

МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ РАДІАЦІЙНО-КОНВЕКТИВНОГО СУШІННЯ НАСІННЯ У ЛОТКОВІЙ ВІБРАЦІЙНІЙ УСТАНОВЦІ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ (З КОНТУРОМ ЦИРКУЛЯЦІЇ МАТЕРІАЛУ)

Бандура В.М., к.т.н., професор

(Вінницький національний аграрний університет)

Котов Б.І., д.т.н., професор

(Подільський державний аграрно-технічний університет)

Грищенко В.О., к.т.н.

(Національний університет біоресурсів і природокористування України)

Сушіння насінневого матеріалу є обов'язковою операцією післязбиральної обробки. Оскільки об'єми матеріалу які відрізняються сортовими ознаками, досить невеликі, то для їх висушування застосовують сушарки періодичної дії. При зневодненні олійного насінневого матеріалу набувають зростаючого попиту процеси інфрачервоного сушіння. Процес сушіння насінневого матеріалу, який відрізняється високою термочутливістю, як правило досить повільний і супроводжується суттєвим споживанням енергії. Одним із напрямків підвищення енергетичної ефективності процесу є застосування віброзрідженого шару матеріалу при періодично імпульсному опроміненні. В роботі розглянути теоретичні посилання ІЧ-сушіння, запропоновано математичний опис, у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь і спрощені розрахункові залежності.

Ключові слова. *Інфрачервоне випромінювання, сушіння, насінневий матеріал, математичне моделювання, імпульсний нагрів, вібраційне перемішування.*

Постановка проблеми. Сушіння насіння у сільськогосподарському виробництві пов'язане з вирішенням двох проблем: по-перше висока якість насіння забезпечує збільшення урожаю зернових культур, а по друге – сушіння є одним із найбільш енергоємних процесів в галузі виробництва зерна, і суттєво впливає на енергетичний баланс господарств. Тому вибір способу і технічних засобів для сушіння насінневого матеріалу треба враховувати при розгляді питання, щодо раціонального використання енергетичних ресурсів зернопродукуючих господарств.

В останні роки значно підвищився попит на використання інфрачервоного випромінювання (ІЧВ) для термічної обробки насінневого матеріалу. Однак висока енергоємність процесу ІЧ-опромінювання, при зростаючих цінах на електроенергію висуває завдання визначення раціональних режимів сушіння насінневих матеріалів. Перспективним напрямком підвищення ефективності

процесу і зниження енергозатрат є використання імпульсного режиму підведення енергії ІЧВ. Найбільш ефективно такий режим може бути реалізовано у вібросушарках лоткового і контейнерного типу за рахунок утворення віброзваженого та вихорного руху дисперсного середовища, таким чином, що усі частинки в процесі перемішування періодично опромінювались ІЧВ. При цьому сушильний агент не виконує задачі підведення енергії (тобто теплоносія). Його функція поглинання і видалення вологи, що значно зменшує втрати теплоти з відпрацьованим сушильним агентом. Для визначення раціональних режимів (кінематичних і тепловологісних) їх кількісної оцінки необхідно мати математичний опис процесу сушіння імпульсно-періодичним опроміненням і формули для розрахунку параметрів процесу.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання технологічної ефективності сушіння рослинної сировини та інших харчових продуктів ІЧ-випромінювання та методи розрахунку сушильних установок детально висвітлені в узагальнюючих роботах [1-3]. Показано, що інтенсивна дія ІЧВ на поверхневий шар оброблюємого матеріалу створює проблему його перегріву та нерівномірності температурного поля [5, 6]. Аналіз літературних джерел [5-9] дозволив зробити висновок, що одним з перспективних методів інтенсифікації процесу сушіння термочутливих матеріалів ІЧВ є використання імпульсного (осцилюючого) режиму опромінення. Це дозволяє не тільки уникнути перегріву але й наблизити джерела ІЧВ до рухомого шару матеріалу [10, 12]. Розрахунок процесу сушіння з використанням ІЧВ базується на розв'язанні диференціальних рівнянь нагріву і зневоднення матеріалу які враховують фазові перетворення і відповідну зміну маси матеріалу. При сушінні високовологого матеріалу ІЧВ – виникає потреба одночасного видалення вологи, що випаровується з поверхні матеріалу, що інтенсифікує зовнішній тепломасообмін. Тому при проектуванні сушарок необхідно знати зміну основних параметрів процесу: температури і вологовмісту як матеріалу так і фільтруємого крізь шар матеріалу газу (повітря). Для кількісної оцінки ефективності процесу необхідно мати повну математичну модель і розрахункові формули для ідентифікації параметрів моделі.

