников В.В. Кондуктивная сушка. – М.: Энергия, 1973. 288 стр.
6. Лупу О. Теоретическое и экспериментальное исследование сушки абрикос с применением токов высокой частоты // Диссертация на уч.степень д.т.н. – Кишинев. – 2005.
7. Степанов М.Н. Статистические методы обработки результатов испытаний. Справочник. Москва, Машиностроение.- 1985, 323 стр.
8. Федоров В.Г., Плесконос А.К. Планирование и реализация экспериментов в пищевой промышленности. Москва. Пищевая промышленность.- 1980. 240 стр.

SUMMARY

For regression analyses applied in the experiment data processing and for deriving reasonable inferences about properties of the chosen equation, it was used the method of the least squares. For drying process, and for the generalized equation of drying process, the best association is multiplicative sedate association of an exit pupil on the factors influencing given process. For data processing it has been applied method of least squares and it was used the package of mathematical programs MathCAD. The equations of the generalized curves of drying have been received at convective and combined methods of energy supply and it have been constructed curves defining adequacy of the given models.