

ДИНАМИКА КОРРЕКЦИИ МАССЫ РЕЦЕПТУРНОЙ СМЕСИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ДОЗИРОВАНИЯ

Тарасюк В.П.,

Донецкий национальный технический университет

Современный уровень развития управляющих систем находится на этапе максимальной замены ручного труда и принятия решений человека компьютером, посредством создания экспертных систем, базирующихся на отработанных и откорректированных технологических планах и знаниях человека-эксперта.

Автоматизация технологического процесса приготовления рецептурных смесей сводится к управлению по оптимальным технологическим циклограммам, формируемым в зависимости от рецептуры изделия, и включает: интеллектуальное создание новых рабочих рецептур пралиновой смеси, формирование уставок на изменение массы загружаемых компонентов в соответствии с видом изделия, адаптивное управление «грубой» и «точной» регулировкой подающих механизмов, идентификацию вида нарушений, определение уставок на изменение скорости выгрузки компонентов, синхронизацию управляющих воздействий на отдельные исполнительные механизмы рецептурной станции в соответствии с технологической циклограммой приготовления смеси.

С целью усовершенствования системы управления технологическим процессом приготовления смеси в рецептурной станции регулирование соотношений уставок дозирования между пятью дозаторами и смесителем компонентов осуществляется путем создания компьютерных моделей сопровождения, на основе экспертных оценок, что повышает однородностьготавливаемой смеси, стабильность ее реологических свойств [1].

Для формирования динамических моделей сопровождения процессов загрузки - выгрузки компонентов пралиновых масс, входящих в составготавливаемой смеси, определены периоды установившихся режимов для каждого механического устройства, входящего в состав схемы управления автоматизированной рецептурной станцией [2]. Они используются для текущего анализа соответствия реальных

характеристик теоретическим. Для подтверждения этого на количественном уровне установлена область допустимых значений динамических характеристик каждого исполнительного механизма для каждого дозатора при отработке уставок на различную скорость дозирования компонентов. На рис. 1 приведены характеристики переходного процесса для дозатора сахарной пудры (ДСП) при различных уставках на скорости вращения (1- максимальная производительность, 2- средняя, 3 – минимальная).

