



УДК 631.365.2

DOI: 10.37128/2520-6168-2019-1-8

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ ЗЕРНОСУШАРКИ З ІНДУКЦІЙНИМ ПІДВЕДЕННЯМ ЕНЕРГІЇ****Котов Борис Іванович** д.т.н., професор

Подільський аграрно-технічний університет

**Швидя Віктор Олександрович**, к.т.н., ст. наук. співр.

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

**Панцир Юрій Іванович**, к.т.н., доцент**Герасимчук Ігор Дмитрович**, к.т.н, доцент

Подільський аграрно-технічний університет

**B. Kotov**, Doctor of Technical Sciences, Full Professor

Podolsky Agrarian and Technical University

**V. Shvidia**, PhD, Senior Researcher

National scientific centre "Institute for Agricultural Engineering and Electrification"

**Yu. Pantsyr**, PhD, Associate Professor**I. Herasymchuk**, PhD, Associate Professor

Podolsky Agrarian and Technical University

*На основі аналізу теплового і матеріального балансу і спрощених уявлень про процес сушіння зернового матеріалу при кондуктивно-конвективному теплообміні матеріалу з тепловиділяючими елементами (ТВЕ), які нагрівають у магнітному полі циліндричного індуктора, сформована математична модель нестационарного режиму процесу сушіння з розподіленими параметрами. Отримані аналітичні залежності, які визначають розподіл параметрів за координатою, з використанням яких сформована динамічна модель процесу сушіння.*

*Ключові слова: сушіння, індуктор, сушильна установка, індукційний нагрів, тепло- і масообмін, стаціонарний і нестационарний режим.*

**Ф. 19. Рис. 3. Літ. 9.**

---

**1. Постановка проблеми**

Одним із важливих етапів післязбиральної обробки зернового і насінневого матеріалу є сушіння. Це складний, енергоємний і відповідальний технологічний процес, у результаті якого якісні показники матеріалу повинні бути не тільки збережені, а й покращені. Технологічна та енергетична ефективність процесу сушіння зумовлена, в основному, такими факторами: конструкційними особливостями сушильної установки і режимами сушіння, які закладені при її розробці; рівнем автоматизації процесу керування режимами сушильної установки, які мають забезпечити реалізацію енергетичних і матеріальних балансів на оптимальному рівні. Для синтезу систем автоматичного керування сушильною установкою з електричним (елементним чи індукційним) нагрівом матеріалу і сушильного агента необхідно мати математичний опис статичних і динамічних характеристик сушарки, як об'єкта керування. Очевидно, що спрощені підходи до опису нестационарних процесів не дають можливості виявити, а потім реалізувати раціональний спосіб керування сушильно-термічним процесом. Застосування динамічних математичних моделей процесу сушіння, адекватних реальним процесам у натурних установках, дають можливість у ході їх досліджень (математичними методами) знайти оптимальні або близькі до них рішення.

---

**2. Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Завданням автоматизації сушильних установок в останні роки приділяється достатньо уваги [1, 2, 3]. Але у цих роботах розглядаються математичні моделі, як складова частина створення систем автоматичного керування, виключно типових сушарок з конвективним підведенням теплової енергії до матеріалу. У більш ранніх роботах [4, 5] розглянуто питання кондуктивно-конвективного сушіння насінневих матеріалів з електричним нагрівом елементним або індуктивним способом. Доведена висока ефективність цього виду обладнання. Але розглянуто тільки періодичний процес, а математичний опис процесу сушіння, у вигляді диференціальних рівнянь, зведено до визначення експозиції сушіння. Більш вдосконалена математична модель індуктивної установки для



термообробки ріпаку подана у роботі [6]. Але розглядається тільки зміна температури насіння і тепловиділяючого елемента, сушильний агент відсутній — чисто кондуктивний теплообмін. Таким чином, спрощені підходи не дають можливість виявити переваги або недоліки даного способу енергопідведення. Разом з тим, можливість безконтактної передачі енергії рухомих тепловиділяючим елементам [7], можливість додаткового відбору теплоти обмоток індуктора [8] і розгалуження поверхні теплообміну [7, 8] свідчать про перспективність установок такого типу. Можливість ефективного автоматичного керування індукційним нагрівом визначена у роботі [7].

### 3. Мета роботи

Створення математичної моделі динамічних режимів установки для термообробки і сушіння насіння при індукційному підведенні теплоти.

