

УПРАВЛЯЮЩИЙ АВТОМАТ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОЛИФЫ НА ОСНОВЕ АФФИНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

valerymag@nm.ru

**Шевцов М.Ю., аспирант,
Магергут В.З., д-р техн. наук, проф.**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. Рассмотрена задача управления реактором как объектом с распределёнными параметрами, основанная на проецировании области параметров «горячей точки» на плоскость управления. Предложены методы синтеза управляющего автомата на основании аффинного преобразования и комплексного отображения плоскости «горячей точки» наряду с продукционными правилами и созданием автономных систем.

Ключевые слова: реактор, объект с распределёнными параметрами, температурный профиль, «горячая точка», производство олифы, плоскость управления, комплексная плоскость, аффинные преобразования, продукционные правила, автономные системы.

Рассматривая технологию промышленного производства лакокрасочных материалов, можно говорить о ключевой роли в них химического реактора. С точки зрения автоматизации реактор зачастую является объектом с распределёнными параметрами (ОРП), в котором, как правило, распределённым параметром представлена температура. При этом от стабильного состояния температурного профиля напрямую зависит качество выпускаемой продукции и производительность всего производства [1]. Таким образом, поддержание температурного профиля в статике и динамике становится главной задачей по управлению подобным ОРП.

Рассмотрим ОРП с несколькими управляющими воздействиями на температурный профиль. Для управления такими реакторами можно применить алгоритмическое управление посредством управляющего автомата, используя для этого информацию, с так называемых характерных (значимых) точек. Примером такой точки может выступать, так называемая «горячая точка», то есть точка с наибольшим значением температуры в профиле потока малоинертной смеси в реакторе по

производству малеинового ангидрида [2, 3]. Другим примером подобного объекта является реактор по получению олифы из растительного сырья (масла) в одноимённом производстве [4].

Одной из особенностей этой точки является ее существенный дрейф, как по высоте реактора, так и по значению температуры. Это связано с рядом факторов, основными из которых являются параметры и режимы ведения технологического процесса, от которых так же зависит и производительность реактора.

В данной статье рассмотрим реактор в производстве олифы, в котором имеется два управляющих воздействия, а именно подача хладагента U_2 в рубашку реактора и воздуха U_1 для проведения экзотермической реакции окисления (рис.1). Управляемыми величинами будут являться положение h и температура t «горячей точки», при этом примем во внимание, что оба управляющих воздействия влияют одновременно и на положение и на температуру этой точки, т.е. объект является полностью связанным. Решение задачи поддержания температурного профиля в реакторе возможно различными методами. Один из них это сведение многосвязной системы к двум автономным локальным системам регулирования, отдельно управляющими положением и температурой, то есть создание автономной системы для объекта с двумя входами и двумя выходами путём введения компенсаторов [5, С. 29-105].

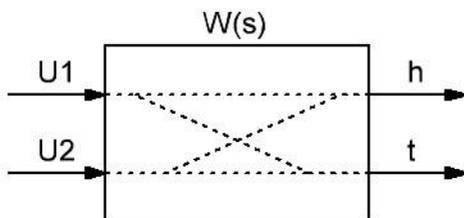


Рисунок 1 – Структура реактора

Другой путь - это возможность управления реактором по характерной точке посредством управляющего автомата, анализирующего положение и температуру точки на условной плоскости и вырабатывающего соответствующие управляющие воздействия, путём проецирования её на плоскость управления. Рассмотрим этот алгоритмический подход более подробно.

Представим параметры «горячей точки» (значение температуры и её положение) на двумерной плоскости, которую назовем плоскостью «горячей точки», а величины управляющих воздействий в виде плоскости управляющих воздействий (рис. 2.).

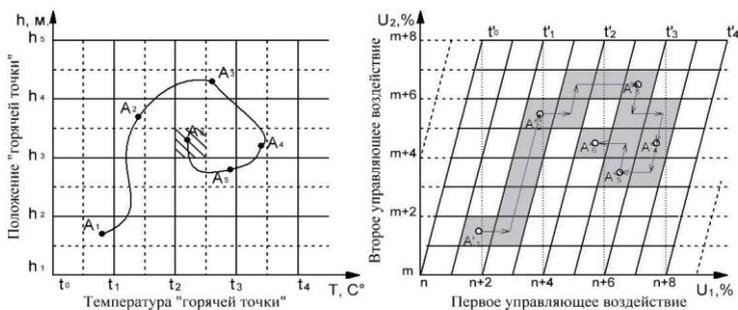


Рисунок 2 – Плоскости «горячей точки» и управляющих воздействий

В таком виде задача управления сводится к удержанию «горячей точки» в некоей подобласти, которую назовем подобласть стабилизации (на рис.2. она заштрихована), форма, размеры и положение которой определяются набором правил составленных из требуемых параметров ведения технологического процесса. Синтез управляющего автомата заключается в разбиении плоскости горячей точки на подобласти и сопоставлении каждой подобласти в соответствие точку на плоскости управляющих воздействий. Информацию о каждой подобласти можно хранить как совокупность двух двойных неравенств, ограничивающих подобласть по горизонтали и вертикали соответственно. Так как для «горячей точки» характерен существенный дрейф, то результирующее управляющее воздействие должно быть выбрано таким образом, чтобы эта точка, под действием этого воздействия, переходила в подобласть стабилизации. Положение точек плоскости управляющих воздействий на данном этапе могут быть выбраны исходя, например, из экспертных оценок.