Мета досліджень – складання математичної моделі нестационарного тепломасообміну в процесі сушіння ІЧВ і отримання розрахункових формул.

Результати досліджень. Для сушіння невеликих об'ємів насінневого матеріалу найбільш доцільно використовувати сушарки періодичної дії, лоткового або контейнерного типу з вібраційним переміщенням і перемішуванням матеріалу.

При накладанні вібрацій на шар дисперсного зернового матеріалу в прямокутному або U-подібному жолобі, рух матеріалу набуває циркуляційних характер; віброзріджений матеріал циркулює і «віброзваженому» шарі, частинки якого рухаються по замкненій траєкторії підіймаючись на поверхню шару і опускаючись донизу. На поверхні шару частинки опромінюються джерелом ІЧВ і акумулюючи променеву енергію, занурюються в глибину шару де її температура за рахунок випаровування вологи перерозподіляється вирівнюючи

температурне поле. Таким чином в процесі циркуляції шару частинки опромінюються періодично, з періодом, що визначається кінематичними параметрами вібрацій. Для видалення вологи, яка з'являється на поверхні, циркулюючий шар обробляється потоком повітря, який нагрівається від джерела ІЧВ фільтрується крізь віброзріджений шар в радіальному напрямку. Відпрацьоване повітря, насичене вологою видаляється через колектор розміщений в центрі циркуляційного шару зерна.

Розглянемо один із можливих варіантів реалізації процесу сушіння у віброзрідженому шарі лоткової сушарки (з U образним контейнером) при осцилюючому режимі (Рис. 1). Оскільки при сушінні термочутливих параметрів досить важливим є встановлення залежності між температурою матеріалу і часом протікання процесу, то варіант періодичного режиму дозволяє найбільш просто і повно визначити та ідентифікувати параметри процесу і матеріалу.

