

Предварительно измельченный фарш загружают в чашу измельчителя, например куттера. Когда фарш достигнет уровня преобразователя, электрический сигнал от последнего поступает на блок управления, вызывая замыкание цепи. При достижении оптимальных или необходимых реологических свойств фарша сигналом преобразователя цепь блока управления размыкается, в результате чего включаются в работу порошковая электромагнитная муфта, реле времени и открывается электромагнитный клапан. Порошковая электромагнитная муфта приводит во вращательное движение выгрузатель и одновременно включает в работу гидравлический насос. По истечении заранее установленного времени, необходимого для выгрузки пищевого продукта, реле

времени закрывает и открывает соответствующие электромагнитные клапаны и включает сигнальную лампу.

Поршень выгружаемого гидравлического цилиндра под действием пружины возвращается в исходное положение, вынимая выгрузатель из чаши измельчителя. Одновременно масло из гидравлического насоса нагнетается в полость гидравлического цилиндра для подъема крышки измельчителя, что обеспечивает более равномерную закладку сырья в полость чаши измельчителя и позволяет включать в работу загрузочное устройство. В дальнейшем цикл работы повторяется.

Система позволяет автоматически управлять работой всех органов измельчителя в строгой последовательности и в зависимости от оптимальной или заранее заданной степени измельчения, контролируемой индукционным преобразователем, который находится в контакте с поверхностью измельчаемого продукта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация технологических процессов пищевых производств / под ред. Е. Б. Карпина - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, 1985. - 536 с.

#### ТҰЖЫРЫМ

Құрылымдық - механикалық қасиеттері бойынша шұжық фаршын дайындау процесін автоматты реттейтін құрылғылар мен жүйелер сипатталған.

#### RESUME

Device and system for the automatic regulation of the process of the preparation of sausage stuffing according to its structural and mechanical properties are described.

УДК. 631.115.61

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСУ ПРОЦЕССОМ СУШКИ ЗЕРНА ИНФРАКРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

БЕРЕЗИНА Н.С., КИМ Е.И.

АО «Алматинский технологический университет»

*Статья посвящена использованию инфракрасного излучения для нужд сельского хозяйства. Описывается математическая модель АСУ процессом сушки зерна инфракрасным излучением, с целью повышения сохранности продукта и стойкости его к развитию микрофлоры. Представлена АСУ ТП сушки зерна с использованием инфракрасных обогревателей на элеваторе.*

**Х**арактерной чертой современного уровня автоматизации зерносушилок являются [1,2]:

- применение схем управления только по косвенным показателям качества (используются параметры состояния зерна, например температура зерна);

- разработка системы (и схемы) автома-

тизации для конкретного типа сушилки без возможного изменения технологической схемы с целью повышения производительности.

В целом, инфракрасная сушка дает продукты, не содержащие консервантов и других посторонних веществ, эти продукты не подвергаются воздействию вредных электромагнитных полей и излучений. Само инфракрасное излучение безвредно для окружающей среды и человека, как и использующее его оборудование для сушки фруктов, овощей, мяса, рыбы и т.д. Прошедший сушку продукт не критичен к условиям хранения и стоек к развитию микрофлоры.

Такая сушка продукта дает два преимущества: во-первых, при таких температурах максимально сохраняется продукт: не рвутся клетки, не убиваются витамины; во-вторых,

низкие температуры не греют сушильное оборудование, то есть, нет потерь тепла через стенки, вентиляцию. В то же время инфракрасное излучение при температуре 40-60 градусов позволяет уничтожить всю микрофлору на поверхности продукта, делая сухой продукт практически стерильным.

В качестве АСУ в работе рассматривается АСУ ТП сушки зерна с помощью инфракрасных обогревателей на элеваторе. Классическое понятие автоматизации любого процесса (в т.ч. и сушки) можно сформулировать следующей фразой: "вижу значение контролируемого параметра (температура, влажность и т.п.) - реагирую по определенному закону (изменяю интенсивность излучения, скорость движения конвейера и т.п.)".

Для получения математического описания системы обычно необходимо составить описание её отдельных элементов. Совокупность всех уравнений системы составляет и дает описание системы.

С точки зрения управления процессом сушки, сушильная камера состоит из:

1. Системы регулирования температуры ИК - излучателей;
2. Системы контроля и регулирования влажности в помещении влажности;
3. Системы контроля оборудования сушильной камеры.