Как видно из рис.2 при проецировании области параметров на область управления прямые остаются параллельными согласно правилу аффинных преобразований, которые будут рассматриваться ниже. Такое упрощение было сделано на основании того, что условный коридор значительно меньше общего изменения температур в процессе протекания реакции и в данной области значения параметров изменяются линейно. Таким образом, в процессе создания базы знаний можно использовать

положение касательной в области заданного коридора, построенной опытным путём. Так же учитывается работоспособное состояние барботёра, при котором воздух в реактор подаётся равномерно и не происходит принудительное смещение температурного профиля.

На рис. 2 представлена возможная траектория движения «горячей точки» и соответствующие ей управляющие воздействия. Из рисунка видно, что ось ординат ограничивается пятью значениями по высоте, что обусловлено возможностью применения функции Акима [7] для получения промежуточных значений температур. По оси абсцисс значения температур от t_0 до t_4 представляют собой условный коридор, в котором требуется стабилизировать «горячую точку». В начальный момент времени «горячая точка» находится в позиции A_1 , которая находится вне подобласти стабилизации. Для этого положения «горячей точки» управляющее воздействие находится в точке A'_1 плоскости управляющих воздействий. Для перемещения «горячей точки» в область A_2 определяем наиболее оптимальный маршрут движения данной точки на плоскости управления в точку A'_2 . Геометрически маршрут строится путём выборки подобластей таким образом, что каждая последующая подобласть должна иметь общую грань с текущей. Таким образом в момент нахождения «горячей точки» в точки A_1 на выходе система имеет управляющее значение равной подобласти с координатами $(m+1, n+2)$. Как только «горячая точка» попадает в данную координату, управляющее воздействие меняется на значение соответствующее следующей подобласти согласно условному маршруту. Аналогичные рассуждения справедливы и для остальных точек траектории движения «горячей точки».

Следует отметить, что данный алгоритм может применяться и в процессе нагрева масла и начального окисления, при этом управляющими воздействиями будут расход воздуха и секционное включение групп ТЭНов. Таким образом, можно исключить так называемый «индукционный» период в процессе окисления [4], при котором значение температуры массы резко понижается и время протекания реакции увеличивается.

Для повышения точности управления и скорости прихода точки в подобласть стабилизации можно увеличить количество подобластей плоскости «горячей точки» и соответствующих им точек плоскости управляющих воздействий. Однако с увеличением количества подобластей растёт и объём служебной информации, необходимой для функционирования управляющего автомата. С целью минимизации издержек подобного рода, предлагается сопоставить каждой точке плоскости «го-

рячей точки» точку плоскости управляющих воздействий, а правила перехода из одной плоскости в другую хранить в виде функциональной зависимости. Из примера на рис. 2 можно заметить, что переход из плоскости «горячей точки» в плоскость управляющих воздействий можно осуществить при помощи аффинных преобразований, используя формулу:

$$\begin{cases} x' = s_x x + \alpha y + \delta_x \\ y' = \beta x + s_y y + \delta_y \end{cases}, \quad (1)$$

где $s_x s_y - \alpha \beta \neq 0$.

Если перейти к однородным координатам точки, то формулы линейного преобразования можно записать в матричном виде:

$$[U1 \ U2 \ 1] = [T \ h \ 1] \cdot \begin{bmatrix} s_x & \beta & 0 \\ \alpha & s_y & 0 \\ \delta_x & \delta_y & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $U1, U2$ – координаты точки плоскости управляющих воздействий; T, h – координаты точки плоскости «горячей точки»; s_x, s_y – коэффициент растяжения по горизонтали и вертикали соответственно; α, β – характеризуют вертикальный и горизонтальный сдвиг; δ_x, δ_y – координаты вектора переноса. Следует отметить, что коэффициенты растяжения могут быть отрицательными, что свидетельствует об обратной пропорциональной связи между управляющим воздействием и управляемой координатой, а параметры горизонтального сдвига отражают влияние управляющего воздействия $U2$ на температуру «горячей точки», а вертикального сдвига влияние управляющего воздействия $U1$ на положение этой точки. Если параметры горизонтального и вертикального сдвига в подобласти стабилизации близки нулю, то возможен переход от управления посредством управляющего автомата к управлению посредством автономных систем регулирования [5].