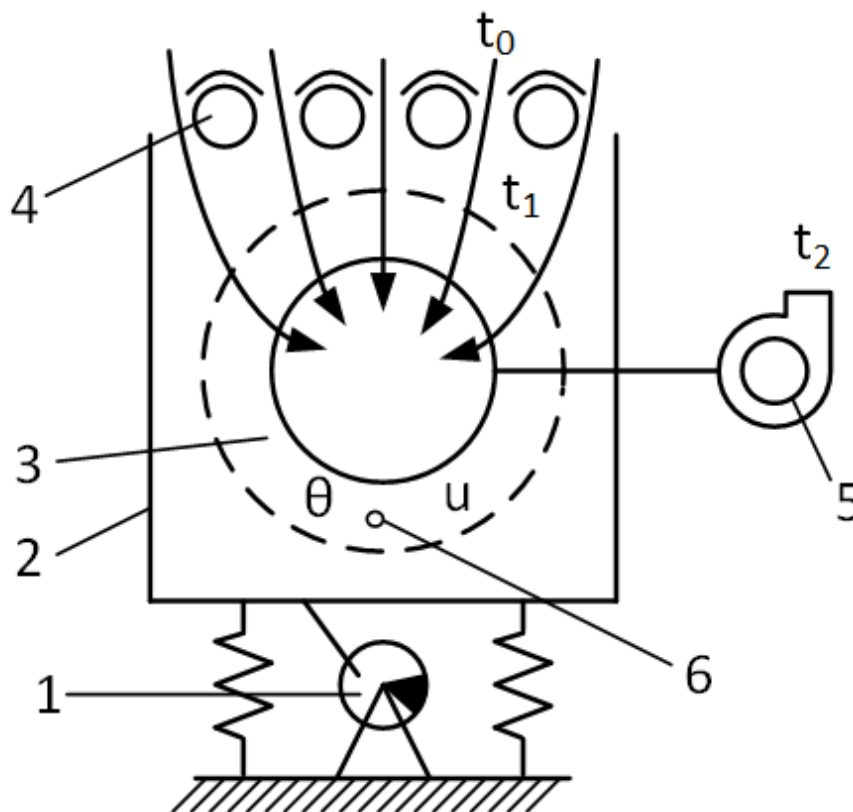


Рис. 1 – Розрахункова схема вібросушарки: 1 – віброзбудник; 2 – корпус; 3 – колектор; 4 – ІЧВ; 5 – вентилятор; 6 – матеріал.

Таким чином розглядається періодичний процес радіаційно-конвективного сушіння з переривчастим (періодично-імпульсним) ІЧВ.

При складанні математичної моделі і аналізу процесу сушіння в апараті періодичної дії використаємо наступні спрощуючі припущення:

- градієнт температури і вологовмісту в окремій частині відсутній;
- матеріал монодисперсний;
- перемішування частинок в віброзрідженому шарі ідеальне;

- теплофізичні властивості матеріалу і повітря в часі не змінюються;
 - усі види теплообміну (конвективний, радіаційний, кондуктивний) враховуються відповідними коефіцієнтами теплообміну.

Математична модель процесу сушіння побудована на основі балансових співвідношень для періодичного режиму при радіаційному і конвективному підведенні енергії і представлена у вигляді наступних диференціальних рівнянь.

Збереження енергії для інфрачервоного джерела випромінювання:

$$P(\tau) = m_v c_v \frac{\partial \theta_v}{\partial \tau} + \sigma \varepsilon'_{np} 10^{-8} (T_v^4 - T_z^4) F_v + ; \quad (1)$$

$$+ \alpha'_v F_v (\theta_v - t_{oc}) + \alpha_k F_v (\theta_v - t)$$

інтегральне рівняння теплообміну:

$$m_z c_z (u) \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + m_0 r \frac{\partial u}{\partial \tau} + \sigma \varepsilon''_{np} 10^{-8} (T_z^4 - T_{oc}^4) = \sigma \varepsilon_{np} A_\lambda 10^{-8} (T_v^4 - T_z^4) + ; \quad (2)$$

$$+ \alpha_{ef} F_k (\theta - \theta_k)$$

теплового балансу для повітря:

$$m_n c_n \frac{\partial t}{\partial \tau} + G_n c_p h \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha_k f (\theta - t) + \alpha_k F_v (\theta_v - t); \quad (3)$$

кінетики сушіння:

$$-\frac{\partial \bar{u}}{\partial \tau} = k(\theta)(\bar{u} - u_p); \quad (4)$$

матеріального балансу для вологи в повітрі:

$$m_n \frac{\partial d}{\partial \tau} + G_n h \frac{\partial d}{\partial x} = -m_0 \frac{\partial u}{\partial \tau}; \quad (5)$$

теплового балансу для стінки корпусу:

$$m_k c_k \frac{\partial \theta_k}{\partial \tau} = \alpha_{ef} F_{kv} (\theta - \theta_k) - \alpha_k F_{ko} (\theta_k - t_{ac}); \quad (6)$$

