ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СУШИЛКИ КОНВЕКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Кабулов Нозимжон Абдукаримович

заведующий кафедрой,
Андижанский машиностроительный институт,
Республика Узбекистан, г. Андижан,
E-mail: kabulov69@mail.ru

IDENTIFICATION OF THE MODEL OF FUNCTIONING OF THE CONVECTIVE DRYER

Nozimjon Kabulov

Head of the department,
Andijan Machine-Building Institute,
Uzbekistan, Andijan,

АННОТАЦИЯ

В статье приведены сведения о модели функционирования технологического процесса сушки. Модель технологического процесса сушки масличного сырья представлена в виде системы контроля и управления ее параметров в сушилке конвективного действия, дан принцип действия диэлькометрических влагомеров и методика их использования для определения влажности неподвижного масличного сырья в камерных сушилках при соответствующей доработке датчика и формирователя сигналов.

ABSTRACT

The article provides information about the model of the functioning of the drying process. The model of the technological process of drying oilseeds is presented in the form of a system for monitoring and controlling its parameters in a convective dryer, the principle of operation of dielkometric moisture meters and the method of their use for determining the humidity of stationary oilseeds in chamber dryers with appropriate modification of the sensor and signal generator are given.

Ключевые слова: модель, процесс, датчик, формирователь, система, параметр, корреляционная функция.

Keywords: model, process, sensor, shaper, system, parameter, correlation function.

Поскольку модель функционирования технологического процесса сушки в данной сушилке представляет собой многомерную систему, то для идентификации ее разбивают на одномерные частные модели, в которых на входе действуют одно или два некоррелированных возмущающих воздействия, а на выходе имеется один случайный процесс [1, 2, 3].

Количество воздуха на входе и агента сушки на выходе из теплогенератора можно считать фиксированными величинами, так как их изменения в процессе сушки незначительны. При этих условиях, модель технологического процесса сушки масличного сырья может быть представлена в виде схемы, приведенной на рисунке 1. Эта общая модель разбивается на частные модели преобразования температуры и влажности:

- A_{π}^T , A_{π}^W преобразуют соответственно температуру ($T_0(t)$), и влажность ($W_T(t)$) внешнего воздуха в температуру ($T_T(t)$) и влажность ($W_T(t)$) агента сушки в теплогенераторе;

- A_c^T , A_c^W — операторы частных моделей с двумя входами, преобразующие соответственно температуру агента сушки ($T_T(t)$) и исходную температуру масличного сырья ($T_{m0}(t)$) в текущую температуру масличного сырья ($T_{mv}(t)$) в сушильном узле (СУ), а влажность агента сушки ($W_T(t)$) и исходную влажность масличного сырья ($W_{m0}(t)$) в текущую влажность масличного сырья ($W_{mv}(t)$);

- A_k^T , A_k^W преобразуют соответственно текущую температуру масличного сырья в контрольный сигнал температуры ($T_K(t)$), а текущую влажность масличного сырья в контрольный сигнал влажности ($W_K(t)$).

Согласно рисунка 1 и описанию действий операторов, можно определить общие операторы преобразования температуры окружающего воздуха и масличного сырья и их влажности:

$$\begin{aligned} A^T &= \{A_{\pi}^T; A_c^T; A_k^T\}; \\ A^W &= \{A_{\pi}^W; A_c^W; A_k^W\}. \end{aligned} \quad (1)$$

Рисунок 1. Модель технологического процесса сушки масляного сырья и контроля его параметров в сушилке конвективного действия

Рассматривая модель технологического процесса сушки как многомерную систему, ее оператор можно записать в виде

$$A_K = \begin{bmatrix} A^T \\ A^W \end{bmatrix}, \quad (2)$$

Этот оператор определяет текущие параметры процесса сушки. По этим параметрам определяется соответствие режима сушки заданному и момент окончания сушки. А оператор преобразования параметров масляного сырья ограничивается оператором

$$A_M = \begin{bmatrix} A_{TM} \\ A_{WM} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где $A_{TM} = \{A_T^T; A_C^T\}$, $A_{WM} = \{A_T^W; A_C^W\}$.

Частные модели сушки неподвижного слоя масляного сырья в сушилке конвективного действия

Частные модели, указанные на рисунке 1, достаточно сложны и, как правило, не поддаются теоретическому анализу. Для упрощения, их можно представить без инерционных и инерционных звеньев процесса сушки.

