

TASHQI FIZIK MAYDONLAR TA'SIRIDA QURITISH JARAYONINING MATEMATIK MODEL VA ANALITIK TAHLILI

Axmedov Azamat Xaitovich

Islom Karimov nomidagi

Toshkent davlat texnika universiteti professori,

texnika fanlari doktori

azam0602@mail.ru

+998901232287

Mamadaliyev Xayitali Jaloliddin o'g'li

Islom Karimov nomidagi

Toshkent davlat texnika universiteti

tadqiqotchisi

uzxayitali@gmail.com

+998912017100

ANNOTATSIYA

Ushbu maqolada tashqi fizik maydonlar – infraqizil nurlanish, mikroto'qin, ultratovush, elektromagnit va elektr-magnit maydonlar ta'sirida quritish jarayonining matematik modeli ishlab chiqilgan. Quritish jarayonidagi issiqlik va massani uzatish jarayonlari matematik tenglamalar asosida ifodalanib, analitik va sonli yechimlar keltirilgan. Har bir turdagi maydon uchun alohida fizik-matematik modellash usuli bayon etilgan va ularning quritish tezligiga, mahsulot sifati va energiya samaradorligiga ta'siri tahlil qilingan. Model natijalari asosida quritish rejimlarini optimallashtirish va qurilma parametrlari asoslash imkoniyati yaratilgan.

Kalit so'zlar: quritish jarayoni, tashqi fizik maydon, infraqizil nurlanish, mikroto'qinli quritish, ultratovush, matematik model, issiqlik uzatish, namlik diffuziyasi, analitik yechim.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АНАЛИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СУШКИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНИХ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

АННОТАЦИЯ

В данной статье разработаны математические модели процесса сушки под воздействием внешних физических полей — инфракрасного излучения, микроволн, ультразвука, электромагнитного и электрического полей. Описаны процессы теплопередачи и массообмена в условиях воздействия различных

физических факторов. Приведены аналитические и численные решения уравнений переноса. Для каждого типа внешнего поля представлены специфические особенности моделирования. Результаты моделирования позволяют определить оптимальные режимы сушки и обосновать параметры оборудования.

***Ключевые слова:** процесс сушки, внешние физические поля, инфракрасное излучение, микроволновая сушка, ультразвук, математическая модель, теплопередача, диффузия влаги, аналитическое решение.*

MATHEMATICAL AND ANALYTICAL MODELING OF DRYING UNDER EXTERNAL PHYSICAL FIELDS

ABSTRACT

This paper presents mathematical models of the drying process under the influence of external physical fields such as infrared radiation, microwaves, ultrasound, electromagnetic and electric fields. The study describes the heat and mass transfer phenomena influenced by these fields through corresponding differential equations. Analytical and numerical solutions are derived for various scenarios. Each type of external field is modeled with its specific energy transfer characteristics. The results enable optimization of drying regimes and justification of equipment parameters to improve drying efficiency and product quality.

***Key words:** drying process, external physical field, infrared radiation, microwave drying, ultrasound, mathematical model, heat transfer, moisture diffusion, analytical solution.*

KIRISH

So‘nggi yillarda energiya samaradorligini oshirish, mahsulot sifatini saqlab qolish va quritish vaqtini qisqartirishga qaratilgan tadqiqotlar zamonaviy quritish texnologiyalarining rivojlanishiga turtki bo‘lmoqda. An’anaviy quritish usullarida, asosan, issiqlik uzatish jarayonlari asosiy omil sifatida ko‘rilgan bo‘lsa, hozirgi kunda tashqi fizik maydonlardan foydalanish quritish samaradorligini oshirishning muhim vositasi sifatida qaralmoqda [1].

Tashqi fizik maydonlar — jumladan, elektromagnit to‘lqinlar, infraqizil (IN) nurlanish, mikroto‘lqin energiyasi, ultratovush tebranishlari, shuningdek elektr va magnit maydonlar — mahsulotga energiyani chuqurroq yetkazish orqali quritish jarayonining intensivligini oshiradi. Bu kabi energiya manbalari issiqlik va massani uzatish jarayonlarini faollashtiradi, mahsulot ichida harorat va namlik gradiyentini

hosil qiladi, bu esa quritish tezligining ortishiga va mahsulotning organoleptik hamda oziqaviy xususiyatlarining saqlanishiga yordam beradi.

