

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СУШКИ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ
МАКАРОН ӨНІМДЕРІН КЕПТІРУДІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ ҮЛГІЛЕРІ
MATHEMATICAL MODELS DRYING OF PASTA

Р.А. ДЖАМАШЕВА, Г.Д. ДАРАЕВА,
R.A. JAMASHEVA, G.D. DARAYEVA

(Алматинский технологический университет)
(Алматы технологиялық университеті)
(Almaty Technological University)
E-mail: gulmira_dgd@mail.ru

В статье согласно структурной схеме определены выражения передаточных функций для дальнейшего выбора способа регулирования режимов сушки и построения системы автоматического управления. Актуальность работы заключается в разработке математической модели сушильных установок по каналам, связывающим изменения параметров материала и сушильного агента (воздуха) с изменением притока теплоты.

Мақалада автоматты басқару жүйелерін құру және кептіру режимінің реттеу әдістерін таңдау үшін құрылымдық сұлбаға сәйкес беріліс функцияларының өрнектері анықталған. Жұмыстың өзектілігі жылу ағынын өзгерту арқылы заттың параметрлерінің өзгерісін және жылу агентін байланыстыратын арна бойынша кептіру қондырғыларының математикалық үлгісін дайындаумен қорытындыланады.

In article according to the block diagram expressions of transfer functions for a further choice of a way of regulation of modes of drying and creation of system of automatic control are defined. Relevance of work consists in development of mathematical model of drying installations on the channels connecting changes of parameters of a material and the drying agent (air) with change of inflow of warmth.

Ключевые слова: сушка макаронных изделий, сушилка, автоматизация, математические модели, передаточная функция.

Негізгі сөздер: макарон өнімдерін кептіру, кептіргіш, автоматтандыру, математикалық үлгілер, беріліс функциясы.

Keywords: drying of pasta, dryer, automation, mathematical models, transfer function.

Введение

Для получения динамических характеристик конвективных сушилок можно использовать структурные схемы связи между отдельными параметрами сушилок, причем уравнения звеньев этих схем определяют исходя из уравнения теплового и материального балансов и ряда статических соотношений [1].

Объект и методы исследований

В качестве объекта исследования рассмотрен процесс сушки макаронных изделий в конвективных сушилках. В качестве

методов исследования применены методы математического моделирования, дифференциального и интегрального исчисления.

Результаты и их обсуждения:

Исходя из структурной схемы, представленной на рисунке 1, и уравнений звеньев, были получены следующие выражения передаточных функций конвективных сушилок:

1. По каналу «изменение подачи теплоты – изменение температуры воздуха»:

$$W_i(p) = k_1 \frac{1 + T_c^* p}{(1 + T_a p)(1 + T_b p)},$$

(1)
где

$$T_{a,b} = \frac{T_1 + T_c^* + k_{o.c.l}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{T_1 + T_c^* + k_{o.c.l}}{2}\right)^2 - T_1 T_c^*},$$

при этом T_a соответствует знаку «+», а T_b - знаку «-» перед корнем;

$$k_{o.c.l} = k_1 h_1 G b$$

2. По каналу «изменение подачи теплоты – изменение относительной влажности воздуха»:

$$W_\omega(p) = \frac{\Delta\varphi(p)}{\Delta Q(p)} = -\frac{2\varphi_0 k_1 (1 + T_c^* p)}{(t_\Gamma)_0 (1 + T_a p)(1 + T_b p)}, \quad (2)$$

$$\text{где } T_c^{**} = T_c^* - \frac{(t_\Gamma)_0}{2d_0} h_1 k_7 G$$

3. По каналу «изменение подачи теплоты – изменение влагосодержания материала»:

$$W_\omega(p) = -\frac{h_1 k_1}{(1 + T_a p)(1 + T_b p)}, \quad (3)$$

На рисунке 1 приведена структурная схема, исходя из которой можно определить статические и динамические характеристики конвективной сушилки по каналам, связывающим изменения параметров материала и сушильного агента (воздуха) с изменением притока теплоты [2].

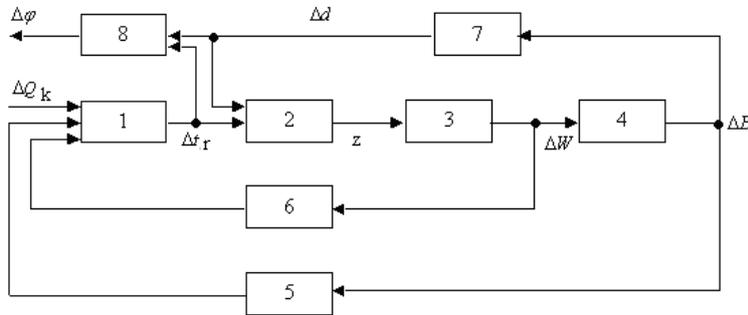


Рисунок 1 - Структурная схема системы управления процессом сушки: 1-8 звенья.

