

Формирование оптимальных управляющих воздействий процесса поликонденсации

Акиншева И.В.

Кафедра АТПП, механический факультет
УО «МГУП»

г. Могилев, Республика Беларусь

e-mail: starrina@mail.ru

Аннотация — В докладе представлен метод математического моделирования динамики процесса поликонденсации, формирование критерия для определения оптимальных управляющих воздействий и аппроксимация закона управления, используемого для синтеза системы управления процессом поликонденсации.

Ключевые слова: моделирование, идентификация, оптимизация, управление

I. ВВЕДЕНИЕ

При анализе контуров управления процессом поликонденсации было выделено, что основными управляющими переменными процесса, значения которых влияют на выходные переменные, являются температура и давление внутри реакторов. Поэтому необходимо определить такие функциональные зависимости для управляющих переменных, при которых значения выходных переменных соответствовали требованиям качества получаемого в результате поликонденсации полиэтилентерефталата (ПЭТФ). Таким образом, рассматривается метод получения оптимальных управляющих воздействий процесса поликонденсации, который основывается на положениях теории вариационного исчисления.

II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Процесс поликонденсации является существенно нелинейным объектом. Одна из существенных трудностей при идентификации нелинейных объектов состоит в разнообразии типов нелинейных уравнений, их описывающих [1]. Поэтому поиск формы модели, которая адекватно описывает характеристики исследуемого объекта, и является основной задачей.

Целесообразно искать модель в виде рядов Вольтерра, ограничившись из-за инерционности исследуемого объекта, связанной с изменением тепловых процессов, двучленным отрезком [2]. В данном случае математическое описание объекта имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} v_1(t) = & v_0(t) + A_1 \int_0^t (e^{p_1 t} - e^{p_2 t}) T_2(t) dt + \\ & + A_2 \int_0^t (e^{p_3 t} - e^{p_4 t}) P_2(t) dt + \\ & + A_3 \int_0^t \int_0^t (e^{p_5 t} - e^{p_6 t})(e^{p_7 t} - e^{p_8 t}) T_2(t) P_2(t) dt dt \end{aligned} \quad (1)$$

где A_i — коэффициенты аппроксимации; $v_1(t)$ — вязкость полимера на выходе из реактора предварительной поликонденсации; $T_2(t)$ и $P_2(t)$ — управляющие переменные (температура и давление внутри реактора предварительной поликонденсации соответственно).

Выражение (1) описывает зависимость вязкости полимера на выходе из реактора поликонденсации от управляющих переменных $T_2(t)$ и $P_2(t)$.

Для нахождения оптимальных значений управляющих переменных необходимо определить структуру критерия качества.

Критерий качества должен характеризовать общую ошибку за весь период работы системы управления от некоторого начального значения времени $t = t_n$ до времени окончания процесса $t = T$. Поэтому критерий представляет собою сумму мгновенных значений ошибок основных переменных процесса, проинтегрированную по времени работы системы. Как известно, в системе наблюдаются не монотонные процессы, характеризующиеся постоянной сменой знака ошибки, поэтому для устранения зависимости вычислений от знака ошибки, будем использовать интегральную квадратичную оценку.

Как уже оговаривалось ранее, для нахождения оптимальных значений управляющих переменных воспользуемся теорией вариационного исчисления. В частности, данный метод оптимизации, позволяет определить оптимальный сигнал управления не только в зависимости от желаемого выходного сигнала, но также и в функции текущего состояния динамического процесса. Кроме того, так как исследуемый объект является нелинейным, то система управления также является нелинейной в зависимости от формы уравнения Эйлера-Лагранжа [3].

