

Thus the model obtained by the proposed method allows determine the load on the cutters drive. Using this load in simulation model of the system causes a change in the stator current engine, similar to the reaction in real drive.

wood processing, electric drive, static moment, modelling

Одержано 15.04.13

УДК 622.648.621.876.7

О.Г.Собінов, ас.

Кіровоградський національний технічний університет

Побудова спрощеної математичної моделі для автоматизованої системи управління баштовою сушаркою

У статті запропоновано спрощену математичну модель сушіння зерна, яка визначає швидкість пересування вертикального зернового шару у баштовій сушарці.

швидкість пересування зернового шару, автоматизована система управління, баштова сушарка, математична модель

А.Собинов

Кіровоградский национальный технический университет

Построение упрощенной математической модели для автоматизированной системы управления башенной сушилкой

В статье предлагается упрощенная математическая модель сушки зерна, которая определяет скорость передвижения вертикального зернового слоя в башенной сушилке.

скорость передвижения зернового слоя, автоматизированная система управления, башенная сушилка, математическая модель

Процес сушіння є одним з найважливіших і найпотрібніших елементів у виробництві зернових, олійних та бобових культур, без якого неможливо забезпечити кондиційну вологість зернового матеріалу і, відповідно його довготривале зберігання, збереження харчових та посівних властивостей.

Системи управління більшості сушарок забезпечують напів ручний режим керування – виведення на режим оператором вручну і подальше підтримання цього режиму автоматикою. При цьому зростають вимоги до кваліфікації оператора та виникають втрати якості зерна. Тому потрібні сушарки у яких система управління забезпечувала б автоматичний вихід на потрібний режим сушіння при будь яких початкових даних.

Стан зернової маси характеризується вологістю, засміченістю і температурою. У процесі сушіння слід контролювати вологість, температуру зерна, схожість (для посівного зерна), кількість і якість клейковини (для пшениці) і інші показники, які залежать від температури нагрівання зерна, швидкості та тривалості сушіння.

Цю потребу задовольняє баштова сушарка виробництва фірми “Астра” м.Кіровограда [6]. Основною властивістю цієї конструкції сушарки є сушіння зерна в потоці. Зерно нагрівається у поперечному потоці гарячого повітря(агента) при його русі

під дією власної ваги вздовж колони, і охолоджується зовнішнім повітрям в окремій зоні [5]. Швидкість відвантаження(пересування) зерна регулюється спеціальним пристроєм.

При цьому ефективність роботи зерносушарки визначається значною мірою якістю системи автоматичного управління. Система автоматичного управління повинна забезпечувати своєчасну і надійну інформацію про характеристики зерна, яке піддається сушінню, сушильного агента, режимних та інших параметрах, а також своєчасно реагувати на всі відхилення від заданих значень вологості, температури і якості зерна в процесі сушіння і на виході з сушильної камери.

З іншого боку, система управління повинна бути ефективною за рахунок підвищення продуктивності сушарок, поліпшення якості зерна та зменшення витрат на сушіння.

Один із шляхів інтенсифікації сушки - це ведення процесу на максимально допустимих температурах нагрівання зерна, залежно від подальшого використання зерна.

З урахуванням показників ефективності загальний алгоритм функціонування процесу сушіння можна визначити наступним чином: забезпечення заданої величини видалення вологи при збереженні якості зерна шляхом підтримання температури нагріву зерна не вище припустимої, з нормованими або мінімальними витратами на сушіння при заданій продуктивності сушарки[2].

Для створення ефективної системи автоматичного управління процесом сушіння потрібна математична модель, яка б дозволила у першому наближенні досягти перелічених вище вимог.

Сучасні моделі сушіння колоїдно-пористих матеріалів, до яких відноситься зерно[1] базується на математичній моделі Філоненко

$$\tau = \frac{1}{N} \left[\omega_1^c - \omega_2^c + A \int_{\omega_2^c}^{\omega_{кр}^c} \frac{d\omega}{(\omega_2^c - \omega_p^c)^n} + B (\omega_{кр}^c - \omega_2^c) \right] u, \quad (1)$$

де N – швидкість сушіння $(dw/d\tau)_n = N$

ω_p^c – рівновісний вміст матеріалу;

