

UDK 631.331:061.4

MODELING AND CALCULATION POWER SAVING MODES GRAIN DRYING MATERIALS UNDER ENERGY FIELDS

B. I. Kotov

Podolsky State Agricultural and Technical University. Ukraine.

Speciality of article: 133 – industry engineering.

Corresponding author: bepeck2001@gmail.com.

Article history: Received – October 2019, Accepted – January 2020.

Bibl. 10, fig. 0, tabl. 5.

Abstract. Storing grain quality materials in post harvest handling and storage is largely dependent on correctly implemented the drying process. In agricultural production mainly use costly convection dryer. The main share of wasteful energy consumption accounts for heat drying agent, some heat is lost to the environment through the working surface of the dryers and spent coolant. Ways to reduce these energy costs is to reduce the amount of drying agent in the process to the level necessary to absorb and remove moisture from the dryer and the working volume of the principles of targeted "delivery" of energy to vysushuyemoho material. Last principles successfully implemented using contactless energy supply of electromagnetic fields in a material exposure by microwave or infrared radiation. The article deals with the theoretical background processes of drying material in cyclic mode with infrared heating and high frequency electromagnetic field. The equations change over time settings grain material by heating using high frequency electromagnetic field or infrared light and ventilation in the grain does not allow heated air drying cycle count process. The algorithm calculating the overall process of drying cycle to determine rational modes of the process, providing minimize energy costs. The article deals with the theoretical background processes of drying material in cyclic mode with infrared heating and high frequency electromagnetic field. The equations change over time settings grain material by heating using high frequency electromagnetic field or infrared light and ventilation in the grain does not allow heated air drying cycle count process. The algorithm calculating the overall process of drying cycle to determine rational modes of the process, providing minimize energy costs. The article deals with the theoretical background processes of drying material in cyclic mode with infrared heating and high frequency electromagnetic field. The equations change over time settings grain material by heating using high frequency electromagnetic field or infrared light and ventilation in the grain does not allow heated air drying cycle count process. The algorithm calculating the overall process of drying cycle to determine rational modes of the process, providing minimize energy costs. The equations change over time settings grain material by heating using high frequency electromagnetic field or infrared light and

ventilation in the grain does not allow heated air drying cycle count process. The algorithm calculating the overall process of drying cycle to determine rational modes of the process, providing minimize energy costs. The equations change over time settings grain material by heating using high frequency electromagnetic field or infrared light and ventilation in the grain does not allow heated air drying cycle count process. The algorithm calculating the overall process of drying cycle to determine rational modes of the process, providing minimize energy costs.

Key words: infrared heating, microwave heating, ventilation, drying grain, cyclical drying.

Introduction

The problem of maintaining the quality of grain materials in post harvest handling and storage is largely dependent on correctly implemented the drying process. Currently in agricultural production mainly use costly convection dryer. The main share of wasteful energy consumption accounts for heat drying agent, some heat is lost to the environment through the working surface of the dryers and spent coolant. Ways to reduce these energy costs is to reduce the amount of drying agent in the process to the level necessary to absorb and remove moisture from the dryer and the working volume of the principles of targeted "delivery" of energy to the material.

Formulation of problem

Last principles successfully implemented using contactless energy supply of electromagnetic fields in a material exposure by microwave or infrared radiation. The prospects of using high frequency electromagnetic field (EMF SHF) and infrared (ICHV) during heat treatment and drying grain materials such as independent energy sources defined experimental results. But the search combined methods of treating materials in which energy is supplied only to the material in an amount necessary to achieve a specific action (heating, remove surface moisture or internal) is very relevant and timely. The prospects of using high frequency electromagnetic

field (EMF SHF) and infrared (ICHV) during heat treatment and drying grain materials such as independent energy sources defined experimental results. But the search combined methods of treating materials in which energy is supplied only to the material in an amount necessary to achieve a specific action (heating, remove surface moisture or internal) is very relevant and timely. The prospects of using high frequency electromagnetic field (EMF SHF) and infrared (ICHV) during heat treatment and drying grain materials such as independent energy sources defined experimental results. But the search combined methods of treating materials in which energy is supplied only to the material in an amount necessary to achieve a specific action (heating, remove surface moisture or internal) is very relevant and timely.