де: $T_v = \theta_v + 273$; $T_z = \theta + 273$; $T_{oc} = t_{oc} + 273$; $k(\theta) = a_m(\theta) \left(R^2 \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{Bi_m} \right) \right)^{-1}$;
 $Bi_m = \frac{\alpha R}{a_m} = Nu_m \frac{D_n}{a_m} = 2 + 0.51 Re^{0.52} Pr_m^{0.33}$; $Re = \frac{vR}{\nu}$; $Pr_m = \frac{\nu}{a}$; $\alpha'_v = \alpha_v + \alpha_k$; $P(\tau)$ –
 потужність випромінювача; $\theta_v, \theta, t, \theta_k, t_{oc}$ – температура випромінювача,
 зернового матеріалу, повітря в камері, стінки, корпусу, оточуючого
 середовища; u, d – вологовміст матеріалу і повітря; σ, ε_{np} – стала Стефана-
 Больцмана, приведена випромінювальна здатність; m_o, m_n, m_v – маса сухого
 матеріалу, повітря в камері, випромінювача; c_z, c_p, c_v, c_k – питома
 теплоємність зерна, повітря, випромінювача, корпусу; F_v, F'_v, f_z, F_k –
 поверхня випромінювання, випромінювача, зерна, стінок корпусу;
 r – питома теплота пароутворення; G_n – масові витрати повітря;
 h – товщина рухомого шару матеріалу; $\alpha'_v, \alpha_k, \alpha_{ef}$ – коефіцієнт теплообміну
 випромінюванням, конвекцією, ефективний коефіцієнт кондуктивного
 теплообміну; $k(\theta)$ – коефіцієнт сушіння; $a(u)$ – коефіцієнт масопровідності;
 R – радіус частинки; Bi_m – критерій Біо масообмінний; Nu_m – критерій
 Нусельта масообмінний; Re – критерій Рейнольдса; Pr_m – масообмінний
 критерій Прандтля; β – коефіцієнт масообміну; ν – кінематична в'язкість
 повітря; v – швидкість повітря; D_n – коефіцієнт дифузії вологи в повітрі.

Отримана математична модель являє систему нелінійних диференціальних рівнянь в частинних похідних, які описують кінетику процесу сушіння зернового матеріалу у віброзріджено-вихровому шарі при радіаційно-конвективному підведенні теплової енергії.

Незважаючи на замкненість отриманої системи рівнянь її розв'язок суттєво утруднений навіть при використанні ЕОМ, так як, до диференціальних рівнянь входять коефіцієнти і безрозмірні комплекси значення яких можна визначити тільки експериментально.

Для ідентифікації параметрів математичної моделі бажано мати аналітичні залежності, отримані з вихідної системи рівнянь (1–6) при додаткових спрощеннях на основі таких посилань:

радіаційні складові в рівняннях (1) і (2) можна лінеаризувати використовуючи [2] лінійний коефіцієнт радіаційного теплообміну:

$$\sigma \varepsilon_{np} 10^{-8} (T_1^4 - T_2^4) = \alpha_i (\theta_1 - \theta_2);$$

де: $\alpha = \sigma^* (T_1 + T_2)(T_1^2 + T_2^2)$; σ^* – приведений коефіцієнт випромінювання;

враховуючи, що шар зерна (віброзріджений) має невелику «товщину» (до 0.05 м) градієнт температури повітря можна виразити через кінцеву різницю температури на вході і виході шару:

$$\frac{\partial t}{\partial x} \approx \frac{\Delta t}{\Delta x} \approx \frac{t_1 - t_2}{h},$$

аналогічно для вологовмісту повітря:

$$\frac{\partial d}{\partial x} \approx \frac{\Delta d}{\Delta x} \approx \frac{d_1 - d_2}{h},$$

при розігрітому випромінювачі в рівнянні (1) похідна $\frac{\partial \theta_v}{\partial \tau} = 0$.

Втрати теплоти в оточуюче середовище (включаючи елементи конструкції сушарки можна врахувати коефіцієнтом корисної дії джерела енергопостачання установки, при попередньому розігріві установки перед завантаженням матеріалу.