Quritish mohiyatan mahsulot tarkibidagi ortiqcha namlikni yo‘qotish jarayoni bo‘lib, quyidagi uchta asosiy fizik bosqichni o‘z ichiga oladi:

Namlikning mahsulot ichki qatlamidan sirtga qarab diffuziylanishi;

Namlikning sirt bo‘yicha bug‘lanishi;

Hosil bo‘lgan bug‘larning tashqi muhitga havo oqimi orqali olib chiqilishi.

Ushbu jarayonlar asosan issiqlik va massani uzatish qonuniyatlariga asoslanadi. Biroq tashqi fizik maydonlar ishtirokida bu jarayonlar murakkablashadi va qo‘shimcha fizik-kimyoviy omillar hisobga olinishi zarur bo‘ladi. Misol uchun, infraqizil nurlanish mahsulot sirtini yuqori tezlikda qizdirib, ichki namlik diffuziyasini kuchaytiradi, mikroto‘lqin esa mahsulotning butun hajmi bo‘ylab dielektrik qizishni ta‘minlab, ichki issiqlik manbai vazifasini bajaradi. Shuningdek, ultratovush ta‘sirida kavitatsiya hodisasi yuzaga kelib, suyuqliklar va gazlar chegarasida namlikning ajralishini jadallashtiradi [3-6].

Quritish jarayonini chuqur ilmiy tahlil qilish va samaradorligini oshirish maqsadida bu jarayonlarni matematik modellashtirish zarur. Tashqi fizik maydonlar ostida quritishning matematik modellari mahsulotning termofizik xossalari, geometrik shakli, tashqi energiya manbalari va quritish muhitining holati kabi parametrlarni hisobga olgan holda tuziladi. Modellashtirish natijasida hosil bo‘lgan differensial tenglamalar issiqlik va massani uzatishning fazoviy-vaqtinchalik qonuniyatlarini ifodalaydi.

Mazkur matematik modellarning analitik yoki sonli yechimlari quritish rejimlarini optimallashtirish, mahsulot sifatini nazorat qilish, issiqlik energiyasi sarfini kamaytirish va texnologik qurilmalarning samarali ishlash rejimini aniqlash imkonini beradi. Shu tariqa, tashqi fizik maydonlar ta‘sirida quritish jarayonlarini chuqur modellashtirish — zamonaviy qishloq xo‘jaligi va oziq-ovqat sanoati texnologiyalarini takomillashtirish yo‘lida muhim yo‘nalishlardan biri hisoblanadi [7-10].

Tashqi fizik maydonlar ta‘sirida quritish jarayonini matematik modellashtirish quyidagi umumiy qonuniyatlarga asoslanadi:

Uch o‘lchovli issiqlik uzatish tenglamasi (Furye tenglamasi) [2]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + Q, \quad (1)$$

bunda:

T – harorat ($^{\circ}C$),

α - issiqlik tarqalish koeffitsiyenti (m^2 / s),

Q - tashqi issiqlik manbalarining (masalan, infraqizil yoki mikroto'liqlik energiya) qo'shilgan zichligi.

Namlilik uzatish tenglamasi (Fikning ikkinchi qonuni):

$$\frac{\partial W}{\partial t} = D \cdot \Delta^2 W, \quad (2)$$

bunda:

W - mahsulotdagi namlilik nisbati (%),

D - namlilik diffuziyasi koeffitsiyenti (m^2 / s).

Tashqi fizik maydonlar ta'siri quyidagicha inobatga olinadi:

a) Infraqizil nurlanish (IN):

Yuqori chastotali IN nurlari mahsulot yuzasini tez qizdiradi.

Harorat gradiyenti ortadi $\rightarrow$ ichki diffuziya kuchayadi.

Modelga qo'shimcha IN energiyasi hisobga olinadi:

$$Q_{IN} = \varepsilon \cdot \alpha \cdot (T_{IN}^4 - T^4). \quad (3)$$

b) Mikroto'liqlik quritish:

Dielektrik isitish natijasida mahsulot ichki qismida energiya ajraladi:

$$Q_{MW} = 2\pi f \varepsilon'' E^2, \quad (4)$$

bunda:

f - chastota (Hz),

ε'' - dielektrik yo'qotish koeffitsiyenti,

E - elektr maydon kuchlanganligi (V / m).

c) Ultratovushli quritish:

Gaz va suyuqlik chegarasida kavitatsiya paydo bo'ladi, bu esa namlilik ajralishiga yordam beradi. Modelda ultratovush ta'sirida namlilik diffuziyasi koeffitsiyenti D ortadi:

$$D = D_0 (1 + \beta \cdot I), \quad (5)$$

bunda I - ultratovush intensivligi.