Звено 1 характеризует инерционность процесса теплообмена в сушилке. Его передаточная функция находится из уравнения теплового баланса сушилки

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5, \quad (4)$$

где: Q - тепловой поток, Дж;

Q_1 - расход тепла на испарение влаги, Дж;

Q_2 - расход тепла на нагревание воздуха, Дж;

Q_3 - расход тепла на нагревание материала, Дж;

Q_4 - расход тепла на нагревание транспортных приспособлений, Дж;

Q_5 - потери тепла в окружающую среду, Дж.

Поскольку влияние Q_2 и Q_4 в тепловом балансе сушилки незначительно, эти величины можно опустить. Тогда, определяя

Q_1 , Q_2 и Q_5 через параметры материала сушильного агрегата и наружного воздуха, записывая уравнение динамики в приращениях, вычитая соответствующее ему уравнение статики и линеаризуя полученное выражение, для первого звена окончательно получим:

$$a_2 \frac{d\Delta t_r}{d\tau} + a_1 \Delta t_r = x_1 \quad (5)$$

При этом

$$x_1 = \Delta Q - g\Delta\omega - b\Delta B;$$

$$a_1 = Lc_\Gamma + 0,47 B_0 + \sum_{i=1}^n F_i k_i;$$

$$a_2 = G(c_M + \omega_0 c_B) + P_c c_{CT} + V\gamma_\Gamma c_\Gamma;$$

$$g = \frac{\Delta t_H}{\Delta\omega_H} m B_0 + G \frac{d\Delta t_\Gamma}{d\tau};$$

$$b = 595 + 0,47t_{\Gamma} - c_B t_M + \frac{\Delta t_H}{\Delta \omega_H} m(c_M + c_B \omega_0),$$

где: P_C - масса корпуса сушилки, кг;

$$B = G \frac{d\omega}{d\tau} - \text{массовый расход испаряе-}$$

мой из материала влаги, кг/ч;

$\Delta t_H = t_{1\Gamma} - t_H$ - перепад температур в пограничном слое у поверхности материала, °С;

t_M, t_{Γ} - температура соответственно матери-риала и воздуха (газа) в начале процесса, °С;

t_H - температура поверхности мате-риала, °С;

$\Delta W_H = W_1 - W_{\text{РАВН}}$ - разность влагосо-держания, г/кг;

n - число зон, на которые разделяется сушилки при определении ее динамических характеристик;

R_I - коэффициент теплопередачи в I-й зоне;

L - расход воздуха, м³/с;

V - объем сушилки, м³;

G - масса материала в сушилки, кг;

γ_{Γ} - плотность теплоносителя, кг/м³;

F_1 - площадь поверхности теплообмена I-й зоны, м².

Для сушилки непрерывного действия при малых ΔQ коэффициенты a_1 и a_2 в уравнении (2) можно считать постоянными, так как $\omega_0 = idem$ и $B_0 = idem$, поэтому передаточная функция звена 1 имеет вид:

$$W_1(p) = \frac{k_1}{1 + pT_1}, \quad (6)$$

$$\text{где: } k_1 = \frac{1}{a_1}, T_1 = \frac{a_2}{a_1}.$$

Постоянная времени T_1 характеризует инерционность сушилки как теплового объекта.

Вследствие изменений во времени величин ω_0 и B_0 , свойственных сушилкам периодического действия, коэффициенты a_1 и a_2 также являются функциями времени. Поэтому для таких сушилок передаточную функцию $W_1(p)$ можно рассматривать лишь как первое

приближение. Однако в большинстве случаев данная передаточная функция достаточно точно описывает динамические свойства и сушилок периодического действия.

Звено 2 является безинерционным. При малых величинах отклонений от нормального хода процесса связь между изменением условий сушки материала, характеризуемых сигналом z , и отклонениями параметров воздуха - температурой в начале процесса Δt_{Γ} и влажностью Δd - может быть задана уравнением:

$$z = -h_1 \Delta t_{\Gamma} + h_2 \Delta d. \quad (7)$$

В сушилках непрерывного действия коэффициенты h_1 и h_2 - постоянные, а в сушилках периодического действия они являются функциями времени.

Звено 3 характеризует инерционность процесса влагообмена и описывается дифференциальным уравнением

$$T_C \frac{d\Delta \omega}{d\tau} + \Delta \omega = z, \quad (8)$$

где $T_C = 1/A$.

Постоянная времени T_C характеризует инерционность процесса сушки.