Analysis of recent research results

Viability use directional energy to obroblyuyemy material, namely heating and drying processes through targeted energy supply ultra high frequency electromagnetic radiation is described in [1–4]. The implementation process of microwave drying grain in specific units described in publications [5–10]. Energy and technological feasibility of energy of ultrahigh frequency electromagnetic field to intensify the drying process grounded in [11–12]. Question mathematical description and calculation drying processes discussed in scientific studies [13–18]. Analysis of publications [10, 19, 20] proved the effectiveness and drying cycle pulsed electromagnetic field on the material. But research in theoretical terms no matter the mathematical description of the combined-cycle drying grain materials.

Purpose of research

Form a simplified model of the mathematical description of the process of cyclic heat treatment and drying grain material to determine energy efficient modes of infrared and microwave systems processing grain material.

Results of research

In general, the processes of heat transfer and mass in capillary-porous bodies terms of microwave and infrared heating system describing two or three differential equations. A. Lykov a partial, solution of which is considerable difficulty in practically useful forms can be obtained only by numerical methods. Since the solution of difficulties associated with the process parameters at rozpodilenistyu gradient forms of transport, using the approximate concentration hyphenation volume can be obtained analytical solutions for specific processing conditions of the product. Considering loose (particulate) material that moves or is moved in a thin (1–3 grains) for which microwave or infrared heating can be considered uniform in volume corns can be greatly simplified description of the process of heating and drying taking these simplifying assumptions:

- gradients of temperature and humidity are so small that they can be ignored and considered medium volume temperature value $\theta_c(\tau)$ and humidity $U(\tau)$ material,

- excess pressure in the capillaries of the material caused by the effect of EMF is a function of the temperature of the material and recorded via the temperature dependence of mass transfer coefficient (drying),

- existing patterns of distribution of the radiation absorbed in the thickness of the material can also be averaged by volume (thickness) assuming uniform heating.

Under such conditions, the solution interrelated equations of heat and mass transfer leads to the integral equation heat transfer Alexander Lykov [11]:

$$q_f(\tau) = r\rho_0 R_v \frac{dU_c}{d\tau} + \rho_0 R_v C \frac{d\theta_c}{d\tau}, \quad (1)$$

where: $R_v = V/F$ – hydraulic radius, V – volume (particle layer), F – surface, ρ_0 – density completely dry body, C – specific heat, r – enthalpy of vaporization, θ , U – temperature and moisture content of the material, $q(\tau)$ – average heat flux through the surface material.

Dividing all the members of (1) to obtain R_v :

$$q_v(\tau) = r\rho_0 \frac{dU}{d\tau} + \rho_0 C \frac{d\theta}{d\tau}, \quad (2)$$

where: $q_v(\tau)$ – specific volumetric thermal output.

The values of $q_f(\tau)$ and $q_v(\tau)$ – defined by the known formulas [11, 13] for IR energy supply:

$$q_f(\tau) = A_\lambda \sigma_0 c_{np} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (3)$$

$$q_v(\tau) = 0.555 \cdot 10^{-10} \varepsilon' f E^2 \text{tg} \delta, \quad (4)$$

where: $c_{np} = (\varepsilon_1^{-1} + \varepsilon_2^{-1} - 1)^{-1}$ – shows the emissivity of, ε_1 , ε_2 – degree heat emissivity surfaces, σ_0 – was the Stefan-Boltzmann, A_λ – absorption coefficient of the material infrared rays, ε' – dielectric permeability, $\text{tg} \delta$ – dissipation factor, f , E – the frequency and intensity of the electromagnetic field.

Repeat grain drying material provides for periodic heating of grain microwave source material, followed by blowing air layer material (with heating and without heating). To determine the outpouring of heat exposure of the material and the length of its forced ventilation (blowing) without heating and hot air drying for basic characteristics (temperature and humidity of the material during heating and purging) and the total time periodic review process mode setting and continuous.

For the entire volume of the material (in the chamber drying) process of heating the internal power source P ($P = N\eta$, where N – power microwave sources of EMF, η – efficiency Megatron) in the presence of heat exchange between the material and still air in the chamber heat balance equation look like:

$$\rho_0 V_m c_m \frac{d\theta}{d\tau} - \rho_0 r V_m \frac{dU}{d\tau} + \alpha f (\theta - t) = P, \quad (4)$$

$$\rho_v V_v c_v \frac{dt}{d\tau} = \alpha f (\theta - t), \quad (5)$$

where: V_m , V_v – the volume of material and the air in the chamber, c_m , c_v – specific heat of the material and air, α – heat transfer coefficient, θ , t – the temperature of the material and air.