Після відповідних перетворень, з врахуванням зроблених припущень і заміною похідної $\partial u / \partial \tau$ (відповідно до критерію Ребіндера $Rb = \frac{c}{r} \frac{\partial u}{\partial \tau}$) на величину $-\frac{\partial u}{\partial \tau} = \frac{\bar{c}}{r} \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial \tau}$, замість системи рівнянь (1–6) отримаємо спрощену систему рівнянь відповідно до кількості невідомих (шуканих) величин:

$$T_1 \frac{d\theta}{d\tau} + a_1 \theta - b_1(\tau) = t_2; \quad (7)$$

$$T_2 \frac{dt_2}{d\tau} + a_2 t_2 - b_2 = \theta; \quad (8)$$

$$-\frac{du}{d\tau} = k(Bi_m)(a_3 \theta + b_3)(u - u_p); \quad (9)$$

$$m_n \frac{dd_2}{d\tau} = G_n(d_1 - d_2) + m_o k(Bi_m)(a_3 \theta + b_3)(u - u_p); \quad (10)$$

де: $T_1 = 2 \frac{m_o c_t}{\alpha'_v f'_z} \left(1 + \frac{1}{Rb}\right); \quad a_1 = 2; \quad b_1(\tau) = 2 \frac{AE(\tau) \eta F_v}{\alpha'_v f'_z} + t_1; \quad t_1 = c_o P + c_1 t_o - c_2 \theta_v;$

$$c_0 = \frac{1}{G_n c_p - 0.5 \alpha F}; \quad c_1 = 0.5 \alpha F + G_n c_p; \quad c_2 = c_0 \alpha F; \quad T_2 = \frac{m_n c_p}{\alpha'_v f'_z}; \quad a_2 = \frac{G_n c_p + 0.5 \alpha'_v f'_z}{\alpha'_v f'_z};$$

$$b_2 = \frac{G_n c_p - 0.5 \alpha'_v f'_z}{\alpha'_v f'_z}; \quad k(Bi_m) = \left(R^2 \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{Bi_m} \right) \right)^{-1}; \quad a_3, b_3 - \text{сталі коефіцієнти лінійної апроксимації функції } a_m(\theta).$$

Зводячи рівняння (7) і (8) до одного отримаємо розв'язок для змінних параметрів $\theta(\tau)$ і $t_2(\tau)$ (далі $t(\tau)$):

$$A \frac{d^2 \theta}{d\tau^2} + B \frac{d\theta}{d\tau} + C \theta = D_1, \quad (11)$$

$$A \frac{d^2 t}{d\tau^2} + B \frac{dt}{d\tau} + C\theta = D_2, \quad (12)$$

де: $A = T_1 T_2$; $B = a_1 T_2 + a_2 T_1$; $C = a_1 a_2 - 1$; $D_1 = b_1(\tau) + a_1 b_2$; $D_2 = a_2 b_1(\tau) + b_2$.

При безперервному ГЧ-опроміненні віброкипячого шару при фільтрації повітря крізь шар матеріалу, коли можна вважати, що кожна частинка (при високочастотному осцилюванні) рівномірно опромінюється джерелом з величиною густини опромінення $E(\tau)$ (енергетична освітленість) буде величиною сталою $E = E_{\max} = const$ і розв'язок рівняння (11) за початкових умов: $\tau = 0, \theta = \theta_0$ набуває вигляду:

$$\theta(\tau) = \frac{\theta_0 C - D_1}{C(r_1 - r_2)} (r_1 e^{r_2 \tau} - r_2 e^{r_1 \tau}) + \frac{D_1(\tau)}{C}; \quad (13)$$

де: $r_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$ – корені характеристичного рівняння.