В сушилках непрерывного действия величина $T_C = idem$ и, следовательно, передаточная функция звена 3

$$W_3(p) = \frac{1}{1 + pT_C}. \quad (9)$$

В сушилках периодического действия постоянная времени T_C изменяется в процессе сушки, т.е. в этом случае передаточную функцию $W_3(p)$ можно рассматривать лишь как первое приближение. В литературе приводится выражение передаточной функции $W_3(p)$ с учетом зависимости T_C от времени.

Звено 4 связывает изменение интенсивности выделения влаги ΔB из материала с изменением среднего влагосодержания и описывается уравнением:

$$\Delta B = -G \frac{d\Delta\omega}{d\tau}.$$

Его передаточная функция:

$$W_4(p) = -Gp.$$

Звено 5 определяет изменение расхода теплоты в зависимости от изменения интенсивности выделения влаги из материала и имеет передаточную функцию:

$$W_5(p) = b.$$

Звено 6 характеризует изменение расхода тепла, вызванное изменением влагосодержания материала, и имеет передаточную функцию:

$$W_6(p) = g.$$

(12)

Для сушилок периодического действия:

$$g = G \frac{d\Delta t_{\Gamma}}{d\tau} + \frac{\Delta t_{\Gamma}}{\Delta\omega_{\Gamma}} mB.$$

Для сушилок непрерывного действия:

$$g = G \frac{d\Delta t_{\Gamma}}{d\tau}.$$

Принимая, что

$$\Delta t_{\Gamma} = (\Delta t_{\Gamma})_0 [1 - \exp(-\frac{\tau}{\tau_0})], \text{ определим}$$

суммарный сигнал обратных связей х_{о.с} через звенья 5 и 6:

$$x_{o.c} = -(g\Delta\omega + b\Delta B). \quad (13)$$

Подставим выражение (13) значения $\Delta\omega$, g и ΔB , получим:

$$x_{o.c} = -Gh_1(\Delta t_{\Gamma})_0 \frac{1}{\tau_0} \exp(-\frac{\tau}{\tau_0})(b - \Delta t_{\Gamma}) = -\Delta B(b - \Delta t_{\Gamma})$$

Из полученного выражения следует, что влияние обратной связи через звено 6 (по $\Delta\omega$) может быть учтено небольшим уменьшением коэффициента усиления в звене 5.

Звено 7 связывает изменение влагосодержания воздуха Δd с отклонением интен-

сивности выделения влаги ΔB из материала и описывается дифференциальным уравнением:

$$T_d \frac{d\Delta d}{d\tau} + \Delta d = k_7 \Delta B, \quad (14)$$

где: $T_d = V / N$ и $k_7 = 1000 / L$;
N - подача вытяжных вентиляторов.

Постоянная времени T_d характеризует инерционность системы процесса смещения воздуха в сушильном пространстве.

Звено 8 связывает изменение относительной влажности $\Delta\varphi$ с отклонением температуры Δt_{Γ} и влагосодержания Δd воздуха. При малых отклонениях параметров уравнение звена имеет вид:

$$\Delta\varphi = \varphi_0 \left(\frac{\Delta d}{d_0} - 2 \frac{\Delta t_{\Gamma}}{(t_{\Gamma})_0} \right). \quad (15)$$

При составлении математической модели конвективной сушилки принимаются следующие допущения:

1. Теплоемкости материала, влаги (воды), транспортирующего устройства и коэффициенты теплоотдачи от воздуха к материалу и транспортирующему устройству постоянны по длине и площади поперечного сечения сушилки, а также во времени. Кроме того, они не зависят от температур, а коэффициенты теплоотдачи и от расхода воздуха вследствие относительно небольших номинальных значений отклонений температуры и расхода.

2. Температура и влагосодержание материала распределены по длине аппарата и сосредоточены в его поперечном сечении (одномерная задача).

3. Поперечное сечение слоя материала значительно меньше длины сушилки, а скорость воздуха намного больше скорости перемещения вдоль сушилки. Следовательно, время прохождения воздуха сквозь материал значительно меньше времени прохождения материала внутри сушилки. Относительное изменение параметров воздуха в сушилке, как правило, меньше относительного изменения параметров материала.

Заключение

Исходя из проведенных исследований, можно сказать, что математическая модель

процесса сушки зерна в конвективных сушильках в одной зоне описывается пятью уравнениями: теплового баланса для зоны; материального баланса (по влаге); теплообмена между зерном и влажным воздухом; сушки зерна; движения теплоносителя вблизи поверхности материала (алгебраическое).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асамбаев А. Автоматизация технологических процессов для хлебопекарного, макаронного и кондитерского производства: Учебное пособие/ Асамбаев А. – Астана: Фолиант, 2010. – 384 с.
2. Грачев Ю.П., Плаксин Ю.М. Математические методы планирования эксперимента. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 296 с.