Aralash fizik maydonlar ta'sirida modellashtirish

Ba'zan fizik maydonlar kombinatsiyasi (masalan, IN + mikroto'liqlik, yoki IN + havo) ishlatiladi. Bunda umumiy energiya balansi quyidagicha yoziladi:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q_{IN} + Q_{MW} + \dots \quad (6)$$

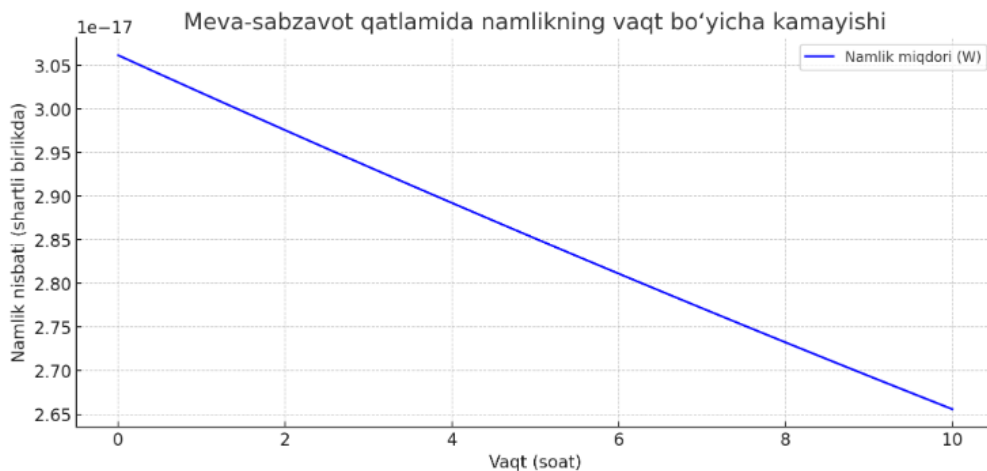
va umumiy namlilik uzatish:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \nabla \cdot (D_{eff} \nabla W), \quad (7)$$

bunda D_{eff} — tashqi maydonlar ta'siridagi samarali diffuziya koeffitsiyenti.

Agar masala bir o'lchovli, statsionar va chiziqli deb qaralsa, ba'zi soddalashtirilgan holatlarda (7) tenglamaning analitik yechimlarini olish mumkin. Masalan:

$$W(x,t) = W_0 \cdot e^{-\frac{D \cdot \pi^2 \cdot t}{L^2}} \cdot \cos\left(\frac{\pi x}{L}\right) \quad (8)$$



1-rasm. Meva-sabzavot qatlamida namlikning yo'qotilishi grafigi

Ushbu grafik — tashqi fizik maydonlar ta'sirida quritish jarayonining matematik modellari uchun klassik analitik model asosida qurilgan bo'lib, unda quyidagi ilmiy farazlar va parametrlar hisobga olingan:

- Quritilayotgan mahsulot (meva yoki sabzavot) bir jinsli qatlam sifatida tasvirlangan;
- Namlik tarqalishi Fikning ikkinchi qonuniga (diffuziya tenglamasiga) bo'ysunadi;
- Qatlamning qalinligi $L = 5\text{sm}$;
- Namlik tarqalishining effektiv koeffitsiyenti $D = 10^{-9} \text{ m}^2 / \text{s}$;
- Dastlabki namlik miqdori $W_0 = 0,5$;
- Grafikda qatlamning o'rtasidagi nuqtada ($x = L / 2$) namlik miqdorining vaqtga nisbatan o'zgarishi ko'rsatilgan.