### 4. Основні результати досліджень

При моделюванні будемо розглядати тепловий баланс чотирьох теплових ємностей і двох «вологоємних» потоків. Відповідно до схеми установки процеси тепло- і масообміну описуємо за спрощеною схемою: теплота, яка виділяється у елементах навантаження індуктора при дії електромагнітного поля витрачається на нагрівання матеріалу і повітря; теплота отримана матеріалом витрачається на нагрів, випаровування вологи і частково передається до стінки корпусу; теплота, отримана повітрям, витрачається на нагрів повітря і передається матеріалу і стінці корпусу; теплота передана корпусу витрачається на його нагрів і передається в оточуюче середовище. Теплообмін відбувається конвективно-кондуктивною передачею з частковим випромінюванням, інтенсивність якого визначається ефективним коефіцієнтом теплообміну  $\alpha_e$  (визначається експериментально). Вологообмін відбувається за законом Дальтона з поверхні, вкритою вологою.

Використовуємо такі умовні позначення:  $\theta_1, \theta_2, t, \theta_3$  — температура тепловиділяючого елемента, зерна, повітря, корпусу, °С;  $u, x$  — вологовміст матеріалу та повітря, %;  $\alpha_e, \alpha$  — ефективний і конвективний коефіцієнт теплообміну;  $F_1, F_2, F_3, F_2'$  — поверхні теплообміну ТВЕ, зерна, корпусу і поверхня масообміну зернового матеріалу, м<sup>2</sup>;  $m_1, m_2, m_3, m_4$  — маса ТВЕ, зерна, повітря та корпусу, кг;  $G_2, G_3, G_{o2}$  — масові витрати повітря, зерна й абсолютно сухого зерна, відповідно, кг/с;  $r_0$  — питома теплота пароутворення, Дж/кг;  $H$  — висота камери сушіння, м;  $m_0$  — маса абсолютно сухого зерна, кг;  $\beta$  — коефіцієнт масообміну, кг/м<sup>2</sup>·год;  $P_A, P_K$  — атмосферний тиск і тиск у сушильній камері, Па;  $P$  — теплова потужність ТВЕ, кВт;  $\eta$  — коефіцієнт корисної дії;  $a, b, c$  — константи;  $c_1, c_2, c_3, c_4$  — питома теплоємність ТВЕ, зерна, повітря та корпусу, Дж/кг °С;  $B = \frac{P_A}{P_K}$ ;

$Rb$  — критерій Ребіндера.

Система диференціальних рівнянь, що описує чотирьохемністний тепловий об'єкт для двох рухомих потоків — повітря і дисперсного матеріалу, двох нерухомих теплових ємностей — корпус сушильної камери і тепловиділяючі елементи (ТВЕ), може бути сформульована на основі елементарного теплового балансу для відрізка довжиною  $dh$ , при загальноприйнятих спрощуючих припущеннях: безградієнтний перенос теплоти і маси у матеріалі; незмінність коефіцієнтів тепло- і масообміну у часі; відсутність тепло- і масо переносу у напрямку руху потоків. (рис. 1).

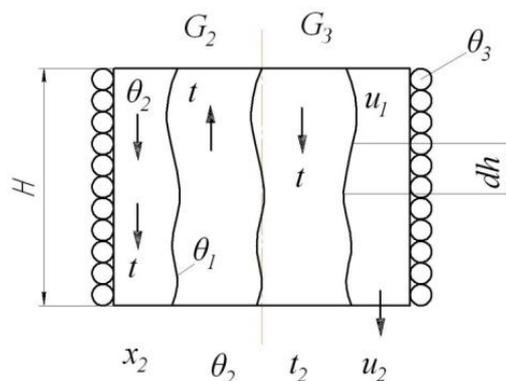


Рис. 1. Розрахункова схема сушильної установки



Рівняння теплового балансу для кожної із вище названих ємностей запишемо у вигляді:

$$T_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial \tau} + \theta_1 = P' + k_1 \theta_2 + k_2 t, \quad (1)$$

$$T_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial \tau} + T_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial h} + \theta_2 = k_3 t + k_4 P_1', \quad (2)$$

$$T_3 \frac{\partial t}{\partial \tau} + T_3 \frac{\partial t}{\partial h} + t = k_5 \theta_2 + k_6, \quad (3)$$

$$T_4 \frac{\partial \theta_4}{\partial \tau} + \theta_3 = k_7 \theta_2 + k_8 t + k_9 t_0. \quad (4)$$