Для без инерционных звеньев ($\Phi(i\bar{\omega}) = A$), результат преобразования случайного сигнала с дисперсией D_x и спектральной плотностью $S_x(\bar{\omega})$,

$$D_x = 2 \int_0^\infty S_x(\bar{\omega}) d\bar{\omega}. \quad (4)$$

$$S_y(\bar{\omega}) = S_x(\bar{\omega}) |\Phi(t\bar{\omega})|^2, \quad (5)$$

$$D_y = \int_{-\infty}^\infty S_x(\omega) |\Phi(i\omega)|^2. \quad (6)$$

рассчитывают с учетом выражений (4)... (6) как:

$$D_y = A^2 D_x. \quad (7)$$

В этом случае частные модели линейно ослабляют или усиливают дисперсию входного процесса. Можно предположить, что такими без инерционными звеньями являются частные модели для температуры масляного сырья (операторы (A^T , A_{TM}) в установившемся режиме работы. Поскольку темпе-

ратура масляного сырья в конце сушки, как правило, имеет тенденцию возвращения к исходной, то и дисперсия ее, после перемешивания масляного сырья при выгрузке, не может существенно превысить исходную.

Дисперсия на выходе модели зависит от дисперсий звеньев и корреляции между ними. Это определяет требования к устройствам контроля минимальная дисперсия (мощность) собственных шумов устройств контроля и минимальная корреляция их с шумами остальных звеньев модели.

Степень корреляции процессов зависит от степени пересечения их частотных полос. Поэтому, для уменьшения корреляции, полоса рабочих частот устройства контроля должна быть выше полосы частот случайных процессов в теплогенераторе и сушильном узле.

В устройстве контроля производится преобразование неэлектрических величин (температуры, влажности) в электрические сигналы, которые должны быть удобны для потребителя информации. Такие сигналы вырабатываются первичными (датчики) и вторичными (формирователи) преобразователями. В датчиках используется зависимость их параметров (сопротивление, ёмкость) от температуры или влажности. Формирователи выдают стандартные сигналы, параметры которых меняются в соответствии с изменением параметров датчика. Чем сложнее предъявляются требования к выходному сигналу контроля (амплитуда, фаза, частота, вид сигнала, передача на расстояние и т.д.), тем больше последовательных преобразований проходит сигнал, следовательно, тем больше накапливается помех. Все это ограничивает число и тип возможных преобразователей. Операторы контроля всегда зависят от частоты и поэтому характеристики устройства контроля в значительной степени определяются выбором его рабочих частот.

Аналитическая модель диэлькометрического влагомера

Диэлькометрические влагомеры нашли широкое применение при контроле влажности движущегося масляного сырья в сушилках. Принцип действия этих влагомеров можно использовать и для определения влажности неподвижного масляного сырья

в камерных сушилках при соответствующей доработке датчика и формирователя сигналов.

Датчик диэлектрического влагомера — конденсатор с потерями.

Модель датчика (рис.2) — параллельное соединение ёмкости (C_x) и сопротивления (R_x), величины которых зависят от влажности наполнителя конденсатора.

Рисунок 2. Электрическая модель конденсатора с исследуемым образцом

Формирователь преобразует в электрический сигнал параметры датчика, используя датчик или в качестве конденсатора в задающей цепи генератора, или в виде элемента делителя (рис.3) выходного напряжения генератора.

Рисунок 3. Делитель напряжения

В этом делителе: U_o — внешнее напряжение; U_x — выходное напряжение; Э1 — элемент делителя, в качестве которого могут быть, внешние по отношению к датчику: резистор, конденсатор, контура — последовательный или параллельный; Э2 — датчик. При таком разнообразии элементов делителя возможное число формирователей достаточно велико. Проблема выбора оптимального формирователя усложняется тем, что форма внешнего напряжения может быть любой (постоянное напряжение, гармонический или релаксационный сигнал), а сам делитель может использоваться или как часть генератора или как часть его нагрузки.

В измерительной технике стремятся использовать только линейную часть зависимости выходного сигнала от входного или от параметров схемы. Это обеспечивает наименьшие ошибки при градуировке приборов и в процессе их эксплуатации, но существенно ограничивает диапазон их работы и область применения. Поэтому при больших диапазонах изменения параметров (в рассматриваемом случае R_x и C_x меняются в $10^5 - 10^6$ раз) приходится использовать нелинейные участки характеристик. При этом, если учесть, что нелинейность можно компенсировать программно-аппаратными средствами, то выбор вариантов по линейности характеристик теряет свое решающее значение.