For closure system (4)–(5) equations, using criteria Reh binder $Rb = cd\theta/dU$, obtain the equation of communication:

$$-\frac{dU}{d\tau} = \frac{c}{rRb} \frac{d\theta}{d\tau}. \quad (6)$$

Substituting the value of $dU/d\tau$ in equation (4) and solving (4) and (5) in the initial conditions: $\tau=0$, $t=t_0$, $\theta=\theta_0$, we get:

$$\theta(\tau) = \theta_0 + \frac{Q}{B}\tau - \frac{A}{B} \left(\frac{Q}{B} - T_0 \right) \left(1 - e^{-\frac{B}{A}\tau} \right), \quad (7)$$

where: $Q = P/\alpha F$, $A = (mc'm_v c_p)/(\alpha F)^2$, $B = (mc + m_v c_p)/\alpha F$, $c' = c(1 + Rb^{-1})$, $T_0 = (P/mc) + (\alpha F/mc)(t_0 - \theta_0)$.

The equation describes the change in temperature of the grain material during heating in the microwave EMF. Using the experimentally obtained dependence [6] The moisture content of the criterion Reh binder material: $Rb(U) = R_0 e^{aU}$ rewrite equation (6) as:

$$R_0 e^{aU} \frac{dU}{d\tau} = \frac{c}{r} \frac{d\theta}{d\tau}. \quad (6a)$$

Prodifferentiative dependence $\theta(\tau)$ and substituting the value obtained in equation (6a) after differentiation within $U1 \rightarrow U$, $\theta \rightarrow \tau$ get:

$$U(\tau) = \frac{1}{a} \ln \left[e^{aU_1} + \frac{c'a}{rR_0} \left(\frac{Q}{B}\tau + \left(\frac{Q}{B} - T_0 \right) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \frac{A}{B} e^{-\frac{B}{A}\tau} \right) \right] \quad (8)$$

Equation (8) describes the change in moisture content in the process of heat when exposed to EMF MVCH.

During the heated grain ventilation air temperature at the inlet of the layer t_1 heat balance equation is written as

$$G_v c_p \eta (t_1 - \theta) = c'm \frac{d\theta}{d\tau}, \quad (9)$$

where: $\eta = (t_1 - t_2)/(t_1 - \theta) = 1 - \exp(-\alpha F/G_v c_p)$, t_1 , t_2 – the temperature of the input and output layers of the grain material.

Changing moisture Alexander Lykov by the formula:

$$-\frac{dU}{d\tau} = k(\theta)(U - U_p). \quad (10)$$

Solution equation (9) with the initial conditions: $\tau=0$, $\theta=\theta_0$, will look like:

$$\theta(\tau) = t_1 + (\theta_0 - t_1) e^{-\frac{\tau}{T}}, \quad (11)$$

where: $T = c'm/G_v c_p \eta$.

Using linear approximation dependence of drying temperature: $k(\theta) = k_1 \theta$ of equations (10) and (11) we get:

$$\frac{dU}{d\tau} = k_1 \left[t_1 + (\theta_0 - t_1) e^{-\frac{\tau}{T}} \right] d\tau. \quad (12)$$

Integrating the conditions: $\tau=0$, $U=U_0$ after transformations have:

$$U(\tau) = U_p + (U_1 - U_p) \exp \left(k_1 t_1 \tau - (\theta_0 - t_1) T e^{-\frac{\tau}{T}} \right). \quad (13)$$

Equation (13) describes zmine moisture content of grain heated during ventilation.

For continuous process using equation (7, 8) and (11, 13) replacing $\tau = xV^{-1}$ (where V – the velocity of the material, x – coordinate direction of the material). At the zonal method of calculation equations replace $\Delta \tau_i = \Delta x_i V^{-1}$.

The equations change over time settings grain material when heated in the microwave EMF and with aeration of grain not allow heated air drying cycle count process as follows (Fig. 1).

When using moist heat radiation in the infrared material equation (4) the value of the power source, define internal formula (3) and rewrite it as:

$$A_\lambda c'_{np} 10^{-8} (T_1^4 - T_2^4) F_w = m_m c_m \frac{d\theta}{d\tau} - m_{m0} r \frac{dU}{d\tau} + \alpha f (\theta - t) \quad (4a)$$

For analytical solution of the system (3) – (4a) linearizes the left part of the equation (4a) using a [13] linear coefficient of heat transfer by radiation:

$$\alpha_l = c'_{np} 10^{-8} (T_1^2 + T_2^2) + (T_1 + T_2),$$

and therefore substitution:

$$A_\lambda c'_{np} 10^{-8} (T_1^4 - T_2^4) F_w = \alpha_l F_w (\theta_w - \theta),$$

where: $T_1 = 273 + \theta_w$, $T_2 = 273 + \theta$, θ_w – radiator heating temperature in steady state (after warming up).