Рівняння матеріального балансу для матеріалу і повітря:

$$T_5 \frac{\partial x}{\partial \tau} + T_5 \frac{\partial x}{\partial h} + x = k_{10} \theta_2 + k_{11}, \quad (5)$$

$$T_6 \frac{\partial u}{\partial \tau} + T_6 \frac{\partial u}{\partial h} + u = k_{12} - k_{13} \theta_2. \quad (6)$$

В рівняннях (1) – (6) позначено:  $T_1 = \frac{c_1 m_1}{(\alpha_e + \alpha) F_1}$ ,  $k_1 = \frac{\alpha_e}{\alpha_e + \alpha}$ ,  $k_2 = \frac{\alpha}{\alpha_e + \alpha}$ ,  $T_2 = \frac{G_{O2} \bar{c}_2 \cdot H}{l_5}$ ,  
 $T_2' = \frac{m_2 \bar{c}_2}{l_5}$ ,  $\bar{c}_2 = G_2 \left( G_2 + \frac{G_{O2}}{r_0 R b} \right)$ ,  $Rb = \frac{c_2 d \theta_2}{r_0 du}$ ,  $k_3 = \frac{l_4}{l_5}$ ,  $k_4 = \frac{l_6}{l_5}$ ,  $l_6 = \alpha_e F_1$ ,  $P_1' = \frac{P}{(\alpha_e + \alpha) F_1}$ ,  $k_5 = \frac{l_1}{l_2}$ ,  
 $k_6 = \frac{l_3}{l_2}$ ,  $T_3 = \frac{G_3 \cdot c_3 H}{l_2}$ ,  $T_3' = \frac{m_3 c_3}{l_2}$ ,  $l_5 = \alpha_2 F_2 + \alpha_e F_1 + k_1$ ,  $l_2 = \alpha_1 F_1 + \alpha_2 F_2 + \alpha_3 F_4 + k_2$ ,  
 $l_3 = \alpha_1 F_1 P_1' + \alpha_3 F_4 \theta_4 + r_0 \beta F_2' [a - b(\bar{c} \theta_{O2} - x_1)]$ ,  $l_6 = \alpha_e F_1 P_1'$ ,  $x = \bar{c} \theta - \bar{c} \theta_{O2}$ ,  $\bar{c} = \frac{G_{O2} c_2}{r_0 G_2}$ ,  
 $T_4 = \frac{m_4 \cdot c_4}{l_7}$ ,  $k_7 = \frac{l_8}{l_7}$ ,  $k_8 = \frac{l_9}{l_7}$ ,  $k_9 = \frac{l_{10}}{l_7}$ ,  $l_7 = \alpha F_1 + \alpha F_3 + k F_4$ ,  $k = \alpha_e F_1 + \alpha_1 F_1$ ,  $T_5 = \frac{G_3 P_A}{b P_K}$ ,  
 $T_5' = \frac{m_3 \cdot P_A}{b P_K}$ ,  $k_{10} = \frac{\beta \cdot \alpha \cdot F_2' \cdot P_A}{b P_K}$ ,  $k_{11} = \frac{\beta \cdot c \cdot F_2'}{b}$ ,  $T_6 = \frac{G_{O2} \cdot P_A}{\beta \cdot F_2' \cdot R \cdot b \cdot P_K}$ ,  $T_6' = \frac{m_0 \cdot P_A}{\beta \cdot F_2' \cdot R \cdot b \cdot P_K}$ ,  $k_{12} = \frac{a}{b \cdot R}$ ,  
 $k_{13} = \frac{c + b \cdot x_1 + b \cdot R \cdot u_1}{b \cdot R}$ ,  $R = \frac{G_{O2}}{G_3}$ .

Отримана система рівнянь описує нестационарний тепло- і масообмін при індукційному підведенні теплової енергії і може бути розв'язана числовим методом з використанням комп'ютера і типових програм при наступних граничних умовах:  $\tau = 0$ ,  $u = u_0$ ,  $t = t_0$ ,  $\theta = \theta_0$ ,  $x = x_0$ ;  $x = 0$ ,  $x = x_1$ ,  $\theta = \theta_1$ ,  $u = u_1$ ,  $t = t_1$  — початкові параметри процесу та їх значення на вході у сушильну установку.

