

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ ПРЯМОТОЧНОЇ ЗЕРНОСУШАРКИ, ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Котов Б.І., д.т.н.,
Мірошник В.О., к.т.н., НУБіП України
Степаненко С.П., к.т.н., ННЦ «ІМЕСГ»
Калініченко Р.А., к.т.н. Ніжинський АТІ
Тел.: (04571) 3-26-44

Анотація – розроблено методику моделювання процесу сушіння зерна в математичному середовищі Simulink Matlab, для визначення динамічних режимів роботи зерносушарки.

Ключові слова – методика моделювання, Simulink Matlab, зерносушарка.

Постановка проблеми. Ефективність технологічного процесу сушіння зерна в діючих зерносушарках різних типів в значній мірі визначається рівнем засобів керування температурними режимами. Системи контролю і керування температурними режимами повинні забезпечувати своєчасну інформацію про хід процесу і своєчасно реагувати на відхилення параметрів заданих (регламентованих) значень температури зерна і сушильного агента.

Виходячи з умов інтенсифікації процесу сушіння зерна, основною вимогою є ведення процесу при крайових значеннях температури. Для синтезу і аналізу системи керування і контролю необхідно мати дані про статичні і динамічні властивості (характеристики) зерносушарки, як об'єкта керування.

Для отримання статистичних і динамічних характеристик сушильних установок використовують математичне моделювання процесів тепло- і масопереносу. На даний час широкі можливості у дослідженні динамічних характеристик об'єктів дає метод математичного моделювання у математичному пакеті Matlab.

Аналіз останніх досліджень. Для визначення статистичних і динамічних характеристик сушарок використовують такі основні методи:

- аналітичний розв'язок диференціальних рівнянь масопереносу у загальному вигляді [1];
- розв'язок рівнянь кінетики сушіння з експериментальним визначенням швидкості сушіння [1, 2];
- складання структурних схем сушарки з апроксимацією ланцюгом типових, динамічних ланок [3];
- складання і розв'язок балансових рівнянь з певними обмеженнями [4].

Практичне використання результатів отриманих різними авторами, для синтезу автоматичних систем є забруднення у зв'язку із громіздкістю кінцевих результатів.

Мета роботи – розробка і дослідження математичної моделі процесу сушіння зерна в сушарці з прямо- і протитечійному русі матеріалу.

Виклад основного матеріалу.

Перехідні процеси зміни параметрів сушильного агента та зерна за час $d\tau$ описано рівняннями теплового і матеріального балансу, при загально технічних (для даного класу припущення).

Процес сушіння зерна поділяється на два етапи. На першому етапі видаляється волога, яку можна розглядати, як випарювання вологи з вільної поверхні.

На другому етапі видаляється зв'язана волога. В цей період тиск водяної пари на поверхні матеріалу стає функцією від температури матеріалу і його вологості на поверхні. З табличних даних отримане рівняння залежності тиску насиченої водяної пари від температури, мм. рт. ст.:

$$P_{нас} = 5.343124 + 0.027872 \cdot t + 0.032135 \cdot t^2 - 3.40325 \cdot 10^{-4} \cdot t^3 + 7.719212 \cdot 10^{-6} \cdot t^4 \quad (1)$$

Це рівняння можна використати для визначення вологовмісту пароводяної суміші (кг водяної пари/кг сухого повітря) [6]:

$$d = 0.622 \cdot \frac{\varphi \cdot P_{нас}}{Pb - \varphi \cdot P_{нас}} \quad (2)$$

де: 0,622 – відношення мольних мас водяної пари і повітря, φ - відносна вологість повітря, Pb – загальний (барометричний) тиск парогазової суміші.

Розглянемо процес сушіння зерна в статичному режимі у вигляді матеріальних і енергетичних балансів. Математична модель сушіння у вигляді «чорного ящика» показана на рис. 6.19.