We write the equation of kinetics heating material and ambient air chambers in the form of:

$$T_1 \frac{d\theta}{d\tau} + a_1 \theta - b_1 = t, \quad (14)$$

$$T_2 \frac{dt}{d\tau} + a_2 t - b_2 = \theta, \quad (15)$$

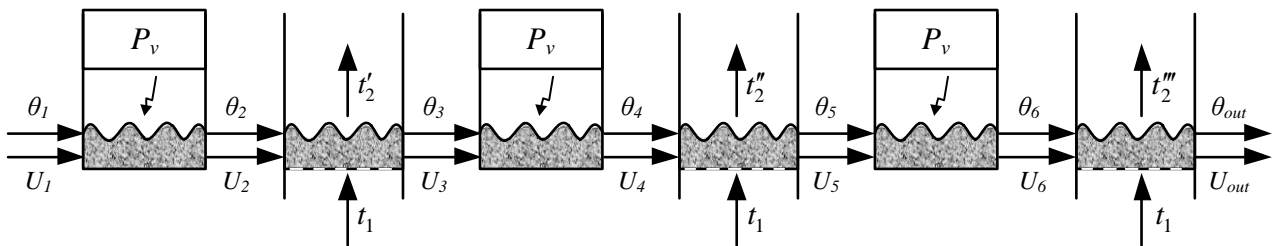


Fig. 1. The scheme of calculating the cyclical drying grain material.

where: $T_1 = \frac{m_m c_m}{\alpha F + \alpha_l F_w}$, $T_2 = \frac{m_p c_p}{\alpha F}$,

$$a_1 = \frac{\alpha F + \alpha_l F_w}{\alpha F}, \quad b_1 = \frac{\alpha_l F_w}{\alpha F} \theta_w, \quad a_2 = \frac{KF_0 + \alpha F}{\alpha F},$$

$$b_2 = \frac{KF_0}{\alpha F} t_0.$$

Combining equations (14) and (15) to one that is relatively solving system $\theta(\tau)$ and $t(\tau)$ will have two equations:

$$A \frac{d^2 \theta}{d\tau^2} + B \frac{d\theta}{d\tau} + C\theta = D_1, \quad (16)$$

$$A \frac{d^2 t}{d\tau^2} + B \frac{dt}{d\tau} + Ct = D_2, \quad (17)$$

where: $A = T_1 T_2$, $B = T_1 a_2 + T_2 a_1$, $C = (a_1 a_2 - 1)$,
 $D_1 = b_2 + a_2 b_1$, $D_2 = b_1 + a_1 b_2$.

Solving ordinary differential equations (16) and (17) with the initial conditions: $\tau = 0$, $\theta = \theta_0$, $t = t_0$, will have the following changes:

$$\theta(\tau) = \frac{C\theta_0 - D_1}{C(r_1 - r_2)} [r_1 e^{r_2 \tau} - r_2 e^{r_1 \tau}] + \frac{D_1}{C}, \quad (18)$$

$$t(\tau) = \frac{Ct_0 - D_2}{C(r_1 - r_2)} [r_1 e^{r_2 \tau} - r_2 e^{r_1 \tau}] + \frac{D_2}{C}. \quad (19)$$

Using experimental approximation criterion depending on humidity Rebinder $Rb'(U)$ Equations (6a) and derivative $d\theta(\tau)/d\tau$ (18):

$$\frac{d\theta(\tau)}{d\tau} = K_1 r_1 r_2 (e^{r_2 \tau} - e^{r_1 \tau}),$$

drying kinetics equation we get:

$$-R'_0 e^{a_l U} \frac{dU}{d\tau} = K_1 r_1 r_2 (e^{r_2 \tau} - e^{r_1 \tau}). \quad (20)$$

Where $K_1 = \frac{C\theta_0 - D_1}{C(r_1 - r_2)}$.

Solution of equation (20) with the initial conditions: $\tau = 0$, $U = U_0$:

$$U(\tau) = \frac{1}{a_l} \ln \frac{a_l}{R_0} \left[\frac{R_0 e^{a_l U_0}}{a_l} - K_1 r_2 (1 - e^{r_1 \tau}) + K_1 r_1 (1 - e^{r_2 \tau}) \right]. \quad (21)$$

Equation (21) determines the change in moisture content material with infrared irradiation temperature radiator $\theta_w = const$ in air temperature $t = const$.