Наличие у датчика двух информационных параметров, вместо одного, не увеличивает количество поступающей от него информации, поскольку эти параметры зависимы (постоянная времени датчика $\tau_x = R_x C_x \approx const$). Кроме того, схемы формирователей разрабатываются на использование только одного параметра, а второй является помехой. Поэтому наличие помех в выходном сигнале присуще всем формирователям, использующим, в качестве датчика, конденсатор с потерями. Особенно это проявляется у генераторов, в частотной — задающей цепи которых стоит конденсатор, активное сопротивление которого меняется от влажности в 10^6 раз.

Поэтому основным критерием оценки вариантов формирователей становится критерий минимума дисперсии выходного сигнала.

Дисперсия выходного сигнала (6) зависит от спектральной плотности входного сигнала ($S_x(\omega)$) и частотной характеристики формирователя ($\Phi(i\omega)$). Для маслянистого сырья, поступающего на очистительные агрегаты, функция корреляции влажности $R(\tau)$ и спектральная плотность $S(\omega)$ определяется [6] по формулам:

$$R(\tau) = \sigma^2 \cdot e^{-\alpha|\tau|}, \quad S(\omega) = \frac{\sigma^2 \cdot \alpha}{\pi(\alpha^2 + \omega^2)}, \quad (8)$$

где σ^2 — дисперсия влажности зерна, α — постоянный коэффициент: принимают значения, $\sigma = 0,8 - 4,194$, $\alpha = (0,15 - 0,22)10^{-1}c^{-1}$.

Формирователи [4] можно классифицировать по виду напряжения, поступающего на делитель.

1. Синусоидальное напряжение. Частотные характеристики делителей определяются методом комплексных чисел, а дисперсия выходного сигнала

- по соотношению (6). Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Частотные характеристики формирователя сигналов

Э1	$\Phi(i\omega)$	Dy	Частотный диапазон
R_0	$\frac{R_X}{R_0 + R_X + i\omega R_0 \tau_X}$	$\frac{\sigma^2 \cdot R_X^2}{(R_0 + R_X)(R_0 + R_X + \alpha \cdot R_0 \cdot \tau_X)}$	$0 \leq \omega \leq \infty$
C_0	$\frac{i\omega C_0 R_X}{1 + i\omega R_X(C_0 + C_X)}$	$\frac{\sigma^2 \cdot \alpha \cdot C_0^2 \cdot R_X}{(C_0 + C_X)[1 + \alpha R_X(C_0 + C_X)]}$	$0 \leq \omega \leq \infty$
$R_0 \parallel C_0$	$\frac{R_X(1 + i\omega \tau_0)}{R_0 + R_X + i\omega R_0 R_X(C_0 + C_X)}$	$\frac{\sigma^2 \cdot R_X^2}{(R_0 + R_X)^2}$	$\tau_0 = \tau_X$ $0 \leq \omega \leq \infty$
$R_0 \perp C_0$	$\frac{i\omega C_0 R_X}{1 - \omega^2 \tau_0 \tau_X + i\omega(\tau_0 + \tau_X + C_0 R_X)}$	$\sigma^2 \cdot \left(\frac{C_0 R_X}{\tau_0 + \tau_X + C_0 R_X} \right)$	$\omega^2 \tau_0 \tau_X = 1$

В таблице 1 применены обозначения контуров из R_0 и C_0 : $R_0 \parallel C_0$ – параллельный, а $R_0 \perp C_0$ – последовательный. Постоянная времени внешнего контура $\tau_0 = R_0 \cdot C_0$. В качестве второго элемента делителя ($\text{Э2} = R_X \parallel C_X$) взят датчик.

Из таблицы 1 следует:

- в делителях с внешними контурами выходное напряжение имеет сложную зависимость от параметров датчика. Эта зависимость упрощается на резонансных частотах. Настройку на них осуществляют по равенству нулю фазы выходного сигнала, для чего необходимо ввести в формирователь схему фазовых измерений. Даже на резонансных частотах дисперсия выходного сигнала у них больше, чем у делителей с отдельными элементами, работающими во всей полосе частот;

- наименьшей дисперсией обладает схема с внешним конденсатором.