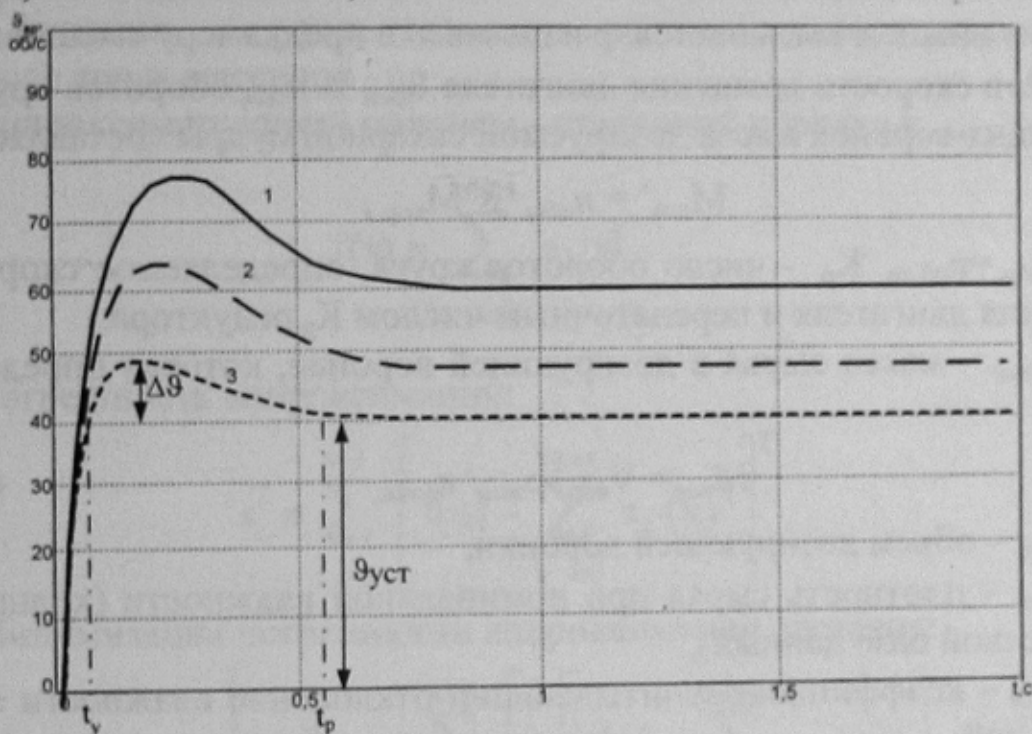


Рисунок 1 - Характеристики переходного процесса для дозатора сахарной пудры

Для управления рецептурной станцией необходимо формировать модель сопровождения, включающую анализ вида переходных процессов исполнительных механизмов. Из рис. 1 видно, что время установившегося режима колеблется в пределах $0.5 \div 0.8$ с, а перерегулирование $\Delta\theta$ находится в пределах $10 \div 40\% \theta_{уст}$. Эти параметры удовлетворяют требованиям, предъявляемым к переходным процессам [3], однако особенность состоит в том, что за момент времени t_p , по истечению которого отклонение управляемой величины $\theta(t)$ относительно установившегося значения $\theta_{уст}$ становится и остается по абсолютному значению меньше наперед заданной величины, происходит передозирование компонента $\Delta M_{доз}$. Время установления t_y –

промежуток, за который управляемая величина в первый раз достигает своего установившегося значения, характеризует скорость процесса управления.

Возникает задача определения величины $\Delta M_{\text{доз}}$, которая может колебаться в зависимости от вида сырья, его плотности, и влажности окружающей среды [1]. Дозирующее устройство дозатора сахарной пудры представляет собой круг дозирующих воронок, в которые в горизонтальном верхнем положении насыпается масса, а в горизонтальном нижнем высыпается, распыляясь в предкамеру смешивания.

При скорости вращения двигателя $\vartheta_{\text{осн}}$ за $n_{\text{общ}}$ оборотов круга дозирующих воронок масса дозируемой сахарной пудры составляет

$$M_{\text{доз}}' = n_{\text{общ}} \cdot 8 \cdot M_{\text{вор}}, \quad (1)$$

где $n_{\text{общ}} = n_{\text{об.дв.}} \cdot K_p$ - число оборотов круга, определяемое скоростью вращения двигателя и передаточным числом K_p редуктора.

$M_{\text{вор}}$ - масса сырья в дозирующей воронке, которая определяется, как

$$M_{\text{вор}} = V_{\text{вор}} \cdot \rho_{\text{вещ}} \cdot K_{\text{влаж}}, \quad (2)$$

где $V_{\text{вор}}$ - объем дозирующей воронки,

$\rho_{\text{вещ}}$ - плотность сырья при номинальной влажности (хранится в статической базе данных),

$K_{\text{влаж}}$ - коэффициент, учитывающий отклонение влажности от номинальной.

За время перерегулирования t_p - t_y масса изменится на $\Delta M_{\text{доз}}$, которую необходимо учесть при дозировании сырья в процессе приготовления изделия за один цикл работы смесителя. Проведя анализ переходного процесса, можно заметить что площадь под огибающей кривой определит полное число $n_{\text{об.дв}}$ оборотов исполнительного механизма.

Площадь под кривой определится, как

$$n_{\text{об.дв}} = \int_{t_y}^{t_p} \mathcal{Q}(t) dt. \quad (3)$$

Так как в нашем случае имеется выборка экспериментальных данных и они представлены в виде массивов, то возникает задача аппрокси-

мации дискретной зависимости огибающей переходного процесса непрерывной функцией $f(x)$. Известно несколько видов построения непрерывной функции, путем: регрессионного анализа, методами интерполяции-экстраполяции, сглаживания. Применим один из наиболее распространенных методов регрессионного анализа - метод наименьших квадратов (способ 1).

Пусть исходными данными являются : массив значений аргумента, времени установления переходного процесса - x_i ; массив значений функции, скорость вращения исполнительного механизма $f(x_i)$; число точек массивов - n .

Аппроксимирующий полином - степенной порядка k_{\max} :

$$f(x) = \sum_{k=0}^{k_{\max}} a_k \cdot x^k \tag{4}$$

Погрешность аппроксимации:

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=0}^{n-1} \left[f(x_i) - \sum_{k=0}^{k_{\max}} a_k \cdot (x_i)^k \right]^2$$

Минимизация погрешности аппроксимации составит:

$$\begin{cases} \frac{d}{da_j} \varepsilon = \sum_{i=0}^{n-1} \left[2 \cdot \left[f(x_i) - \sum_{k=0}^{k_{\max}} a_k \cdot (x_i)^k \right] \cdot -(x_i)^j \right], \\ \sum_{i=0}^{n-1} \left[2 \cdot \left[f(x_i) - \sum_{k=0}^{k_{\max}} a_k \cdot (x_i)^k \right] \cdot -(x_i)^j \right] = 0 \end{cases}$$

Эту систему можно преобразовать к виду:

$$\sum_{k=0}^{k_{\max}} a_k \cdot \sum_{i=0}^{n-1} (x_i)^{k+j} = \sum_{i=0}^{n-1} (x_i)^j \cdot f(x_i) \tag{5}$$