Changes in temperature and moisture content of the material at the heated grain aeration is determined by the equations (11) and (13).

The algorithm for calculating the cyclical drying process consists of sequential calculation curves heating and drying formulas (7), (8) for microwave irradiation, and the formulas (11), (13) calculated temperature change material and its moisture content mode ventilation layer material.

The initial (input) values of the parameters $\theta_l(x)$ and $U_l(x)$ for each of the following areas will be the final parameters $\theta_2(x)$ and $U_2(x)$ the previous zone.

For example, in the first zone of microwave heating in the direction of the grain bed just formulas (7) and (8) that are accepted in the diagram (Fig. 1) notation written in this form (with $0 \leq x \leq L_1$, $x = L_1$, $\theta_1(x) = \theta_2$, $u_1(x) = u_2$):

$$\theta_1(x) = \theta_1 + \frac{Q}{Bv} x - \frac{A}{B} \left(\frac{Q}{B} - T_1 \right) \left(1 - e^{-\frac{B}{vA} x} \right), \quad (22)$$

$$u_1(x) = \frac{1}{a} \ln \left[e^{au_1} + \frac{c'a}{rR_0} + \left(\frac{Q}{B} - T_1 \right) \times \left[\frac{Q}{Bv} x + \left(\frac{Q}{B} - T_1 \right) \times \frac{A}{B} e^{-\frac{B}{Av} x} \right] \right]. \quad (23)$$

For the next first zone ventilation (air filtration) kinetics equation heating and drying written in the form (in $0 \leq x \leq L_2$, $x = L_2$, $\theta'_1(x) = \theta_3$, $u'_1(x) = u_3$):

$$\theta'_1(x) = t_1 + (\theta_2 - t_1) e^{-\frac{1}{vT} x}, \quad (24)$$

$$u'_1(x) = u_p + (u_2 - u_p) \times \exp \left(k_1 t_1 x v^{-1} - (\theta_2 - t_1) e^{-\frac{1}{vT} x} \right). \quad (25)$$

For the second zone microwave heating (with $0 \leq x \leq L_1$, $x = L_1$, $\theta_3(x) = \theta_4$, $u_3(x) = u_4$):

$$\theta_2(x) = \theta_3 + \frac{Q}{Bv} x - \frac{A}{B} \left(\frac{Q}{B} - \theta_3 \right) \left(1 - e^{-\frac{B}{vA} x} \right), \quad (26)$$

$$u_2(x) = \frac{1}{a} \ln \left[e^{au_3} + \frac{c'a}{rR_0} + \left(\frac{Q}{B} - \theta_3 \right) \times \left[\frac{Q}{Bv} x + \left(\frac{Q}{B} - \theta_3 \right) \times \frac{A}{B} e^{-\frac{B}{Av} x} \right] \right]. \quad (27)$$

For the second aeration zone (at $0 \leq x \leq L_2$, $x = L_2$, $\theta'_2(x) = \theta_5$, $u'_2(x) = u_5$):

$$\theta'_2(x) = t_1 + (\theta_4 - t_1) e^{-\frac{1}{vT} x}, \quad (28)$$

$$u'_2(x) = u_p + (u_4 - u_p) \times \exp\left(k_1 t_1 x v^{-1} - (\theta_4 - t_1) e^{-\frac{1}{vT}x}\right). \quad (29)$$

The third area of microwave heating (with $0 \leq x \leq L_1$, $x = L_1$, $\theta_3(x) = \theta_6$, $u_3(x) = u_6$):

$$\theta_3(x) = \theta_5 + \frac{Q}{Bv}x - \frac{A}{B}\left(\frac{Q}{B} - \theta_5\right)\left(1 - e^{-\frac{B}{vA}x}\right), \quad (30)$$

$$u_3(x) = \frac{1}{a} \ln \left[\frac{e^{au_4} + \frac{c'a}{rR_0} \times \left(\frac{Q}{Bv}x + \left(\frac{Q}{B} - \theta_5 \right) \frac{A}{B} e^{-\frac{B}{vA}x} \right)}{1} \right]. \quad (31)$$

For the third venting zone (at $0 \leq x \leq L_2$, $x = L_2$, $\theta'_3(x) = \theta_{out}$, $u'_2(x) = u_{out}$):

$$\theta'_3(x) = t_1 + (\theta_6 - t_1) e^{-\frac{1}{vT}x}, \quad (32)$$

$$u'_3(x) = u_p + (u_6 - u_p) \times \exp\left(k_1 t_1 x v^{-1} - (\theta_4 - t_1) e^{-\frac{1}{vT}x}\right). \quad (33)$$

where: θ_{out}, u_{out} – final temperature and moisture content of the material.