Как было показано выше, для регулирования температуры ИК-источников теплоты сушильных камер необходимо управлять мощностью (напряжением и силой тока) в ИК нагревателе.

Описание математических соотношений на уровнях структурных, логических и количественных свойств принимает конкретные формы в условиях определенного объекта. Например, множество параметров, влияющих на выбор температуры сушки зерна, можно представить в виде:

$$T = \{m, c_{pi}, a_i, F_i, Y_i, h_i, \lambda_i, \beta_i, \psi_i, W, F_{эф}\}$$

где  $m$  – масса зерна, кг;  $c_{pi}$  – удельная теплоемкость зерна, воздуха, стенок сушильной камеры, Дж/кг·К;  $a_i$  – коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/м<sup>2</sup> К;  $F_i$  – площадь поверхности, участвующая в теплообмене между зерновой массой и воздухом, м<sup>2</sup>;  $Y_i$  – влагосодержание (зерна, воздуха), %;  $h_i$  – толщина слоя зерна, м;  $\lambda_i, \beta_i, \psi_i$  – коэффициенты тепло-, массообмена и влагообмена, соответственно;  $W$  – количество влаги, удаляемое из зерна в процессе сушки, кг/ч;  $F_{эф}$  – эффективная площадь поверхности ИК излучателя, м<sup>2</sup>.

Задачей разработки математической модели АСУ ТП сушки зерна с использованием ИК нагревателей является получение системы математических соотношений, описывающих с требуемой точностью изучаемый объект и его

поведение в производственных условиях.

Расчет распределения температуры в процессе сушки в зерновой массе в трехмерном объеме путем решения системы уравнений теплопроводности для АСУ ТП на практике достаточно сложен, в частности вследствие большого количества датчиков, отслеживающих изменение температуры по пространственным координатам.

Поэтому мы предлагаем применить более простой вариант моделирования, с учетом того что, данная задача относится к задачам нестационарной теплопроводности при отсутствии существенного внутреннего тепловыделения зерновой массы. В этом случае задачу можно свести к двумерной, т.е. температура зависит только от координат  $X$  и  $Y$  (распределение по длине и высоте зерновой массы) т.е. после упрощения уравнение теплопроводности примет вид:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

От распределения температуры по пространственной координате  $X$  перейдем к более удобному решению задачи распределения температуры по времени, сделав допущение, что зерновая масса не движется, а каждый ее участок подвергается сушке с применением ИК излучения.

Для обоснованного выбора рационального режима ИК сушки для различных параметров зерновой массы (прежде всего по влажности) математическая модель должна включать в себя терморadiационные характеристики материала (ТРХ) (т.е. зерновой массы). Поскольку ИК сушка осуществляется при облучении интегральным потоком и интегральные ТРХ зависят от вида ИК генераторов и условий облучения, для расчета полей температур можно использовать (3,4) дифференциально-разностный метод расчета распределения по толщине слоя объемной плотности поглощенной энергии излучения.

С учетом вышесказанного уравнение распределения нестационарного температурного поля примет вид:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad 0 \leq z \leq b, \quad \tau > 0.$$

Подобная задача решается при граничных условиях третьего рода, представленных в виде:

$$\begin{cases} -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} = \lambda_k \cdot (T_{зо} - T_k), \\ -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha_z \cdot (T_{зо} - T_{воз}), \\ T_z = T_n, \end{cases}$$

где  $T_{зо}, T_k$  – температура зерновой массы на границе конвейера и воздуха, К;

$T_{зв}, T_{воз}$  – температура конвейера (шнека) и воздуха, К;

$\lambda, \lambda_k$  – коэффициенты теплопроводности зерновой массы и воздуха,

$a_b$  – коэффициент теплоотдачи воздуха.