Система приводиться к матричной форме: $A \cdot AX = FX$, $k_{\max} := 3$

$$AX := \begin{bmatrix} \sum_i (x_i)^{0+0} & \sum_i (x_i)^{1+0} & \sum_i (x_i)^{2+0} & \sum_i (x_i)^{3+0} \\ \sum_i (x_i)^{0+1} & \sum_i (x_i)^{1+1} & \sum_i (x_i)^{2+1} & \sum_i (x_i)^{3+1} \\ \sum_i (x_i)^{0+2} & \sum_i (x_i)^{1+2} & \sum_i (x_i)^{2+2} & \sum_i (x_i)^{3+2} \\ \sum_i (x_i)^{0+3} & \sum_i (x_i)^{1+3} & \sum_i (x_i)^{2+3} & \sum_i (x_i)^{3+3} \end{bmatrix} \quad FX := \begin{bmatrix} \sum_i f(x_i) \cdot (x_i)^0 \\ \sum_i f(x_i) \cdot (x_i)^1 \\ \sum_i f(x_i) \cdot (x_i)^2 \\ \sum_i f(x_i) \cdot (x_i)^3 \end{bmatrix}$$

Решение системы ищется в виде:

$$A = FX \cdot AX^{-1} \quad (6)$$

Для нашего случая зададим массив значений аргумента - X_i и массив значений функции - $f(x_i)$ для графика 1 на рис.1 (для максимальной производительности дозатора).

Примем для полинома четвертой степени $k_{\max} := 4$

$$AX_{i,j} := \sum_{k=0}^{n-1} (X_k)^{j+i} \quad , \quad FX_i := \sum_{k=0}^{n-1} F_k \cdot (X_k)^i$$

$$AX = \begin{pmatrix} 15 & 6.75 & 3.7372 & 3.121 & 1.524 \\ 6.75 & 3.7372 & 3.121 & 1.524 & 1.046 \\ 3.7372 & 3.121 & 1.524 & 1.046 & 0.738 \\ 2.3121 & 1.524 & 1.046 & 0.738 & 0.532 \\ 1.524 & 1.046 & 0.738 & 0.532 & 0.389 \end{pmatrix} \quad , \quad FX = \begin{pmatrix} 1.008 \cdot 10^3 \\ 441.05 \\ 238.65 \\ 145.29 \\ 94.802 \end{pmatrix} \quad , \quad A = \begin{pmatrix} 21.638 \\ 530.749 \\ -1.743 \cdot 10^3 \\ 2.203 \cdot 10^3 \\ -972.815 \end{pmatrix} \quad .$$

Для полученных значений построим функцию исследуемой области переходного процесса и ее графическое изображение (рис.2).

Заменим дискретную переменную x дискретным аргументом

$$\text{kod} := 0.1, 0.11.. 0.8$$

Тогда

$$t(\text{kod}) := \sum_{k=0}^{\text{kmax}} A_k \cdot \text{kod}^k$$

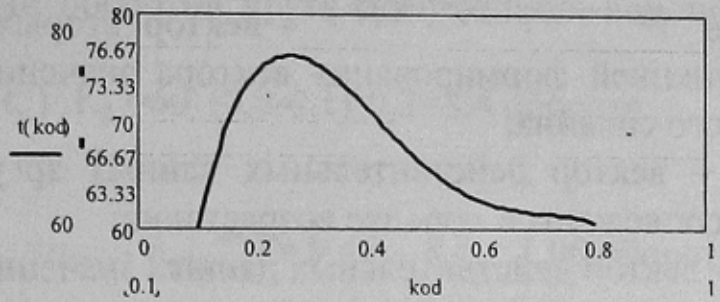


Рисунок 2 - Теоретическое графическое изображение исследуемой области переходного процесса (способ 1)

Число полных оборотов исполнительного механизма за время перерегулирования определится как

$$n_{об.дв} = \int_{t_y}^{t_p} \mathcal{G}(t) dt = \int_{0.1}^{0.8} t(\text{kod}) d\text{kod} = 47,3 \text{ оборота}. \quad (7)$$

В системе МАТКАД как в целях подавления шума, так и для решения других проблем обработки данных, широко применяются различные интегральные преобразования [4]. Они ставят в соответствие всей совокупности данных $f(x)$ некоторую функцию другой координаты $F(w)$. В данном случае желательно соединить экспериментальные точки не ломаной линией, а гладкой кривой. Лучше всего для этих целей подходит интерполяция кубическими сплайнами, т.е. отрезками кубических парабол.

Смысл сплайн-интерполяции заключается в том, что в промежутках между точками осуществляется аппроксимация в виде зависимости $A(t) = at^3 + bt^2 + ct + d$. Коэффициенты a, b, c, d рассчитываются независимо для каждого промежутка, исходя из значений $f(x_i)$ в соседних точках.