Tuzilgan matematik model asosida quyidagi asosiy tahliliy xulosalarga kelindi:

1. Quritish jarayonining boshlang'ich bosqichlarida namlik tez sur'atda kamayadi. Bu bosqichda mahsulot yuzasida va yaqin qatlamlarida namlik kontsentratsiyasi yuqori bo'lib, diffuziya gradiyenti kuchli namoyon bo'ladi. Tashqi fizik maydonlar, ayniqsa infraqizil nurlanish yoki mikroto'lqin energiyasi, sirt haroratini tez oshiradi, bu esa bug'lanish tezligini keskin kuchaytiradi. Ushbu bosqichda issiqlik va massani uzatish koeffitsiyentlari maksimal darajada ishlaydi.

2. Quritish jarayonining keyingi bosqichlarida diffuziya jarayoni sekinlashadi. Vaqt o'tishi bilan mahsulot yuzasidagi namlik kamayadi, natijada sirt orqali bug'lanish susayadi va ichki namlik qatlamlaridan tashqariga chiqish uchun katta qarshilikka duch keladi. Bu bosqichda issiqlik oqimi asosiy rolni o'ynaydi, ammo namlik oqimi ichki diffuziyaga bog'liq bo'lib qoladi. Tashqi fizik maydonlar bu bosqichda ham ichki qatlamlarga energiya yetkazib, jarayonni biroz faollashtirishi mumkin, biroq umumiy diffuziya sur'ati pasaygan bo'ladi.

3. Model asosida qurilgan grafiklar quritish jarayonini nazariy tahlil qilish va texnologik parametrlarni optimallashtirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Grafiklar mahsulotning ma'lum chuqurligidagi (masalan, qatlam markazidagi) namlik kontsentratsiyasining vaqtga nisbatan o'zgarishini aks ettirib, quritish rejimini tanlash, tashqi energiya manbalarining optimal darajasini belgilash va qurilmaning konstruktiv xususiyatlarini asoslash imkonini beradi. Bunday modellash usuli mahsulotning sifatini saqlab qolgan holda tez va energiya tejamkor quritish jarayonlarini ishlab chiqishda qo'llanilishi mumkin.

ИҚТИБОСЛАР/СНОСКИ/REFERENCES

1. Karimov K.A., Kushimov B.A., Akhmedov A.Kh., Development of mathematical models, resource-energy-saving technologies and designs for drying seeds of dispersed materials. Monograph «ZEBO PRINTS» Tashkent-2022.
2. Суслов В.А. Тепломассообмен: учебное пособие, 3-е изд., перераб. и доп., Санкт-Петербург: Изд. ГОУ ВПО СПбГТУРП – 2008 -120 с. ISBN 5-230-14398-3.
3. Karimov, K., Akhmedov, A., Kushimov, B., Yuldoshev, B. (2020). Justification, development of new technology and design for drying seeds of desert fodder plants / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 883. 012107. 10.1088/1757-899X/883/1/012107.
4. Kushimov B.A., Karimov K.A., Mamadaliev Kh.Zh. Formulation and development of energy-saving technology for drying seeds of desert fodder plants. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science this link is disabled, 2021. <http://www.scopus.com/inward/record>.
5. Nelson, S.O. and Datta, A.K. Dielectric properties of food materials and electric field interactions [Text]. // Handbook of Microwave Technology for Food Applications, A.K. Datta and R.C. Anantheswaran, Eds. New York: Marcel Dekker, 2001, pp. 69-114.

6. Кушимов Б.А., Каримов К.А., Ахмедов А.Х. К аналитическому описанию сушки под действием теплового облучения для нестационарных и стационарных задач. // «Вестник ТГТУ», Ташкент, 2018. №1, С. 86 – 92.
7. Кушимов Б.А., Каримов К.А., Ахмедов А.Х. Постановка и решение стационарных задач тепломассообменных процессов в технологических машинах для сушки семян. // «Вестник ТГТУ», Ташкент, 2018. №3, С. 147-150.
8. Кушимов Б.А. Каримов К.А. Ахмедов А. Разработка и аналитическая реализация математических моделей процесса сушки с помощью внешних физических полей (часть 1-2). // Узбекский журнал «Проблемы механики». Ташкент, 2019. №2 С. 86 – 92.
9. Karimov, K., Akhmedov, A., Kushimov, B., Yuldoshev, B. (2020). Justification, development of new technology and design for drying seeds of desert fodder plants / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 883. 012107. 10.1088/1757-899X/883/1/012107.
10. Rakhmatov O. Improvement of technology and technical means for drying and cleaning grape berries. Abstract of dissertation (DSc). Tashkent, 2019. 63 p.