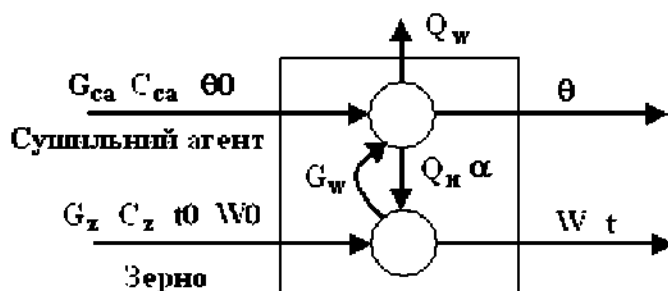


Рис. 1. Структурна схема процесу сушіння зерна

В структурній схемі процесу сушіння: G_{ca} , G_z – витрати сушильного агента і зерна, C_{ca} , C_z – теплоємність сухого повітря і зерна, t_0 і θ_0 – початкові значення температури зерна і сушильного агента, t і θ – температури цих самих продуктів на виході сушарки, W_0 і W – початковий і кінцевий вологовміст зерна, G_w – випарена волога із зерна, Q_n і Q_w – витрати тепла на нагрівання зерна і випарювання вологи, α - коефіцієнт тепловіддачі від повітря до зерна.

Наведемо рівняння енергетичних балансів по сушильному агенту, гарячому повітрю і зерну. Вважаємо, що тепло нагрітого повітря витрачається на підігрівання зерна і випарювання вологи з нього:

$$\begin{aligned} G_{ca} \cdot C_{ca} - Q_w - Q_n - Q_{ca\text{вих}} &= 0 \\ G_z \cdot C_z + Q_n - Q_{z\text{вих}} &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Матеріальний баланс по зерну:

$$G_z - G_w - G_{z\text{вих}} = 0, \quad (4)$$

де: $Q_{ca\text{вих}}$, $Q_{z\text{вих}}$, $G_{z\text{вих}}$ – витрати тепла сушильного агента і зерна, а також маса зерна на виході із сушарки.

Оскільки, перший період займає незначну частину часу сушіння зерна, то ми розглянемо сушіння основного другого періоду. В цей період сушіння пов'язане з переміщенням вологи всередині матеріалу. Рушійною силою цього періоду сушіння є різниця між вологовмістом зерна W і рівноважним вологовмістом W_p . Швидкість сушіння тоді матиме вигляд:

$$-\frac{dW}{d\tau} = K(W - W_p), \quad (5)$$

де K – коефіцієнт сушіння, який характеризує інтенсивність процесу вологообміну.

Коефіцієнт сушіння K знаходиться експериментально. Якщо на другому етапі швидкість сушіння представити прямою, то коефіцієнт сушіння можна визначити так:

$$K = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{4 \cdot R}{\pi^2 a_m}}, \quad (6)$$

де: R – визначальний геометричний розмір тіла (зернини), яке висушуємо, м; β – коефіцієнт зовнішнього вологообміну, м/с.; a_m – коефіцієнт потенціалопровідності масопереносу, м²/с.

Коефіцієнт потенціалопровідності масопереносу аналогічний коефіцієнту температуропровідності і залежить в основному від форм зв'язку вологи з матеріалом і температури матеріалу і визначає внутрішній перенос вологи.

Допускаємо, що процес нагрівання частинок матеріалу (зернин) безградієнтний, а вологість по об'єму рівномірна і втрат в навколишнє середовище немає. Складемо рівняння теплового балансу для визначення зв'язку між нагріванням і швидкістю сушіння. Для періодичного процесу сушіння це буде рівняння, де температура і вологовміст змінюється в часі:

$$\frac{d\bar{\theta}}{d\tau} G'c - \frac{d\bar{W}}{d\tau} rG'_0 = \alpha \cdot F(t - \bar{\theta}) \quad (7)$$

Для безперервного процесу температура і вологовміст зерна змінюється по довжині сушарки:

$$\frac{d\bar{\theta}}{dx} G \cdot c - \frac{d\bar{W}}{dx} rG_0 = \alpha \cdot F(t - \bar{\theta}), \quad (8)$$

де $\bar{\theta}$ - середня температура матеріалу; \bar{W} - середній вологовміст матеріалу; c - питома теплоємність матеріалу; r - теплота пароутворення; t - температура сушильного агента; G і G_0 - витрати вологого і сухого матеріалу; α - коефіцієнт теплообміну; F - площа поверхні матеріалу; τ - час; x - координата (у напрямку руху зерна).