Аналітичний розв'язок має рівняння (11) (при $\tau = 0, t = t_1$):
З рівняння (13) і (4) матимемо рівняння кінетики сушіння:

$$\frac{u - u_1}{u - u_p} = \exp \left(-k(Bi_m) \left(\left(b_3 + \frac{D_1}{C} \right) \tau + k_t \left(\frac{r_1}{r_2} e^{r_2 \tau} - \frac{r_2}{r_1} e^{r_1 \tau} \right) \right) \right), \quad (14)$$

де: $k_t = \frac{\theta_0 C - D_1}{C(r_1 - r_2)}$.

При наявності в контейнері циркуляційно-вихорного руху частинок, які опромінюються періодично з періодом T залежність $E(\tau)$ можна прийняти прямокутною у вигляді прямокутних хвиль і представлена відомим розкладенням в ряд Фур'є:

$$E(\tau) = E + \frac{4}{\pi} E_{\max} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(2n-1)\omega\tau}{2n-1}, \quad (15)$$

де: $\omega = \frac{2\pi}{T}$ – частота циркуляції матеріалу в контейнері.

Розв'язок рівняння (12) при періодичній зміні $E(\tau)$ за законом (15) отримано в роботах у вигляді ряду, має дуже громіздкий вигляд, утруднюючи подальший аналіз процесу сушіння.

Для практичних оцінок процесу є можливим представити «прямокутну» функцію $E(\tau)$ наближеною косінусоїдальною залежністю:

$$E(\tau) = E_m(1 + \cos \omega\tau), \quad (18)$$

де: E_m – діюча величина енергетичної освітленості.

Величину $D_1(\tau)$ з урахуванням (17) запишемо так:

$$D_1(\tau) = k_1 + B_1 \cos(\omega\tau), \quad (17)$$

де: $k_1 = a_1 b_1 + t_1 + B$; $B_1 = \frac{2A_\lambda F_v E}{\alpha'_v f'_z}$.

Розв'язок рівняння (12) з урахуванням (17) при $\tau = 0, \theta = \theta_0, E = E_m$ після відповідних перетворень можна записати у вигляді:

$$\theta(\tau) = C_1 e^{r_1 \tau} + C_2 e^{r_2 \tau} + \frac{k_1}{C} + \frac{B_1}{a^2 + b^2} (b \sin \omega\tau - a \cos \omega\tau), \quad (18)$$

де: $a = A\omega^2 - C$; $b = B\omega$; $C_1 = \frac{r_2}{r_2 - r_1} \left(\theta_0 + \frac{k_1}{C} + \frac{B_1}{a^2 + b^2} \left(a - \frac{b\omega}{r_2} \right) \right)$;
 $C_2 = \frac{r_1}{r_1 - r_2} \left(\theta_0 - \frac{k_1}{C} + \frac{B_1}{a^2 + b^2} \left(a - \frac{b\omega}{r_1} \right) \right)$.

Підставляючи отриману залежність зміни температури матеріалу (18) в рівняння (9) після поділу змінних та інтегрування в межах від u_1 до u і від $\tau = 0$ до τ ; після перетворень матимемо:

$$u(\tau) = u_p + (u_1 - u_p) \exp \left[-k(Bi_m) \left[\begin{array}{l} b_3 + a_3 \frac{k_1}{C} \tau + a_3 \left(\frac{C_1}{r_1} e^{r_1 \tau} + \frac{C_2}{r_2} e^{r_2 \tau} \right) - \\ - \frac{B_1}{\omega(a^2 + b^2)} (b \cos \omega\tau - a \sin \omega\tau) \end{array} \right] \right]. \quad (19)$$

Отримані рівняння (18) і (19) описують процеси зміни температури і вологовмісту матеріалу при сушінні радіаційно-конвективним тепlopідведенням із змінною в часі потужністю джерела ІЧВ.

На рис. 2–3 наведено графічні залежності зміни температури і вологовмісту матеріалу за даними розрахунків і експериментів [7, 10].