В рассматриваемом выше случае применение сплайн-интерполяции будет иметь следующий вид

$$f(x) := \text{interp}(ws, X, F, x), \quad (8)$$

где $ws := cspline (X, F)$ - вектор вторых производных, созданный функцией формирования вектора значений коэффициентов кубического сплайна;

X - вектор действительных данных аргумента, элементы которого расположены в порядке возрастания;

F - вектор действительных данных значений того же размера;

x - значение аргумента, при котором вычисляется интерполирующая функция; $x:=0.1, 0.11.. 0.8$.

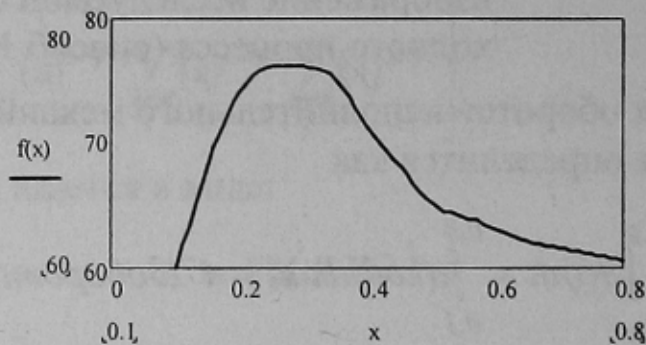


Рисунок 3 – Теоретическое графическое изображение исследуемой области переходного процесса (способ 2)

Число полных оборотов за время перерегулирования определится как (6)

$$n_{об.дв} = \int_{0,1}^{0,8} f(x) dx = 47,27 \text{ оборота.}$$

Из результатов в расчетах видно, что расхождения в значениях не превышают 0,1%, поэтому использование методов для решения задачи допустимо, но, анализируя графическое изображение в обоих случаях, видно, что использование способа 2 предпочтительнее. Кроме того, этот способ менее трудоемок и его результаты достоверны.

Подставляя полученные значения в (2) и (1) получим

$$n_{общ} = n_{об.дв} \cdot K_p = 47,3 \cdot 0,2 = 9,46 \text{ оборотов.}$$

Теоретически за время перерегулирования при скорости вращения двигателя 60 об/с и учитывая, что передаточное число редуктора

составляет 0,2, полное число оборотов круга дозирующих воронок должно составить

$$n_{\text{общ}}^{\text{теор}} = \vartheta_{\text{осн}} \cdot (t_p - t_y) \cdot K_p = 60 \cdot (0,8 - 0,1) \cdot 0,2 = 8,4 \text{ оборота.}$$

Расхождение

$$\Delta n_{\text{общ}} = n_{\text{общ}} - n_{\text{общ}}^{\text{теор}} = 9,46 - 8,4 = 1,06 \text{ оборота.}$$

Тогда

$$\Delta M_{\text{доз}} = \Delta n_{\text{общ}} \cdot 8 \cdot M_{\text{вор}} = \Delta n_{\text{общ}} \cdot 8 \cdot V_{\text{вор}} \cdot \rho_{\text{вещ}} \cdot K_{\text{влаж.}}$$

Рассмотренная методика коррекции массы рецептурной смеси включена в общую модель оценки нарушений технологического процесса, базирующаяся на анализе производственных ситуаций и критических моментов процесса дозирования в рецептурных станциях путем оценки взаимодействия баз данных, знаний и динамических характеристик ТП. Разработанная модель идентификации величины перерегулирования позволяет корректировать базовую циклограмму управляющих воздействий на исполнительные механизмы и обеспечить синхронность работы элементов рецептурной станции на основании формализованных знаний и опыта экспертов.

Такой подход дает возможность обеспечить высокий уровень обработки информационных потоков и тем самым перевести на новый уровень качества сложные системы контроля и управления технологическими процессами многокомпонентного дозирования и решить указанную проблему бесперебойного дозирования для приготовления рецептур с заданной точностью.

Список источников

1. Тарасюк В.П. Основы построения экспертной системы управления процессом дозирования компонентов пралиновых масс. Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. Випуск 3.1999 р. стор. 414-420.
2. Тарасюк В.П. Оцінка динамічних характеристик процесу управління виконавчими механізмами автоматизованої рецептурної станції. Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 25. 2001 р., стор. 92-100.
3. Чичикало Н.И. Структурно-алгоритмические принципы построения ИИС напряженно-деформированных объектов. – Донецк: ДонГТУ, 1998. – 176 с.
4. Кирьянов: MathCAD 2001. – СПб.: БХВ-Петербург.-544с.:ил.