Розглянемо стаціонарний процес  $\frac{\partial u}{\partial \tau} = \frac{\partial x}{\partial \tau} = 0$ ,  $\frac{\partial \theta_1}{\partial \tau} = \frac{\partial \theta_2}{\partial \tau} = \frac{\partial t}{\partial \tau} = 0$ . При стаціонарному встановленому режимі у кожній точці об'єму сушильної камери всі параметри від часу не залежать. Прирівнюючи похідні за часом до нуля і упускаючи проміжні перетворення розв'язку системи диференціальних рівнянь відносно параметрів потоків матеріалу і повітря:  $\theta(h)$ ,  $t(h)$ ,  $x(h)$ ,  $u(h)$ , запишемо кінцевий результат у вигляді наступних залежностей:

$$\theta_2(h) = \frac{\theta_1 A_3 - A_4}{A_3 \cdot (r_1 - r_2)} [r_1 e^{r_2 h} - r_2 e^{r_1 h}] + \frac{A_4}{A_3}, \quad (7)$$

$$t(h) = \frac{t_1 A_3 - A_4}{A_3 \cdot (r_1 - r_2)} [r_1 e^{r_2 h} - r_2 e^{r_1 h}] + \frac{A_4}{A_3}, \quad (8)$$

$$x(h) = C_0 e^{-Bbh} + \frac{C}{B \cdot b} + \frac{D_1}{r_2 - Bb} e^{r_2 h} - \frac{D_2}{r_1 - Bb} e^{r_1 h}, \quad (9)$$

$$u(h) = u_1 - RC_0 (1 - e^{-Bbh}) + \frac{D_1}{r_2 - Bb} (1 - e^{r_2 h}) - \frac{D_2}{r_1 - Bb} (1 - e^{r_1 h}), \quad (10)$$

де  $A_1 = T_2 T_3$ ;  $A_2 = a_1 T_2 + a_2 T_1$ ;  $A_3 = a_1 a_2 - 1$ ;  $A_4 = \frac{P_1'}{b_2 + a_2 b_1}$ ;  $A_5 = \frac{P_1'}{b_2 - a_2 b_1}$ ;  $a_1 = \frac{l_2}{l_1}$ ,  
 $a_2 = \frac{l_5}{l_4}$ ;  $b_1 = \frac{l_3}{l_1}$ ;  $b_2 = \frac{l_6}{l_4}$ ;  $C_0 = x_1 - \frac{C}{B \cdot b} - \frac{D_1}{r_2 + Bb} + \frac{D_2}{r_1 + Bb}$ ;  $B = \frac{\beta F_2'}{G_3 H} \cdot \frac{P_A}{P_K}$ ;  $C = Bc + Ba \frac{A_3}{A_2}$ ;

$D_1 = Vak_{T1} r_1$ ;  $D_2 = Vak_{T1} r_2$ ;  $k_{T1} = \frac{\theta_1 A_3 - A_5}{A_3 \cdot (r_1 - r_2)}$ ;  $r_1, r_2 = \frac{-A_2 \pm \sqrt{A_2^2 - 4A_1 A_3}}{2A_1}$  — корені

характеристичного рівняння.



Отримані залежності (7) – (10) визначають розподіл параметрів процесу за висотою сушильної камери. Значення цих параметрів на виході (кінцеві значення) отримують підстановкою:  $h = H$ .

Продиференціюємо залежності (7) – (10) за координатою  $h$ :

$$\frac{d\theta_2(h)}{dh} = k_{T2}(e^{r_2 h} - e^{r_1 h}) = F_2(h), \quad (11)$$

$$\frac{dt(h)}{dh} = k_{T3}(e^{r_2 h} - e^{r_1 h}) = F_3(h), \quad (12)$$

$$\frac{dx(h)}{dh} = -C_0 B b e^{-B b h} + \frac{D_1 r_2}{r_2 - B b} e^{r_2 h} - \frac{D_2 r_1}{r_1 - B b} e^{r_1 h} = F_5(h), \quad (13)$$

$$\frac{u(h)}{dh} = -B \cdot c \cdot R \cdot C_0 e^{-B c h} + \frac{D_1 r_2}{r_2 - B b} e^{r_2 h} - \frac{D_2 r_1}{r_1 - B b} e^{r_1 h} = F_6(h), \quad (14)$$