Розглянемо процес сушіння в сушарці безперервної дії. Математична модель сушарки буде спрощеною і не враховувати першого етапу сушіння, етапу нагрівання зерна. Коефіцієнт тепловіддачі від сушильного агента до зерна також буде вважатися постійною величиною. Значення змінних в рівняннях для визначення коефіцієнту сушіння K , рівноважного вологовмісту W_p використані за даними [7].

Таким чином рівняння рівноважного вологовмісту, в частках до вмісту сухих речовин, має вид:

$$W_p = 0.01 \cdot \left[\frac{|\ln(1 - \varphi)|}{5.47 \cdot 10^{-6} \cdot (t + 273)} \right]^{0.435} \quad (9)$$

Значення відносної вологості повітря знаходимо з рівняння (2):

$$\varphi = \frac{(P_b - P_{нас}) \cdot d}{0,0622 \cdot P_{нас}} \quad (10)$$

Коефіцієнт сушіння, 1/с, знаходимо з рівняння[7]:

$$K = \frac{5.55 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 0.00796 \cdot t}{3600} \quad (11)$$

Рівняння статички процесу сушіння (3), (4) перетворимо на рівняння динаміки і складемо систему диференціальних рівнянь по температурі зерна, сушильного агента (повітря) в град С і вмісту вологи у зерні, в частках. Приведемо рівняння:

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{G_z \cdot \sigma \cdot \alpha}{G_{ca} \cdot C_{ca}} \cdot (\theta - t), \quad (12)$$

$$\frac{d\theta}{d\tau} = \frac{\sigma \cdot \alpha}{C_{ca}} \cdot (t - \theta) + \frac{r \cdot 10^{-2}}{C_z \cdot (1 + W)} \cdot \frac{dW}{d\tau}; \quad (13)$$

$$\frac{dW}{d\tau} = -K \cdot (W - W_p), \quad (14)$$

де σ - питома поверхня зерна м²/кг; α - коефіцієнт тепловіддачі від повітря до зерна, Вт/м² град; r - теплота пароутворення, Дж/кг.

Дослідження проводились на розробленій в середовищі Simulink Matlab моделі при таких вихідних даних: витрати зерна на сушіння складають $G_z = 0,7$ кг/с, або 2,52 т/год, температура зерна $t_0 = 15$ град С, а його теплоємність $C_z = 2300$ Дж/(кг град) а початковий вологовміст $W_0 = 0,16$; сушильний агент, гаряче повітря, подається в кількості $G_{ca} = 0,8$ кг/с з температурою $\theta_0 = 90$, град С, і теплоємністю $C_{ca} = 1050$ Дж/(кг град). Прийнято, що питома поверхня

зерна $\sigma = 2,47 \text{ м}^2/\text{кг}$, вологовміст пароводяної суміші в сушарці $dn = 0,006 \text{ кг пари/кг сухого повітря}$, теплота пароутворення $r = 2500 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$, барометричний тиск $Pb = 750 \text{ мм рт. ст.}$, коефіцієнт тепловіддачі від повітря до зерна $\alpha = 15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ град})$.

Оскільки, модель достатньо громіздка, розіб'ємо її на дві частини. В основній частині (рис. 2) розмістимо рівняння, які представляють із себе систему диференціальних рівнянь (12) – (14) і розраховують температуру зерна, температуру повітря і вологовміст зерна. Для допоміжних рівнянь (1), (8) – (10), за якими розраховують тиск насиченої пари, відносну вологість повітря, рівноважний вологовміст і коефіцієнт сушіння створимо підсистему (рис. 3).