Учитывая технологическую схему производства олифы, следует отметить, что переменные системы уравнений (1) должны находиться в прямой зависимости со значениями температуры окружающей среды θ_{cp} в близи реактора, а так же температуры хладагента $\theta_{ха}$ на входе в рубашку охлаждения. При этом область управления так же будет изменяться, примеры таких преобразований приведены на рис. 3. Так же

данные переменные могут влиять на время протекания реакции. Это объясняется смещением области управления в сторону увеличения управляющего воздействия по подачи воздуха.

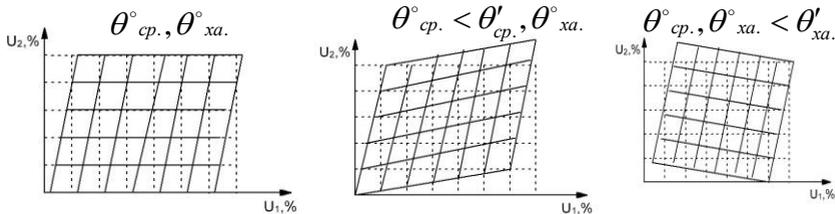


Рисунок 3 – Примеры смещения области значений на плоскости управляющих воздействий в зависимости от температуры внешней среды $\theta_{cp.}$ и хладагента $\theta_{xa.}$

В случае, когда совокупность полученных точек плоскости управляющих воздействий не может быть аппроксимирована матрицей аффинных преобразований можно воспользоваться аппаратом теории функции комплексной переменной. Для этого следует иначе подойти к представлению характеристик «горячей точки», а именно представить обе плоскости как плоскости комплексной переменной. Соответственно оси положения «горячей точки» и второго управляющего воздействия становятся мнимыми. В таком случае связь между плоскостями можно получить из формулы (1), при этом значения заменим следующим образом [6, С. 111]:

$$s_x = a_1, \alpha = b_1, \delta_x = c_1, s_y = a_2, \beta = b_2, \delta_y = c_2, \quad \text{где}$$

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} \neq 0 \quad (3)$$

Учитывая, что $z = x + iy$ получаем искомую формулу аффинных преобразований евклидовой плоскости:

$$z' = a \cdot z + b \cdot \bar{z} + c, \quad a\bar{a} \neq b\bar{b} \quad (4)$$

где z' – комплексная переменная плоскости управляющих воздействий, действительная часть которой представляет собой величину первого управляющего воздействия, а мнимая часть величину второго управляющего воздействия; z – комплексная переменная плоскости «горячей точки», действительная часть которой представляет собой температуру «горячей точки», а мнимая – ее положение; \bar{z} – перемен-

ная, комплексно сопряженная с \bar{z} ; a, b и c – комплексные постоянные. Представление аффинных преобразований плоскости с помощью комплексных чисел имеет одно важное преимущество с точки зрения программирования. Компьютерная реализация алгоритмов значительно упрощается при использовании языка программирования с встроенной поддержкой комплексной арифметики. Кроме того, использование комплексной записи облегчает геометрическую трактовку, благодаря тому, что с комплексными числами удобно работать в полярной системе координат.

Переход к комплексной плоскости позволит использовать широкий класс конформных отображений, с помощью которого можно аппроксимировать практически любую функциональную связь между плоскостями, которая может встретиться при решении задачи синтеза управляющего автомата.

Наконец, при синтезе управляющего автомата можно использовать производные правила перехода от положения и значений «горячей точки» к соответствующим управляющим воздействиям на U_1 и U_2 , как это делалось в [2, 3].

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках проекта №14-41-08016 «р_офи_м», с использованием оборудования ЦВТ БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы:

1. Магергут В. З., Гаевой П.П., Кижук А.С. Виды объектов с распределёнными параметрами и подходы к их автоматизации // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. 2007. С. 7–79.
2. Халифа Амер Абдурахим Синтез и оптимизация систем управления реактором с распределёнными параметрами: дис.. канд. техн. наук: 05.13.06. М., 2006.
3. Магергут В.З., Халифа Амер К управлению реактором по «горячей точке» // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ–20. Ярославль: ЯГТУ. 2007. Т. 7. С. 301–303.
4. Шевцов М.Ю., Магергут В.З., Саблин А.В., Дубовик Н.С. Исследования температурных режимов в окислительной колонне производства олифы для целей ее автоматизации // Химическая технология. 2015. №6.
5. Анисимов И.В. Основы автоматического управления технологическими процессами нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Л.: Химия. 1967. 408 с.

6. Понарин Я.П. Алгебра комплексных чисел в геометрических задачах: Книга для учащихся математических классов школ, учителей и студентов педагогических вузов. М.: МЦНМО. 2004. 160 с.
7. Akima H. New method for interpolation and curve fitting based on local procedures // JACM 17. P 589. 1970(T) (14s).
8. Шаптала В. Г., Шаптала В. В., Суслов Д. Ю. Вопросы моделирования и расчёта барботажных реакторов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2013. № 5. С. 189–192.