Підставляючи отримані значення похідних [9] за координатою у відповідні рівняння системи (1) – (6) і приймаючи до уваги сталі значення температури корпусу  $\theta_4 = f \cdot [P \cdot (1 - \eta)] = const$ , отримаємо систему диференціальних рівнянь, яка описує нестационарний (перехідний) режим роботи сушильної установки:

$$T_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial \tau} + \theta_1 = P' + k_1 \theta_2 + k_2 t, \quad (15)$$

$$T_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial \tau} + \theta_2 = -F_2(h) + k_3 t + k_4 P_1', \quad (16)$$

$$T_3 \frac{\partial t}{\partial \tau} + t = -F_3(h) + k_5 \theta_2 + k_6, \quad (17)$$

$$T_5 \frac{\partial x}{\partial \tau} + x = -F_5(h) - k_{10} \theta_2 + k_{11}, \quad (18)$$

$$T_6 \frac{\partial u}{\partial \tau} + u = k_{12} - k_{13} \theta_2 - F_6(h). \quad (19)$$

Отримана система диференціальних рівнянь може бути вирішена на комп'ютері у типових комп'ютерних середовищах MathCad і MatLab.

На рис. 2 представлена імітаційна модель динамічних режимів сушильної установки (відповідно до системи рівнянь (15) – (19)). На рис. 3 наведено графічні залежності зміни параметрів у часі при ( $r_1 = -13,963 \cdot 10^{-3}$ ;  $r_2 = -0,071$ ;  $D_1 = 23,7$ ;  $D_2 = 37,92$ ;  $C = 0,474$ ;  $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$ ,  $u_1 = 0,25 \text{ кг/кг}$ ).