Fig. 2–3 is shown graphic changes depending on parameters of drying cycle.

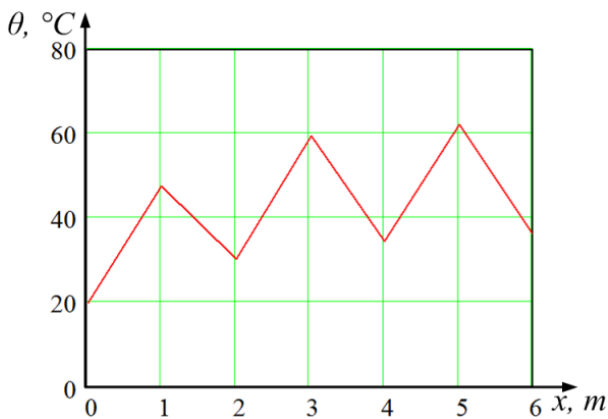


Fig. 2. Change the temperature grain drying under cyclic heating in the microwave power was 400 watts (weight 0.12 kg) and ventilation air 21 °C.

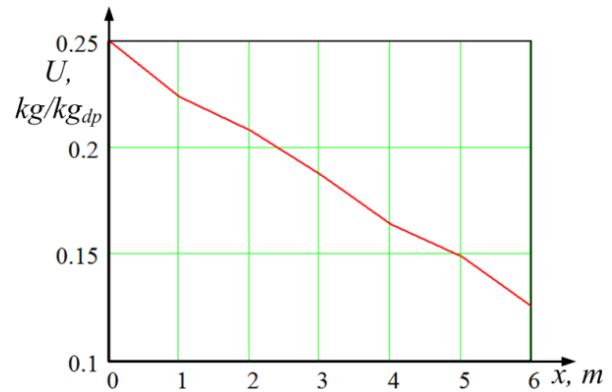


Fig. 3. Change the grain moisture content during the drying cycle.

Conclusions

1. As a result of theoretical research formulated a mathematical model of drying material in cyclic mode and simplified formula for calculating the heating and drying process using microwave heating and infrared heating.

2. Algorithm for calculating the overall process of drying cycle to determine rational modes of the process, providing minimize energy costs.

References

1. Burdo O. G. (2013). Nanoscale energy technologies. Kherson. Due to Grin D. 304.
2. Burdo O. G. (2005). Nanoscale effects in food technology. Physical Engineering Journal. No. 78. No. 1. 88–93.
3. Burdo O.G., Bandura V.N., Yarovy I.I. (2011). Features of modeling of drying processes at electromagnetic energy supply. OmahaT Scientific Works. Odessa. No. 39. T. 2. 38–43.
4. Dementieva T. Yu. (2012). Intensification of drying processes of grain materials with the use of microwave electromagnetic field. Author's abstract diss. Cand. tech. of sciences. Odessa. 20.
5. Yarovy I. I. (2013). Development of a tape installation for dehydration of vegetable raw materials by electromagnetic field. Author's abstract diss. Cand. tech. of sciences. Odessa. 22 p.
6. Kotov B. I., Kalinichenko R. A., Kifyak V. V. (2012). Analytical study of transient modes of grain heating in electrothermal radiation installations of continuous action. ChNTUSG Bulletin. No. 131. 57–65.
7. Voytyuk, D. G., Volyansky, N. S. Gavriluk, G. G. (2008). Study of the basic traction and speed characteristics of ultra-light mobile power means for introducing process materials. Bulletin of Lviv national agrarian University: agroengineer research. Lviv. No 12 (2). 395–401.
8. Pogorely, L. V. Zaika, P. M., Voytyuk, D. G. (2003). Engineering agricultural science and modern scientific and technical problems. Technique in agriculture. No 9–10. 8–9.

9. *Sachenko, V., Koval, S.* (2004). Development trends of agricultural machinery. *Technique in agriculture*. No 1-2.

10. *Voytyuk, D. G., Baranovsky, V. M., Bulgakov, V. M.* (2005). *Agricultural machinery. Fundamentals of theory and calculation: the textbook*. Kyiv. Higher education. 464.