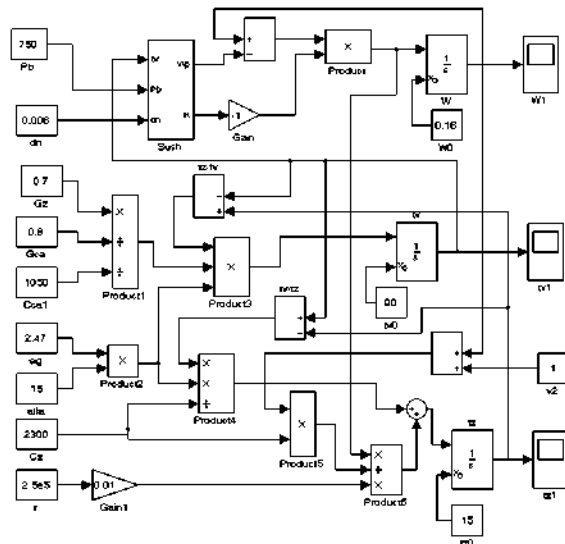


Рис. 2. Схема моделі сушарки в середовищі Simulink

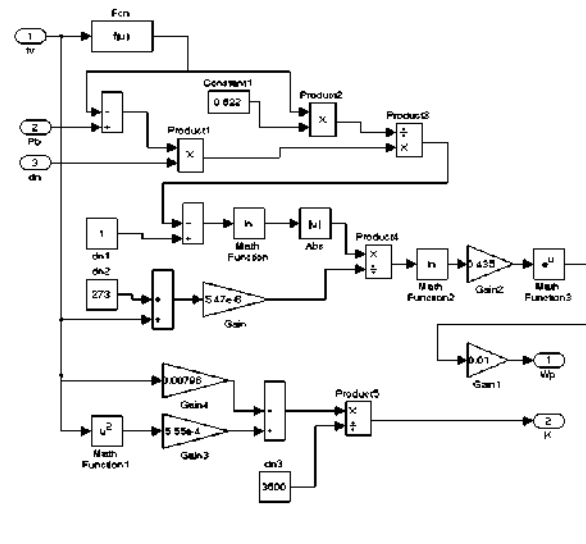


Рис. 3. Схема моделі підсистеми до моделі сушарки в середовищі Simulink

Підсистема створюється виділенням частини моделі і використанням пункту меню **Edit** \Rightarrow **Create Subsystem**. Порти вводу і виводу підсистеми позначимо з використанням позначень змінних моделі. Для введення поліному, за яким розраховується тиск насиченої пари, використаємо блок **Fcn** із бібліотеки **Functions & Tables**. Вхідні дані введемо за допомогою блоків **Constant**, а результати, значення температури зерна повітря і вологовмісту зерна введемо на віртуальний осцилограф **Scope**. Час сушіння (моделювання) 1500 секунд.

В результаті проведених операцій отримані розгінні криві температур зерна і сушильного агенту під час сушіння (рис. 4) і криву зміни вологовмісту зерна (рис. 5).