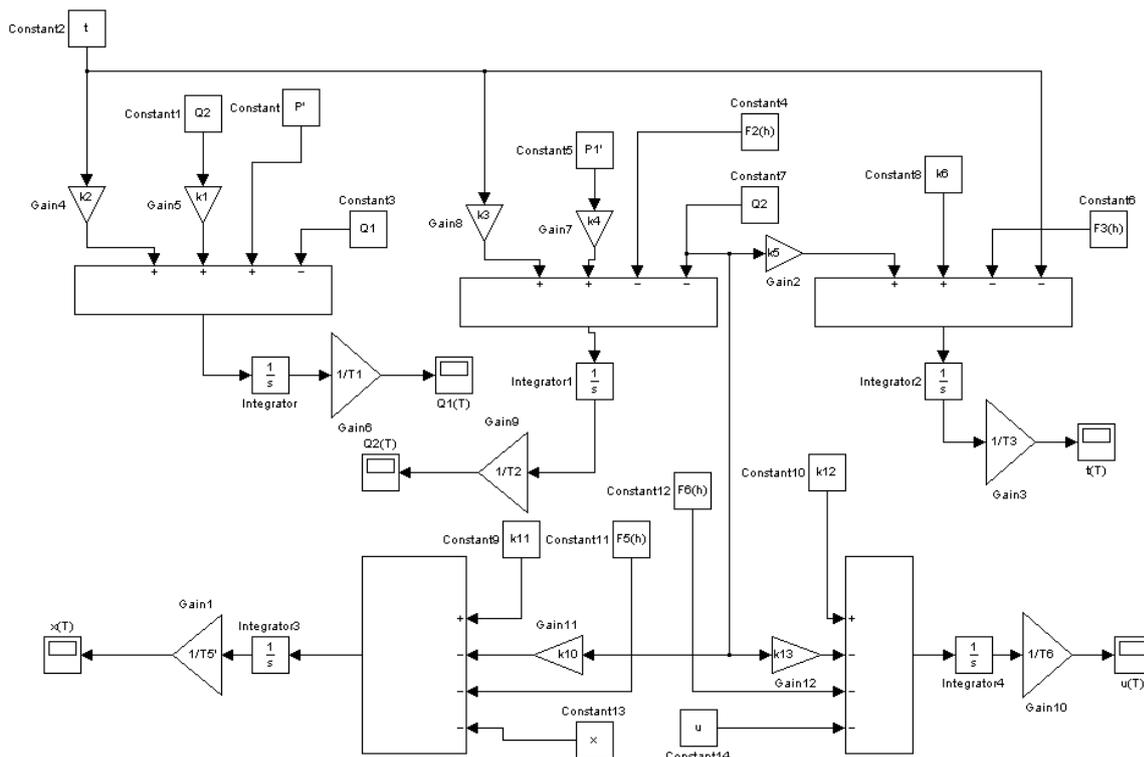


Рис. 2. Імітаційна модель динамічних режимів сушильної установки

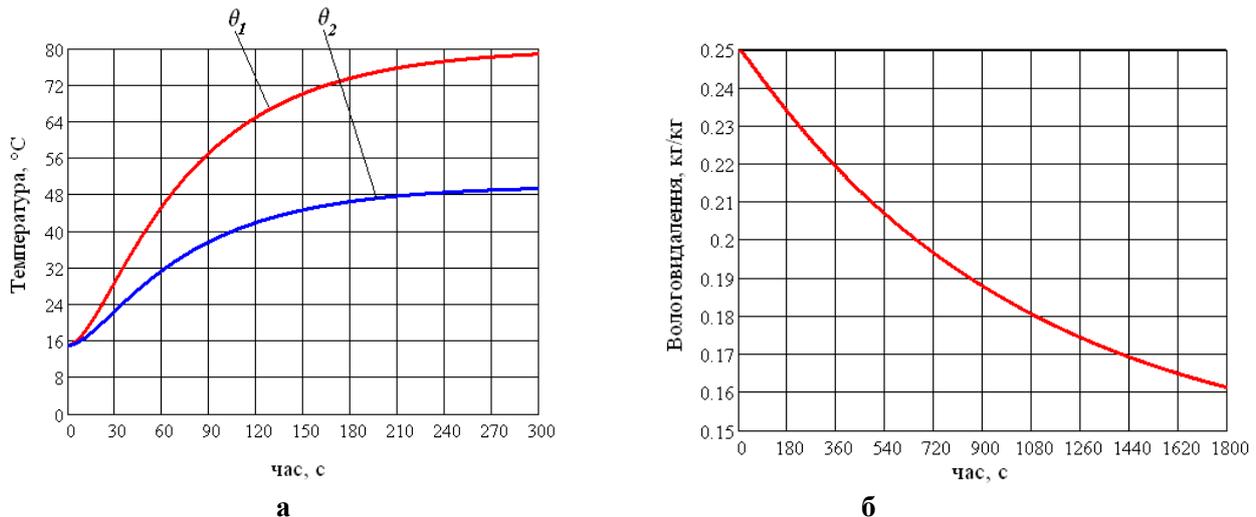


Рис. 3. Кінетика нагріву (а) тепловиділяючого елемента  $\theta_1$ , зерна  $\theta_2$ , а також кінетика вологовидалення (б)

## 5. Висновки

За результатами аналітичних досліджень одержано залежності, які описують стаціонарний режим функціонування сушильної установки з індукційним підведенням теплової енергії і дають можливість визначити вплив режимно-конструкційних параметрів на показники призначення установки.

З використанням статичних характеристик об'єкта моделювання сформована система диференціальних рівнянь, що описує динаміку роботи сушильної установки, як об'єкта з розподіленими параметрами.

## Список літератури

- [1] Остапчук Н. В. Повышение эффективности сушки зерна / Н. В. Остапчук, А. Б. Шашкин, В. Д. Каминский. – К.: Урожай, 1988. – 136 с.
- [2] Гуцинский А. Г. Автоматизация процесса сушки зерна в шахтных зерносушилках с применением микропроцессорной техники / А. Г. Гуцинский // Сб. научных трудов ЛСХА. Л.: Пушкин, 1990. – С. 38 – 44.
- [3] Степанов М. Т. Иммитационная математическая модель процесса сушки зерна / М. Т. Степанов // Наукові праці ОДАХТ. Odesa, 2002. – Вип. 2 - С. 380 – 384.
- [4] Клишкин А. И. Тепловая обработка семян на установках с конвективно-кондуктивным теплоподводом / А. И. Клишкин. Новосибирск: Наука, 1983. — 42 с.
- [5] Черняков И. Е. Исследование процесса сушки семян в плотном слое при конвективно-индуктивном теплоподводе и обоснование параметров селекционной сушилки: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 1981. – 18 с.
- [6] Лисенко В. П. Математичне моделювання процесу температурної обробки зерна ріпаку в щільному шарі з індукційним нагрівом / В. П. Лисенко, Д. С. Комарчук // Біоресурси і природокористування, 2013. - № 5 – 6. – С. 119 –129.
- [7] Комарчук Д. С. Режимы работы электротехнологического комплекса с системой автоматического управления для тепловой обработки зерна ріпаку: автореф. дис. ... канд. техн. наук. К., 2014. – 22 с.
- [8] Химические аппараты с индукционным обогревом / С. А. Горбатков, А. Б. Кувалдин, В. Е. Микеев. – М.: Химия, 1985. – 176 с.
- [9] Котов Б. І. Врахування розподіленості параметрів при моделюванні динамічних режимів сушарок сільськогосподарських матеріалів / Б. І. Котов, С. П. Степаненко, В. О. Швидя // Сільськогосподарські машини. Луцьк, 2016. – Вип. 34. – С. 74 – 78.