11. *Sisolin, P. V., Salo, V. M., Kropivniy, V. M.* (2001). *Agricultural machines: theoretical basis, design, design*. Book 1. *Machines for agriculture*. Under the editorship of M. I. Chernovol. Kiev. Harvest, 382.

Список літератури

1. *Бурдо О. Г.* Нанопищевые энерготехнологии. Херсон. Из-во Гринь Д. 2013. 304 с.

2. *Бурдо О. Г.* Наномасштабные эффекты в пищевых технологиях. *Инженерно-физический журнал*. Вип. 78. № 1. 2005. С. 88–93.

3. *Бурдо О. Г., Бандура В. Н., Яровой И. И.* Особенности моделирования процессов сушки при электромагнитном подводе энергии. *Наукові праці ОМАХТ*. Одесса. Вип. 39. Т. 2. 2011. С. 38–43.

4. *Дементьєва Т. Ю.* Інтенсифікація процесів сушіння зернових матеріалів із застосуванням мікрохвильового електромагнітного поля. Автореф. дис. канд. техн. наук. Одеса. 2012. 20 с.

5. *Яровий І. І.* Розробка стрічкової установки для зневоднення рослинної сировини електромагнітним полем. Автореф. дис. канд. техн. наук. Одеса. 2013. 22 с.

6. *Котов Б. І., Калініченко Р. А., Кицяк В. В.* Аналітичне дослідження перехідних режимів нагрівання зерна в електротерморадіаційних установках безперервної дії. *Вісник ЧНТУСГ*. № 131. 2012. С. 57–65.

7. *Войтюк Д. Г., Волянський М. С., Гаврилюк Г. Р.* Обґрунтування основних тягово-зчіпних і швидкісних характеристик надлегкого мобільного енергетичного засобу для внесення технологічних матеріалів. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. Львів. 2008. №12 (2). С. 395–401.

8. *З. Погорілий Л. В., Зайка П. М., Войтюк Д. Г.* Інженерна землеробська наука і сучасні науково-технічні проблеми. *Техніка в АПК*. № 9-10. 2003. С. 8–9.

9. *Саченко В., Коваль С.* Тенденції розвитку сільськогосподарської техніки. *Техніка в АПК*. № 1-2. 2004.

10. *Войтюк Д. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М.* Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підручник. Київ. Вища освіта. 2005. 464 с.

11. *Сисолін П. В., Сало В. М., Кривісний В. М.* Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 1. *Машини для рільництва*. За ред. М. І. Чорновола. Київ. Урожай, 2001. 382 с.

МОДЕЛЮВАННЯ І РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ РЕЖИМІВ СУШІННЯ ЗЕРНА В ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОЛЯХ

Б. І. Котов

Анотація. Зберігання якісних зернових матеріалів при обробці та зберіганні після збору врожаю багато в чому залежить від правильно виконаного процесу сушіння. У сільськогосподарському виробництві переважно використовують дорогі конвекційні сушарки. Основна частка марнотратних енерговитрат припадає на теплову сушарку, частина тепла втрачається в навколишнє середовище через робочу поверхню сушарок і відпрацьовану охолоджуючу рідину. Способи зниження цих енергетичних витрат полягає в зниженні кількості сушильного агента в процесі до рівня, необхідного для поглинання і видалення вологи з сушарки, а також робочого об'єму принципів цілеспрямованої «доставки» енергії до висихаючому матеріалу. Останні принципи успішно реалізовані з використанням безконтактного енергопостачання електромагнітних полів при впливі матеріалу мікрохвильовим або інфрачервоним випромінюванням. У статті розглядаються теоретичні основи процесів сушіння матеріалу в циклічному режимі з інфрачервоним нагріванням і високочастотним електромагнітним полем. Рівняння змінюють з часом налаштування зернового матеріалу при нагріванні з використанням високочастотного електромагнітного поля або інфрачервоного світла, а вентиляція в зерні не дозволяє процес підрахунку циклу сушіння нагрітим повітрям. Алгоритм розрахунку загального процесу сушіння циклу дозволяє визначити раціональні режими процесу, що забезпечують мінімізацію енерговитрат. У статті розглядаються теоретичні основи процесів сушіння матеріалу в циклічному режимі з інфрачервоним нагріванням і високочастотним електромагнітним полем. Рівняння змінюють з часом налаштування зернового матеріалу при нагріванні з використанням високочастотного електромагнітного поля або інфрачервоного світла, а вентиляція в зерні не дозволяє процес підрахунку циклу сушіння нагрітим повітрям. Алгоритм розрахунку загального процесу сушіння циклу дозволяє визначити раціональні режими процесу, що забезпечують мінімізацію енерговитрат. Рівняння змінюють з часом настройки зернового матеріалу при нагріванні з використанням високочастотного електромагнітного поля або інфрачервоного світла, а вентиляція в зерні не дозволяє процес підрахунку циклу сушіння нагрітим повітрям. Алгоритм