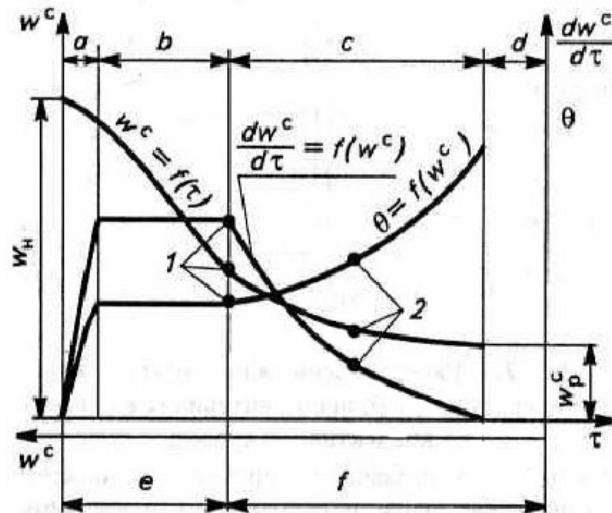
ω_1^c – вміст у першій критичній точці(перший період сушіння);

ω_2^c – вміст у другій критичній точці(другий період);

$\omega_{кр}^c$ – критичний вміст матеріалу;

A, B – константи рівняння, які визначаються експериментально для заданого матеріалу та методу сушіння.

Графічне пояснення до математичної моделі (1)



a – період нагріву; b – період постійної швидкості сушіння;
 c – період спадної швидкості сушіння; d – область рівноважного стану;
 e – область вологого стану; f – область гігроскопичного стану;
 1 і 2 – перша та друга критична точки

Рисунок 1 – Графічне зображення процесу сушіння зерна (типового колоїдно капілярно-пористого тіла)

За даним рівняння на сучасному вивчені та вдосконаленні математичної моделі кінетики відомі роботи [3][4].

Але не вдаючись до оцінювання безперечної правильності прийнятої моделі потрібно зауважити, що практичне застосування даної моделі вимагає проведення великої кількості експериментів і перевірки поведінки конкретного матеріалу з метою встановлення параметрів за рівнянням (1), і тому її використання для введення як базової для системи керування сушінням у баштових сушарках не може бути прийнятною.

Попереднє зауваження пов'язане з тим, що у більшості випадків практичного сушіння зерна оператори сушарок встановлюють режими виходячи з власного досвіду, який пов'язаний не з параметрами теоретичних графіків, а виходячи з параметрів – початкової вологості зерна ω_n , кінцевої вологості зерна ω_k і температурних режимів T_a - температура агента сушіння, T_3 – температура зерна, V – швидкість переміщення зерна у баштовій сушарці, якими реально може оперувати оператор.

Для того щоб оператор міг здійснювати керування процесом опираючись на данні, пов'язані з параметрами температурного стану зерна та агента, розробимо математичну модель сушіння, яка буде пов'язувати час сушіння з температура теплого агента та температурою зерна.

Якщо враховувати, що сушіння зерна проводиться у межах значень вологості $\leq 30\% \geq 8-14\%$ (менше значення для масляничних культур), то за теоретичною (рис.1) кривою можна вважати що процес проходить у межах періодів a, b, та приблизно середини періода c-другої критичної точки. При цьому, якщо не зважати на період a (рис.1) – стадію попереднього нагрівання, то спробуємо побудувати спрощену математичну модель сушіння зерна в баштовій сушарці на засадах теплового балансу, який враховує температурні параметри процесу.

Розглянемо рівняння теплового балансу - потік гарячого повітря проходячи скрізь шар зерна втрачає (віддає) частину свого тепла.

$$dQ_3 = \vartheta_3 (T_{\text{вих}} - T_{\text{вх}}) m_3 - \text{енергія на нагрів сухої частки зерна};$$

$$dQ_6 = \vartheta_6 (T_{\text{вих}} - T_{\text{вх}}) (m_3 \cdot \rho + m_3 dp) - \text{енергія на нагрів не випаруваної вологи};$$

$$\begin{aligned}
 dQ_{\text{исп}} &= -r_{\text{исп}} m_3 d\rho \text{ - енергія на випаровування;} \\
 dQ_{\text{нап}} &= \vartheta_{\text{нап}} (T_{\text{ен}} - T_{\text{ex}}) m_3 (-d\rho) \text{ енергія на нагрів пару;} \\
 dQ &\text{ - тепло витрачене на сушку (нагрів плюс випаровування).} \\
 \text{Енергія, яку віддало повітря } dQ_{\text{воз}} &= m_{\text{воз}} (T_{\text{ea}} - T_{\text{en}}) \vartheta_{\text{воз}}; \tag{2}
 \end{aligned}$$

$$m_e = m_3 \rho;$$

$$m_{\text{нап}} = m_3 d\rho,$$

де ρ – відносна вологість;

m_e – маса води в зерні;

$m_{\text{нап}}$ – маса пару.