## References

- [1] Ostapchuk, N. (1988) *Povyshenye efektyvnosti sushky zerna [Increase in the efficiency of grain drying]* Kyiv: Urozhai [in Russian].



- [2] Gushchinsky, A. (1990) *Avtomatyzatsiia protsessa sushky zerna v shakhtnykh zernosushylkakh s prymeneniyem mykroprotsessornoï tekhniky [Automation of the process of grain drying in silo grain dryers with the use of microprocessor technology]* Sb. nauchnykh trudov LSKhA. Leningrad: Pushkyn. [in Russian].
- [3] Stepanov, M. (2002) *Ymmytatsyonnaïa matematycheskaïa model protsessa sushky zerna [Imitating mathematical model of the process of grain drying]*, 2, 380 – 384, Odessa Naukovi pratsi ODAKhT, [in Russian]
- [4] Klimkin, A. (1983) *Teplovaïa obrabotka semian na ustanovkakh s konvektyvno-konduktivnym teplopodvodom [Heat treatment of seeds in installations with convective-conductive heat supply]* Novosibirsk: Nauka [in Russian].
- [5] Chernyakov, I. (1981) *Yssledovanye protsessa sushky semian v plotnom sloe pry konvektyvno-ynduktyvnom teplopodvode y obosnovanye parametrov selektsyonnoï sushylky [Investigation of the process of drying seeds in a dense layer with a convective-inductive heat supply and the rationale for the parameters of the selection dryer]* Novosibirsk: : avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk [in Russian].
- [6] Lysenko, V. (2013) *Matematychni modeliuvannia protsessu temperaturnoi obrobky zerna ripaku v shchilnomu shari z induktsiynym nahrivom [Mathematical modeling of the process of temperature processing of rape grain in a dense layer with induction heat]*, 5 – 6, 119 – 129, Kharkiv: Bioresursy i pryrodokorystuvannia [in Ukrainian].
- [7] Komarchuk, D. (2014) *Rezhymy roboty elektrotekhnolohichnoho kompleksu z systemoiu avtomatychnoho upravlinnia dlia teplovoi obrobky zerna ripaku [The modes of operation of an electrotechnical complex with an automatic control system for the heat treatment of rape seeds]* Kiev avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk [in Ukrainian].
- [8] Gorbatkov, S. (1985) *Khymycheskiye apparaty s ynduktsyonnym obohrevom [Chemical devices with induction heating]* Moscow: Khymyia [in Russian].
- [9] Kotov, B. (2016) *Vrakhuvannia rozpodilenosti parametriv pry modeliuvanni dynamichnykh rezhymiv susharok silskohospodarskykh materialiv [Consideration of the distribution of parameters in the modeling of dynamic regimes of agricultural materials dryers]*, 34, 74 – 78. Lutsk: Silskohospodarski mashyny [in Ukrainian].

#### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЗЕРНОСУШИЛКИ С ИНДУКЦИОННЫМИ ПОДВОДОМ ЭНЕРГИИ

*На основе анализа теплового и материального баланса и упрощенных представлений о процессе сушки зернового материала при кондуктивно-конвективного теплообмене материала с тепловыделяющими элементами (ТВЭ), которые нагревают в магнитном поле цилиндрического индуктора, сформирована математическая модель нестационарного режима процесса сушки с распределенными параметрами. Полученные аналитические зависимости, определяющие распределение параметров по координате, с использованием которых сформирована динамическая модель процесса сушки.*

*Ключевые слова: сушка, индуктор, сушильная установка, индукционный нагрев, тепло- и массообмен, стационарный и нестационарный режим.*