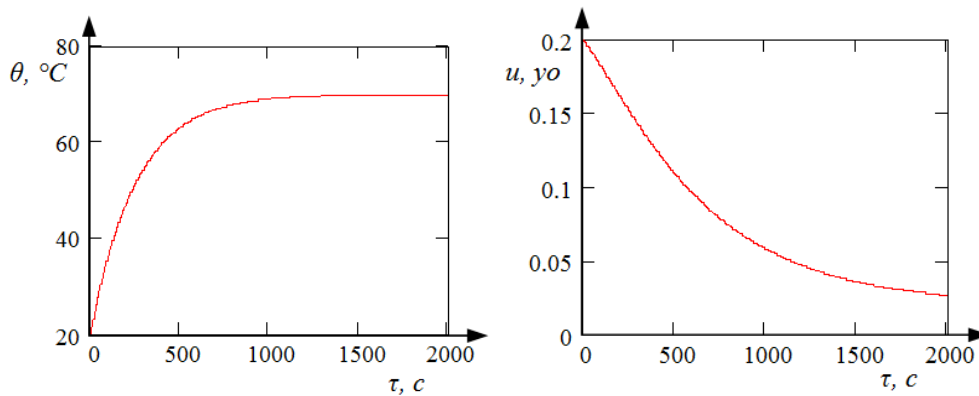


Рис. 2 – Зміна параметрів процесу при безпервному опроміненні.

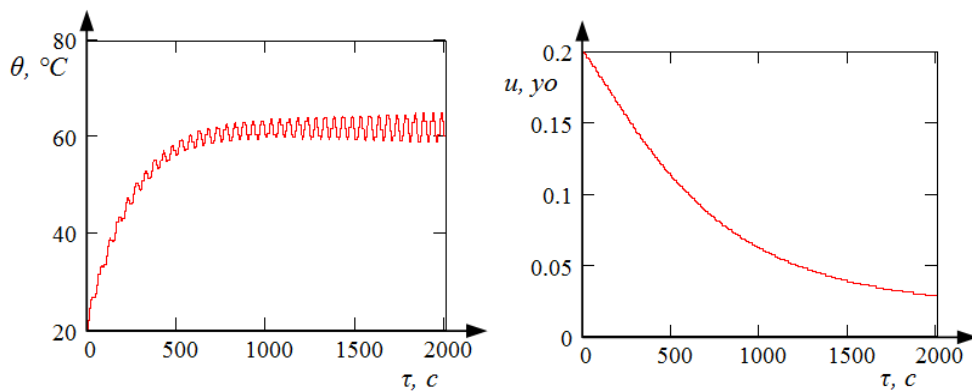


Рис. 3 – Зміна параметрів процесу при імпульсному опроміненні.

Висновки:

1. Отримана замкнена математична модель процесу сушіння насіння радіаційно-конвективним підведенням енергії для періодичної вібросушарки.
2. Визначено аналітичні залежності зміни параметрів процесу сушіння в часі при періодичному ІЧ-опроміненні.

Список використаних джерел

1. Лыков А. В. Теория сушки. Москва: Энергия, 1968. 472 с.
2. Гинзбург А. С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности. Москва: Агропромиздат, 1985. 336 с.
3. Беляев М. И., Пахомов П. Л. Теоретические основы комбинированных способов тепловой обработки пищевых продуктов: монография. Харьков: ХИОП, 1991. 160 с.
4. Лебедев Д. П., Голубкович А. В. Установка для сушки зерна в тонком падающем слое при радиационно-конвективном энергоподводе. Наукові праці ОНАХТ, 2007. Вип. 3(2). С.112–115.
5. Гольдман В. Л., Дадамухомедов Т. С. Комбинированный метод сушки семян