2. Постоянное напряжение. При постоянном внешнем напряжении процессы в схемах имеют стационарный и нестационарный участки. На дисперсию выходного сигнала влияют только нестационарные участки. Определим их. Прохождение тока через датчик определяется соотношением:

$$U_x = \frac{1}{C_X} \int_0^t J_{CX} dt = R_X(J - J_{CX}), \quad (9)$$

где J – общий ток, проходящий через контур, а J_{CX} – ток, проходящий через его емкость.

При подключении датчика к внешнему напряжению (U_0) через активное сопротивление (R_0), к уравнению (2.42) добавляется уравнение, описывающее прохождение тока через это сопротивление

$$U_0 = J \cdot R_0 + U_x. \quad (10)$$

Решение системы уравнений (9) и (10) дает

$$U_0 = U_0 \cdot \frac{R_0}{R_0 + R_X} (1 - e^{-\lambda t}), \quad (11)$$

где $\lambda = \frac{R_0 + R_X}{R_0 \tau_X}$.

При снятии внешнего напряжения, происходит разряд конденсатора (C_X)

$$U_X = U_0 e^{-\lambda t}, \quad (12)$$

где U_0 – максимальное напряжение, до которого зарядился конденсатор.

При подключении датчика к внешнему напряжению через конденсатор с емкостью C_0 , к уравнению (9) добавляется зависимость

$$U_0 = \frac{1}{C_0} \int_0^t J dt + U_X \quad (13)$$

Решением системы уравнений (9) и (13) является выражение

$$U_X = U_0 \cdot \frac{C_0}{C_0 + C_X} e^{-\lambda_1 t}, \quad (14)$$

где $\lambda_1 = \frac{1}{R_X(C_0 + C_X)}$

3. Постоянный ток. При любом подключении датчика к цепи постоянного тока ($J_0 = \text{const}$), выходное напряжение определяется по формуле

$$U_X = J_0 \cdot R_X \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_X}} \right). \quad (15)$$

Из этого соотношения следует, что в стационарном режиме выходное напряжение линейно зависит от сопротивления датчика.

Цифровая техника требует дискретной выдачи информации. Для этого наиболее удобно использовать разряд конденсаторов, так как во время разряда выходное напряжение не зависит от помех внешней цепи. В этом случае, информационным параметром сигнала является не амплитуда, а время разряда. Для разряда конденсатора (12) функция корреляции имеет вид:

$$R(\tau) = \sigma_1^2 \cdot e^{-\lambda|\tau|}, \quad (16)$$

где $\sigma_1^2 = \frac{U_0^2}{\lambda}$.

Известно [5], что корреляционная функция выходного сигнала равна произведению корреляционных функций входного сигнала и формирователя. Учитывая [5], связь корреляционной функции и

спектральной плотности, можно определить результирующую дисперсию.

$$\sigma_p^2 = \sigma^2 + \sigma_1^2. \quad (17)$$

Анализ выражений (11), (14) для λ , λ_l , τ_x показывает, что наименьшую дисперсию при разряде обеспечивает схема с внешним сопротивлением (R_0), меньшим R_x .

На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

для гармонического сигнала, наименьшую дисперсию имеет формирователь, датчик которого подсоединяется к внешней цепи через конденсатор, емкость которого меньше емкости датчика; формирователи непрерывного напряжения обеспечивают наилучшие характеристики при постоянном внешнем токе; формирователи дискретных сигналов обеспечивают наименьшую дисперсию при заряде емкости датчика постоянным током, а разряде через внешнее сопротивление, величина которого меньше сопротивления датчика.

Список литературы:

1. Смелик В.А. Технологическая надежность сельскохозяйственных агрегатов и средства ее обеспечения / Ярославль, 1999. – 230 с.
2. Кабулов Н.А. Системы управления технологическими комплексами при переработке масличного сырья малыми партиями // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. 12(81). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11021>
3. Патент RU № 2 681 490, 06.03.2019. Способ сушки семян и зерна и устройство для его осуществления // Патент RU № 2 681 490. 2019. Бюл. № 7. / Бибик Г.А.
4. Бибик Г.А. Дисперсионный анализ формирователей сигналов диэлькометрических влагомеров // Актуальные проблемы инженерного обеспечения в АПК: тезисы докл. Межд. конф. (Ярославль, 3-4 окт. 2004 г.). – Ярославль, 2004 г. – С. 65–70.
5. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. –М.: Сов. радио, 1977. –119 с.
6. ГОСТ 19450-93. Семена многолетних бобовых кормовых трав. Посевные качества. Технические условия. Минск. Издательство стандартов, 1995. –7 с.