**Ф. 19. Рис. 3. Літ. 9.**

#### MATHEMATICAL MODELING OF DYNAMIC REGIMES OF GRAINED DRYER WITH INDUCTION SUBSET OF ENERGY

*Based on the analysis of the thermal and material balance and simplified concepts of the drying process of grain material during conductive-convective heat exchange of material with fuel elements (HEE), which are heated in the magnetic field of a cylindrical inductor, a mathematical model of the non-stationary regime of the drying process with distributed parameters is formed. The obtained analytical dependences determining the distribution of parameters along the coordinate with the use of which a dynamic model of the drying process is formed.*

*Keywords: drying, inductor, drying plant, induction heating, heat and mass transfer, stationary and non-stationary mode.*

**F. 19. Fig. 3. Ref. 9.**

**ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ**

**Котов Борис Іванович** – доктор технічних наук, професор кафедри «Енергетики та електротехнічних систем в АПК» Подільського аграрно-технічного університету (вул. Шевченка, 13, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл., 32300, Україна, e-mail: eetsapk@pdatu.edu.ua).

**Швидя Віктор Олександрович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу перспективних технологій і технічних засобів для збирання, обробки та зберігання врожаю зернових і олійних культур Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» (вул. Вокзальна, 11, смт. Глеваха, Васильківський р-н, Київська обл., 08631, Україна, e-mail: Shvidia@gmail.com).

**Панцир Юрій Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, декан інженерно-технічного факультету Подільського аграрно-технічного університету (вул. Шевченка, 13, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл., 32300, Україна, e-mail: panziyuriy@gmail.com).

**Герасимчук Ігор Дмитрович** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Енергетики та електротехнічних систем в АПК» Подільського аграрно-технічного університету (вул. Шевченка, 13, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл., 32300, Україна, e-mail: igorgarasymchuk@gmail.com).

**Котов Борис Іванович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Энергетики и электротехнических систем в АПК» Подольского аграрно-технического университета (ул. Шевченко, 13, г. Каменец-Подольский, Хмельницкая обл., 32300, Украина, e-mail: eetsapk@pdatu.edu.ua).

**Швидя Віктор Олександрович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела перспективных технологий и технических средств для сбора, обработки и хранения урожая зерновых и масличных культур Национального научного центра «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства» (ул. Вокзальная, 11, пгт. Глеваха, Васильковский р-н, Киевская обл., 08631, Украина, e-mail: Shvidia@gmail.com).

**Панцирь Юрий Иванович** – кандидат технических наук, доцент, декан инженерно-технического факультета Подольского аграрно-технического университета (ул. Шевченко, 13, г. Каменец-Подольский, Хмельницкая обл., 32300, Украина, e-mail: panziyuriy@gmail.com).

**Герасимчук Игорь Дмитриевич** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Энергетики и электротехнических систем в АПК» Подольского аграрно-технического университета (ул. Шевченко, 13, г. Каменец-Подольский, Хмельницкая обл., 32300, Украина, e-mail: igorgarasymchuk@gmail.com).

**Kotov Boris** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor of the Department of "Energetic and Electrical Systems in the Agro-Industrial Complex" of the Podolsky Agrarian Technical University (Shevchenko St., 13, Kamyanets-Podilsky, Khmelnytsky region, 32300, Ukraine, e-mail: eetsapk@pdatu.edu.ua).

**Shvidya Victor** – PhD, Senior Researcher of Department of Advanced Technologies and Technological Means for Collecting, Processing and Storage of Grain and Oilseeds Crops of National Research Center "Institute for Mechanization and Electrification of Agriculture" (Vokzalnaya Str. 11, Glevacha, Vasilkovsky district, Kiev region, 08631, Ukraine, e-mail: Shvidia@gmail.com).

**Pantsir Yuriy** – PhD, Associate Professor, Dean of the Faculty of Engineering and Technology of Podolsk Agrarian Technical University (Shevchenko St., 13, Kamyanets-Podilsky, Khmelnytsky region, 32300, Ukraine, e-mail: panziyuriy@gmail.com).

**Gerasimchuk Igor** – PhD, Associate Professor, Head of the Department of "Energy and Electrical Systems in the Agro-Industrial Complex" of the Podolsky Agrarian Technical University (Shevchenko St., 13, Kamenets-Podolsky, Khmelnytsky region, 32300, Ukraine, e-mail: igorgarasymchuk@gmail.com).