- овощебахчевых культур в вихревом потоке с применением ИК-излучения // Научно-технический бюллетень ВИЭСХ, 1984. Вып. 3. С.69–72.
6. Проничев С. А. Импульсная инфракрасная сушка семенного зерна. Автореф. дис. канд. техн. наук. Москва. 2007. 22
 7. Bandura, V. M., Tsurkan, O. V., Palamarchuk, V. I. (2015). Eksperymentalnoe yssledovanye tekhnolohycheskykh parametrov protsessa ynfrakrasnoi sushky dvyzhushchegosia shara siria maslychnikh kultur. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, 17 (4), 211–214.
 8. Овчинников С. А. Исследование терморadiационной сушки сыпучих материалов в виброкипящем слое. / Автореф. Дис. канд. техн. наук. Л, 1979. 20 с.
 9. Бандура В. М., Друкованый М. Ф., Зозуляк И. А. Обоснование конструкции вибрационной сушилки для подсолнечника // Харчова наука і технологія. 2012. № 3. С. 91–94.
 10. Обґрунтування параметрів сушіння зерна соняшника у вібраційних машинах з U-видним контейнером: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 / Зозуляк І. А.; Вінниц. нац. аграр. ун-т. Вінниця, 2015. 22 с.
 11. Рудобашта С. П., Проничев С. А. Осциллирующая инфракрасная сушка семенного зерна // Сборник научных трудов ОНАПТ. 2006. Вып.29. С.25–30.
 12. Котов Б. І., Кіфяк В. В., Калініченко Р. А. Математична модель динамічних режимів електротермічної установки для обробки зерноматеріалів імпульсними потоками інфрачервоного випромінювання // Вісник ХНТУСГ. 2014. Вип. 152. С.181–191.
 13. Бомко А. С. Исследование процессов сушки зерна в потоке методами математического моделирования. Автореферат дис. на соиск. учен, степени канд. техн. наук. Одесса, 1971. 31 с.

Abstract

MODELLING AND CALCULATION OF THE PROCESS OF RADIATION AND CONVECTIVE DRYING OF SEEDS IN TRAY VIBRATION INSTALLATION OF PERIODIC ACTION

Bandura V.M., Kotov B.I., Hryshchenko V.O.

The drying of the seed material is a mandatory post-harvest treatment. Since the volumes of the material, which differ in varietal characteristics, are rather small, then drying periodic action is used for their drying. With dehydration of oilseed material, the growing demand for processes of infrared drying. The process of drying seed

material, which is characterized by high temperature sensitivity, is usually rather slow and accompanied by significant energy consumption. One of the directions of increasing the energy efficiency of the process is the use of a vibrational material layer during periodically impulsive irradiation. In this paper we consider theoretical references of IR drying, a mathematical description is proposed, in the form of a system of nonlinear differential equations, and simplified calculation dependencies.

Keywords: *Infrared radiation, drying, seed material, mathematical modeling, pulsed heating, vibration mixing.*

Аннотация

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПРОЦЕССА РАДИАЦИОННО-КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ СЕМЯН В ЛОТКОВОЙ ВИБРАЦИОННОЙ УСТАНОВКЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ (З КОНТУРОМ ЦИРКУЛЯЦИИ МАТЕРИАЛА)

Бандура В.М., Котов Б.И., Грищенко В.О.

Сушка семенного материала является обязательной операцией послеуборочной обработки. Поскольку объемы материала которые отличаются сортовыми признаками, достаточно небольшие, то для их высушивания применяют сушилки периодического действия. При обезвоживании масляной семенного материала приобретают растущего спроса процессы инфракрасной сушки. Процесс сушки семенного материала, который отличается высокой Термочувствительность, как правило достаточно медленный и сопровождается существенным потреблением энергии. Одним из направлений повышения энергетической эффективности процесса является применение виброзридженого слоя материала при периодически импульсном облучении. В работе рассмотреть теоретические посылки ИК-сушки, предложено математическое описание в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений и упрощенные расчетные зависимости.

Ключевые слова. *Инфракрасное излучение, сушки, семенной материал, математическое моделирование, импульсный нагрев, вибрационное перемешивание.*