Функция, которая минимизирует функционал $F(t)$ (подынтегральное выражение критерия качества), должна удовлетворять дифференциальному уравнению второго порядка Эйлера-Лагранжа:

$$\frac{\partial F(t)}{\partial T_i(t)} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial F(t)}{\partial \dot{T}_i(t)} \right) = 0 \quad (2)$$

Структура функционала $F(t)$ представляет собою сумму квадратов ошибок входных, выходных переменных, управляющих переменных и квадратов ошибок производных управляющих переменных. Это продиктовано необходимостью соблюдения условий теоремы Эйлера-Лагранжа, согласно которой функции управлений должны быть непрерывно дифференцируемы на рассматриваемом отрезке.

Конечной целью интерполяции значений оптимальных управляющих переменных, полученных в результате решения (2), является функциональная зависимость, в соответствии с которой управляющее устройство формирует управляющее воздействие.

Таким образом, необходимо получить законы управления для каждой из управляющих переменных.

Согласно выбранной структуре критерия качества, управляющее устройство формирует управляющее воздействие в соответствии с отклонением выходной переменной от требуемого значения (т.е. в случае возникновения ошибки относительно задающего воздействия), следовательно, осуществляет управление по отклонению.

Для уменьшения возникшей ошибки введем в закон управления слагаемое пропорционального управления. Так как (1) аппроксимирована динамическая характеристики процесса поликонденсации — вязкость,

то введем в качестве вспомогательного слагаемого управление по производным, которое позволит учесть не только наличие ошибки, но и тенденцию к ее изменению, увеличивая скорость реакции системы управления, тем самым повышая ее быстродействие. Необходимо учесть, что управляющие переменные зависят от ошибок управления по всем выходным переменным, на которые оказывают воздействие, поэтому закон управления по температуре на выходе из реактора предварительной поликонденсации имеет следующий вид:

$$T_2(t) = k_1(\Delta v_1(t))^2 + k_2(\Delta Q_1(t))^2 + k_3 \frac{d\Delta v_1(t)}{dt} + k_4 \frac{d\Delta Q_1(t)}{dt} \quad (3)$$

В (3) символ Δ означает ошибку управления по переменной, рядом с которой он определен; $Q_1(t)$ – расход полимера на выходе из реактора предварительной поликонденсации; k_1 – k_4 – коэффициенты при слагаемых в законе управления.

Нелинейность процессов, протекающих в реакторах поликонденсации, приводит к нелинейной структуре законов управления.

Основной задачей является нахождение таких значений коэффициентов k_1 – k_4 , которые минимизируют ошибку между значениями управляющей переменной, найденными в результате решения (2) и значениями, полученными в результате аппроксимации с помощью (3) – $T_{2m}(t)$. Результаты аппроксимации представлены на рис. 1.

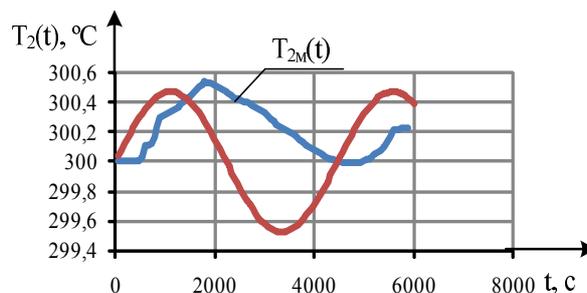


Рис. 1. Графики оптимальных управляющих переменных реактора предварительной поликонденсации, полученные в результате решения (2) и аппроксимации этого решения с помощью (3)

Относительная дисперсия ошибки, выраженная в процентах, для температуры в реакторе предварительной поликонденсации равна 8,7%. Снизить дисперсию ошибки возможно, используя переменные во времени коэффициенты k_1 – k_4 .

[1] Бессонов, А.А. Методы и средства идентификации динамических объектов / А.А. Бессонов, Ю.В. Загашвили, А.С. Маркелов. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Издание, 1989. – 280 с.

[2] Чуличков, А.И. Математические модели нелинейной динамики / А.И. Чуличков. – М.: Физматлит, 2003. – 296 с.

[3] Зеликин, М.И. Оптимальное управление и вариационное исчисление / М.И. Зеликин. – М.: Едиториал, УРСС, 2004. – 160 с.