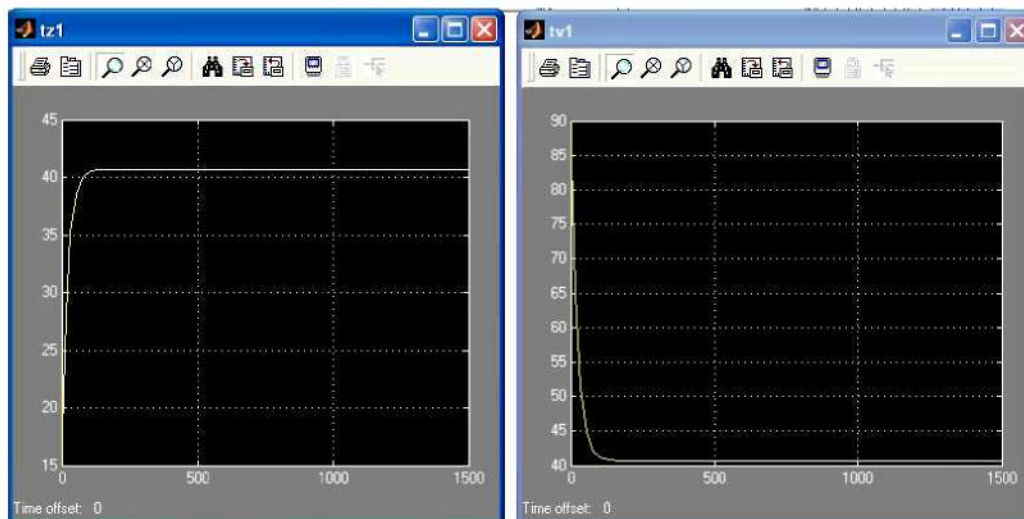


Рис. 4. Зміна температури зерна і сушильного агенту під час сушіння

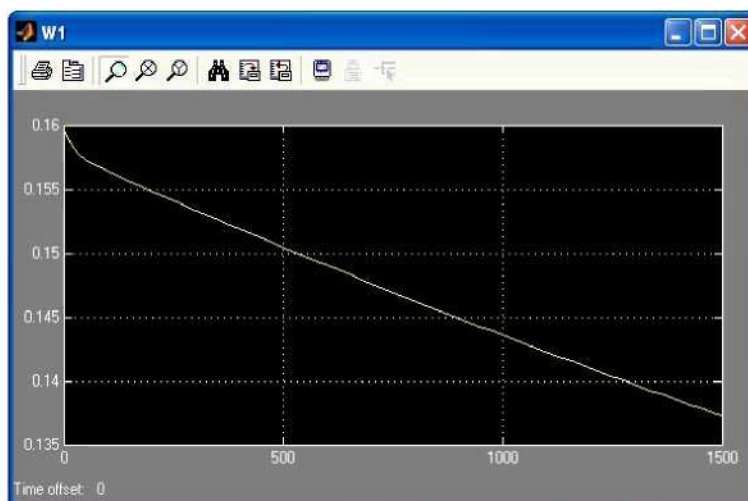


Рис. 5. Зміна вологовмісту зерна під час його сушіння

Висновки. Розроблений математичний апарат дозволяю визначати ключові параметри (зміну температури і вологовмісту зерна) процесу термолабільного сушіння зерна, як об'єкта керування.

Література

1. *Лыков А.В.* Теория тепло- и массопереноса/ А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. - 535 с.;
2. *Котов Б.И.* К определению температуры материала в процессе сушки в пневнобарабанных агрегатах/ Б.И. Котов, С.В. Шнюрвичюс// Механизация и электрификация сельського хозяйства – К., Урожай, 1984, вып.59 –с.41-45.
3. *Смирнов С.М.* Автоматизация сушильных установок легкой промышленности/ С.М. Смирнов. - М.: Ростехиздат, 1962. - 288 с.
4. *Баумштейн И. П.* Автоматизация процессов сушки в химической промышленности/ И. П. Баумштейн, Ю. А. Маизель. - М.: Химия, 1970. - 231 с.

5. Котов Б.И. Исследование методов снижения расхода тепла на сушку в пневмобарабанных агрегатах/ Б.И. Котов, С.В. Шнюрявичюс // Механизация и электрификация сельського хозяйства. – К., Урожай, 1982, вып.53 –с.8-12.
6. Лыков А.В. Теория сушки/ А.В. Лыков. -М.: Энергия, 1968. -471с.
7. Демин А.В. Методические рекомендации по математическому моделированию процесса сушки и охлаждения зерна в установках плотного строя/ А.В. Демин, Ю.В. Есаков, И.Э. Мильман, Т.А. Ананьева. - М., ВИЭСХ, 1977. -43с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ СУШИЛКИ

Котов Б.И., Мирошник В.О., Степаненко С.П., Калиниченко Р.А.

Аннотация

Разработана методика моделирования процесса сушки зерна в математической среде Simulink Matlab для определения динамических режимов работы зерносушилки.

MODELING THE PROCESS OF DRYING GRAIN IN A MATHEMATICAL ENVIRONMENT SIMULINK MATLAB

B. Kotov, V. Miroshnik, S. Stepanenko, R. Kalinichenko

Summary

The developed method of modeling the process of drying grain in a mathematical environment Simulink Matlab, to determine the dynamic modes of the dryer.