розрахунку загального процесу сушіння циклу дозволяє визначити раціональні режими процесу, що забезпечують мінімізацію енергозатрат. Рівняння змінюють з часом настройки зернового матеріалу при нагріванні з використанням високочастотного електромагнітного поля або інфрачервоного світла, а вентиляція в зерні не дозволяє процес підрахунку циклу сушіння нагрітим повітрям. Алгоритм розрахунку загального процесу сушіння циклу дозволяє визначити раціональні режими процесу, що забезпечують мінімізацію енерговитрат.

Ключові слова: інфрачервоний обігрів, мікрохвильове опалення, вентиляція, сушіння зерна, циклічна сушка.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ СУШКИ ЗЕРНА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

Б. И. Котов

Аннотация. Хранение качественных зерновых материалов при обработке и хранении после сбора урожая во многом зависит от правильно выполненного процесса сушки. В сельскохозяйственном производстве преимущественно используют дорогостоящие конвекционные сушилки. Основная доля расточительных энергозатрат приходится на тепловую сушилку, часть тепла теряется в окружающую среду через рабочую поверхность сушилок и отработанную охлаждающую жидкость. Способы снижения этих энергетических затрат заключается в снижении количества сушильного агента в процессе до уровня, необходимого для поглощения и удаления влаги из сушилки, а также рабочего объема принципов целенаправленной «доставки» энергии к высыхающему материалу. Последние принципы успешно реализованы с использованием бесконтактного энергоснабжения электромагнитных полей при воздействии материала микроволновым или инфракрасным излучением. В статье рассматриваются теоретические основы процессов сушки материала в циклическом режиме с инфракрасным нагревом и высокочастотным электромагнитным полем. Уравнения меняют со временем настройки зернового материала при нагревании с использованием высокочастотного электромагнитного поля или инфракрасного света, а вентиляция в зерне не позволяет процесс подсчета цикла сушки нагретым воздухом. Алгоритм расчета общего процесса сушки цикла позволяет определить рациональные режимы процесса, обеспечивающие минимизацию энергозатрат. В статье рассматриваются теоретические основы процессов сушки материала в циклическом режиме с инфракрасным нагревом и высокочастотным электромагнитным полем. Уравнения меняют со временем настройки зернового материала при нагревании с использованием высокочастотного электромагнитного поля или инфракрасного света, а вентиляция в зерне не позволяет процесс подсчета цикла сушки нагретым воздухом. Алгоритм расчета

общего процесса сушки цикла позволяет определить рациональные режимы процесса, обеспечивающие минимизацию энергозатрат. В статье рассматриваются теоретические основы процессов сушки материала в циклическом режиме с инфракрасным нагревом и высокочастотным электромагнитным полем. Уравнения меняют со временем настройки зернового материала при нагревании с использованием высокочастотного электромагнитного поля или инфракрасного света, а вентиляция в зерне не позволяет процесс подсчета цикла сушки нагретым воздухом. Алгоритм расчета общего процесса сушки цикла позволяет определить рациональные режимы процесса, обеспечивающие минимизацию энергозатрат. Уравнения меняют со временем настройки зернового материала при нагревании с использованием высокочастотного электромагнитного поля или инфракрасного света, а вентиляция в зерне не позволяет процесс подсчета цикла сушки нагретым воздухом. Алгоритм расчета общего процесса сушки цикла позволяет определить рациональные режимы процесса, обеспечивающие минимизацию энергозатрат. Уравнения меняют со временем настройки зернового материала при нагревании с использованием высокочастотного электромагнитного поля или инфракрасного света, а вентиляция в зерне не позволяет процесс подсчета цикла сушки нагретым воздухом. Алгоритм расчета общего процесса сушки цикла позволяет определить рациональные режимы процесса, обеспечивающие минимизацию энергозатрат.

Ключевые слова: инфракрасный обогрев, микроволновое отопление, вентиляция, сушка зерна, циклическая сушка.

B. I. Kotov ORCID 0000-0003-2369-7288.