Швидкість подачі тепла пропорціональна різниці температур

$$dQ = k_2 (T_{\text{ea}} - T_{\text{ex}}) dt, \tag{3}$$

де T_{ex} – початкова температура зерна;

T_{eux} – кінцева температура зерна;

T_{ea} – температура повітря в середині;

T_{en} – температура повітря на виході із зерн.

$$T(t) = T_{\text{ex}}, \quad T_{\text{eux}} = T(t) + dT;$$

$$k_2 (T_{\text{ea}} + T(t)) dt = \vartheta_3 m_3 dT + \vartheta_6 m_3 (\rho + d\rho) \Delta T - r_{\text{исп}} m_3 d\rho - \vartheta_{\text{нап}} (T_{\text{en}} - T(t)) m_3 d\rho;$$

$$k_2 (T_{\text{ea}} + T(t)) = m_3 \left[\frac{dT}{dt} (\vartheta_3 + \vartheta_6 (\rho + d\rho)) - (r_{\text{исп}} + \vartheta_{\text{нап}} (T_{\text{en}} - T(t))) \frac{d\rho}{dt} \right], \tag{4}$$

тут $d\rho$ – відпускаємо як нескінченно малу.

$$\frac{k_2}{m_3} (T_{\text{ea}} + T(t)) = \frac{dT}{dt} (\vartheta_3 + \rho \vartheta_6) - (r_{\text{исп}} + \vartheta_{\text{нап}} (T_{\text{en}} - T(t))) \frac{d\rho}{dt},$$

де $\frac{dT}{dt}$ – швидкість нагріву зерна;

$\frac{d\rho}{dt}$ – швидкість зміни вологи;

$\Gamma_{\text{вип}}$ – відносне випаровування.

Виразимо $m_{\text{воз}}$ через швидкість прокачки повітря $v_{\text{воз}}$

$$m_{\text{воз}} = v_{\text{воз}} dt.$$

$$\text{З рівняння (2) та (3) } v_{\text{воз}} \vartheta_{\text{воз}} (T_{\text{ea}} - T_{\text{en}}) dt = k_2 (T_{\text{ea}} + T_{\text{ex}}) dt;$$

$$v_{\text{воз}} \vartheta_{\text{воз}} (T_{\text{ea}} - T_{\text{en}}) = k_2 (T_{\text{ea}} + T(t)).$$

Температура повітря після нагріву зерна

$$T_{\text{en}} = T_{\text{ea}} - \frac{k_2}{v_{\text{воз}} \vartheta_{\text{воз}}} (T_{\text{ea}} + T(t));$$

$$\begin{cases} \frac{k_2}{m_3} (T_{\text{ea}} - T) = \frac{dT}{dt} (\vartheta_3 + \rho \vartheta_6) - \left(r_{\text{исп}} + \vartheta_{\text{нап}} \left(T_{\text{ea}} - \frac{k_2}{v_{\text{воз}} \vartheta_{\text{воз}}} (T_{\text{ea}} - T) \right) \right) \frac{d\rho}{dt}; \\ \frac{d\rho}{dt} = k_1 (\rho - \rho_{\text{воз}}). \end{cases}$$

$$\frac{k_2}{m_3} (T_{\text{ea}} - T) = \frac{dT}{dt} (\vartheta_3 + \rho \vartheta_6) - \left(r_{\text{исп}} + \vartheta_{\text{нап}} \left(T_{\text{ea}} - \frac{k_2}{v_{\text{воз}} \vartheta_{\text{воз}}} (T_{\text{ea}} - T) \right) \right) k_1 (\rho - \rho_{\text{воз}});$$

$$\begin{cases} \frac{dT}{dt} = \frac{\frac{k_2}{m_3}(T_{ea} - T) + \left[\left(r_{ucn} + \vartheta_{nap} \left(T_{ea} - \frac{k_2}{v_{\text{в03}} \vartheta_{\text{в03}}} (T_{ea} - T) \right) \right) \right]}{\vartheta_3 + \rho \vartheta_e} k_1 (\rho - \rho_{\text{в03}})} \\ \frac{d\rho}{dt} = k_1 (\rho - \rho_{\text{в03}}) \end{cases}, \quad (5)$$

із якої, в припущенні малості змінної ρ , отримаємо (6)

$$T = T_{na} - \frac{1}{k} e^{-t \frac{k_2 m_3 - k_1}{\vartheta_3 - \rho \vartheta_3}}. \quad (6)$$

Для визначення оптимальної швидкості переміщення зерна при сушці складемо систему рівнянь, які характеризують температуру зерна за деякий проміжок часу.

$$\begin{cases} T_3(0) = T_{na} (1 - e^{-kt_0}); \\ T_3(\tau) = T_{na} (1 - e^{-k(t_0 + \tau)}). \end{cases} \quad (7)$$

де $T_3(0)$ – початкова температура зерна;

$T_3(\tau)$ – температура після прогріву за час τ .