Для получения более достоверного результата, необходимо иметь начальные условия, тогда можно заменить дифференциальные уравнения в частных производных уравнением в виде конечно-разностных аппроксимаций для производных, т.е. задача сводится к получению уравнений следующего вида:

$$\frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} = \alpha \frac{T_{i+1}^n - 2 \cdot T_i^n + T_{i-1}^n}{\Delta x^2}$$

Внутри сушильной камеры надо создать температурное поле, которое обеспечило бы сушку зерновой массы. Контроль за полем осуществляется в  $n$  точках с помощью датчиков одного класса и типа:

$$T_1 = T_2 = T_3 = \dots = T_n = T_{зад} \pm \Delta T_{зад}$$

Связь между максимальной температурой  $T_{max}$  поверхности зерновой массы, облучаемой ИК-излучением, плотностью потока излучения  $E_0$  и коэффициентом поглощения поверхности  $A$  выражается зависимостью [3]:

$$T_{max} = T_0 + \frac{\bar{A} \cdot E_0}{\alpha \cdot F'}$$

где  $T_0$  – начальная температура, К.

Спектр испускания излучателя выбирается в зависимости от коэффициентов отражения  $\bar{R}$ , поглощения  $\bar{A}$  и пропускания  $D$  зерновой массы, значения которых определяют энергию, поглощаемую в процессе сушки.

При расчете лучистого теплообмена в сушильных камерах (впрочем как и любом пространственном объеме, где используются ИК-нагревательные элементы), необходимо учитывать конвективную составляющую теплоотдачи к воздуху, зависящую от усредненной температуры воздуха, К:

$$T_{воз} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot F_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot F_i}$$

где  $\alpha_i$  – коэффициент теплоотдачи от  $i$ -го участка рабочего пространства;

$F_i$  – площадь  $i$ -й теплоотдающей поверхности,  $m^2$ ;

$T_i$  – температура  $i$ -го участка рабочего пространства, контролируемая датчиками АСУ ТП, К.

Задача значительно осложняется тем, что перенос ИК-излучения в реальных сушильных установках сопровождается также другими механизмами переноса энергии: теплопроводность, конвекция.

Дополнительные трудности возникают в связи с существенной неоднородностью полей температуры, состава и селективностью радиа-

ционных характеристик тел как в объеме среды, так и на граничных тепловоспринимающих поверхностях нагрева. Все это делает точное решение поставленной достаточно сложным.

При описании нестационарного нагрева зерновой массы, связанного с процессом взаимодействия ИК излучения и конвективного теплообмена изменение массы зерна в процессе влагоиспарения можно выразить следующей зависимостью (5):

$$m \cdot c \cdot \frac{dT}{dt} = Q - F \cdot \xi \cdot (C_s \cdot T_0^4 - C_s \cdot T_r^4),$$

где  $T_0, T_r$  – начальная температура зерновой массы и температура среды, соответственно, К;

$Q$  – мощность теплового потока, Вт;

$\xi$  – коэффициент переноса ИК излучения

$C_s$  – постоянная Стефана-Больцмана ( $C_s = 5,6697 \cdot 10^{-8} C_s$ ), Вт/( $m^2 \cdot K^4$ ).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Глушков В.М. Введение в АСУ. Изд. 2-е, исправленное и дополненное. -М.:«Техника», 1974. -320 с.
2. Захаров В.Н. и др. Системы управления. Задание. Проектирование. Реализация. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: «Энергия», 1977.-424 с. с ил.
3. Борхерт Р., Юбиц В. Техника инфракрасного нагрева. М.: Госэнергоиздат, 1963.-278 с.
4. Цугленок Н.В. Имитационная модель функционирования сушильных установок. // Вестник КрасГАУ, Красноярск, 2007. №3.-С. 196-200.
5. Атаназевич В.И. Сушка зерна. М.: Лабиринт, 1997.-256 с.

## RESUME

The article is dedicated to the usage of infrared radiation for agriculture needs. The mathematical model of Automation of Control System is described as the process of grain drying with infrared radiation, for the purpose to enhance the safety of products and their resistance to microflora development. The Automation of Control System of Technological Process in grain drying is presented with the using of infrared heater on the elevator.

## ТҰЖЫРЫМ

Мақала инфрақызыл сәулесін ауыл шаруашылығының қажетіне пайдалануға арналған. Өнімнің сақталуын және микрофлоралардың дамуға беріктігін жоғарылату мақсатында дәндерді инфрақызыл сәулесімен кептіру процесімен ЖБА математикалық үлгісі сипатталған. Элеваторда инфрақызыл жылытқыштар пайдалана отырып дәндерді кептірудің ТП ЖБА көрсетілген.