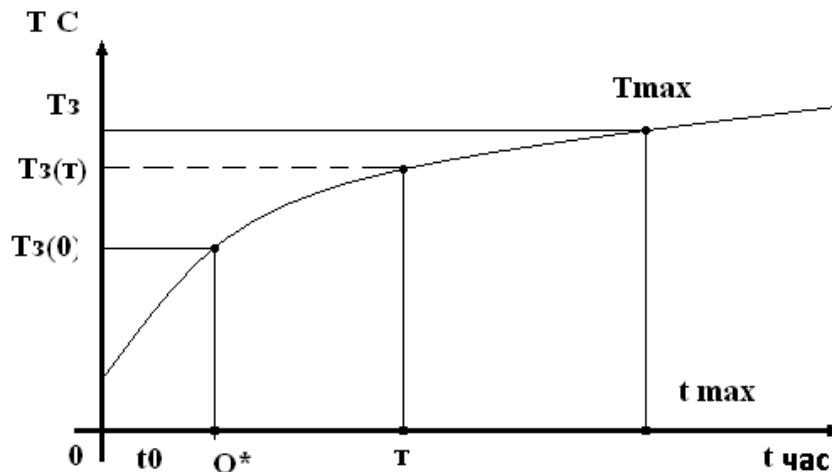


Рисунок 2 – До побудови системи рівнянь (7)

Рішення системи рівнянь (6) дає наступне рівняння яке визначає температуру зерна в довільний час нагріву

$$T_3(t) = T_a \left[1 - \left(1 - \frac{T_3(0)}{T_a} e^{-\frac{1}{\tau} \ln \frac{T_a - T_3(0)}{T_a - T_3(\tau)} t} \right) \right]. \quad (8)$$

Це рівняння дозволяє визначити оптимальну швидкість переміщення зерна в колоні сушарки. Для цього слід наслідувати наступний алгоритм:

- заміряємо в довільний момент часу, після початку процесу сушіння (з урахуванням першого етапу [1]), температуру зерна;
- чекаємо деякий (τ) час, поки зерно нагріється на 10^0 - 15^0 С;
- заміряємо $T_3(\tau)$;
- заміряємо T_a ;
- задаємо T_{max} – максимальну температуру зерна на виході;

- знаючи повний об'єм колони (об'єм зерна, яке нагрівається) V_k отримуємо значення швидкості переміщення (відгрузки) зерна

$$v = \frac{V_k}{\tau} \frac{\ln \frac{T_a - T_3(0)}{T_a - T_3(\tau)}}{\ln \frac{T_a - T_3(0)}{T_a - T_{max}}} \cdot k_3, \text{ м} \cdot \text{с} \quad (9)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, який залежить від матеріалу, який сушиться.

Рівняння (8) дозволяє встановити швидкість переміщення зерна для забезпечення технологічних параметрів близьких до оптимальних для даного типу зернових сушарок.

Отримана математична модель дозволяє оператору (автомату) встановлювати швидкість переміщення зерна v у сушарці при заданих для даного типу і виду зерна та при відомих T_a , T_3 і ω_n (початкова вологість зерна).

На основі розробленої моделі запроваджено у виробництво систему автоматичного управління для баштових сушарок фірми "Астра" [5], які впроваджені в декількох сільськогосподарських підприємствах України де успішно використовуються на протязі трьох збиральних сезонів.

При цьому автор не вважає дану модель досконалою. Вона потребує подальших як теоретичних так і експериментальних уточнень.

Список літератури

1. Лыков А.В. Теория сушки М.: Энергия, 1968.- 472с.
2. Станкевич Г.М., Страхова Т.В., Атаназевич В.І. Сушіння зерна. К.: Либідь, 1997. -352с.
3. Ефремов Г.И. Обобщенные зависимости для первого и второго периодов сушки материалов в тонком слое.//Тепломассобмен. МИФ-2000, Минск, 2000,- Т.9, - С. 129 – 135.
4. Рудобашта С.П., Кузьмина Н.В. Малыгин Е.Н. Математическое моделирование и оптимизация конвективной сушки// Теор. Основы хим.технологии. 1989. -Т. 23. № 3.-С.325-330.
5. Собінов О.Г. Автоматизація управління баштовими сушарками ТОВ "Астра".//Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. -2011. Т.41. Частина 2.- С.237-245.
6. <http://astrawood.net/zernosushilki/>

A.Sobinov

Kirovograd State Technical University

Uproschennyi building a mathematical model for the control system avtomatezyrovannoy bashennoy sushylkoy

The article presents a simplified mathematical model of drying, which determines the speed vertykalnoho grain layer in the tower dryer.

The got mathematical model allows an operator (to the automat) to set speed of moving of grain in a dryer at set the temperature of agent of drying, settemperature and humidity of grain.

speed grain layer, automated control system, tower dryer, mathematical model

Одержано 18.04.13