

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА РЕАКТОРА СИНТЕЗА ПОЛИМЕРА ПО ОСНОВНЫМ КАНАЛАМ

Кобринец В. П., Карпорвич С.

Кафедра автоматизации производственных процессов и производств,  
Белорусский государственный технологический университет,

Минск, Республика Беларусь

E-mail: kobrines@rambler.ru

*Рассмотрен химический реактор, как объект управления. Определены основные каналы управления. На основании уравнений теплового баланса получены модели динамики объекта по каналам управления и возмущения. Данный реактор как объект управления является устойчивым объектом второго порядка по обоим каналам.*

## ВВЕДЕНИЕ

Синтез полимера проводится в реакторе синтеза периодического действия. Реактор – эмалированная емкость, снабженная рубашкой теперирования и мешалкой. Процесс получения полимера начинается с передачи олигомеров из растворителя в реактор синтеза. После передачи раствора начинается обогрев реактора паром, который подается в рубашку реактора. Значение температуры реакционной смеси должно быть  $110^\circ\text{C}$ . Анализируя данный реактор как объект управления можно выделить следующие основные воздействия: регулируемая величина - температура реакционной массы в реакторе, регулирующее воздействие - расход пара в паровой рубашке реактора, основное возмущающее воздействие - температура загружаемого сырья в реактор.

## I. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Наиболее целесообразной системой управления тепловым режимом данного реактора является система управления, инвариантная к возмущению. Для синтеза данной системы на первом этапе необходимо разработать математические модели по следующим каналам: канал управления: расход пара - температура реакционной массы в реакторе, канал возмущения: температура загружаемой смеси - температура массы в реакторе.

Структурная схема реактора с указанием основных каналов приведена на рисунке 1.

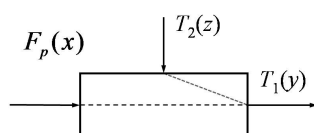


Рис. 1 – Структурная схема динамических каналов реактора.

В данном реакторе реакционная масса нагревается насыщенным водяным паром (расход  $F_p$ , кг/с), до температуры  $T_1 = 110^\circ\text{C}$ . Масса продукта, загружаемого в теплообменник, равна  $W_p = 2202$  кг, его температура на входе составляет  $T_2 = 30^\circ\text{C}$ , а удельная теплоемкость с, Дж  $\text{кг}^{-1}^\circ\text{C}^{-1}$ .

Выходной величиной реактора является изменение температуры  $T_2$ .

При выводе уравнения динамики по основным каналам реактора принимаем следующие допущения [1,2]:

1. Реактор обладает сосредоточенными параметрами, т.е. температура жидкости в теплообменнике постоянна во всех точках объема.
2. Температура теплопередающих стенок одинакова во всех точках, их термическое сопротивление пренебрежимо мало.
3. Коэффициент теплопередачи  $alfa = 28505$  Дж/( $\text{м}^2$  с град) и материала стенок  $c_{st} = 0.462$  кДж/( $\text{м}^2$  с град) постоянны во времени.
4. Насыщенный водяной пар при прохождении через рубашку реактора полностью конденсируется, отдает тепло фазового перехода и выводится в виде конденсата при той же температуре.
5. Тепло, выделяющееся при конденсации пара, расходуется на изменение температуры теплопередающих стенок и нагревание жидкого продукта.

Для получения динамических моделей по каналам управления и возмущения были составлены обобщенные уравнения теплового баланса для теплопередающих стенок реактора и для реакционной массы, находящейся в реакторе [3,4].

В уравнение теплового баланса для стенок реактора включены следующие составляющие: тепловой поток, создаваемый при конденсации пара в паровой рубашке реактора, передается на увеличение теплового потока теплопередающих стенок и количества тепла реакционной массы, находящейся в реакторе. Данное уравнение име-

ет вид:

$$A \cdot r \cdot dt = W_{st} \cdot c_{st} \cdot dT_{st} + \alpha A (T_{st} - T_1) \quad (1)$$

где  $r$  – теплота фазового перехода, Дж/кг;  $W_{st}$  – масса теплопередающих стенок, кг;  $A$  – суммарная поверхность стенок, м<sup>2</sup>.

Уравнение теплового баланса для жидкости в реакторе включает следующие тепловые потоки: тепло, поступившее в реактор с жидкостью, а так же получившее его через металлические стенки от горячего теплоносителя за время  $dt$ , расходуется на увеличение температуры жидкости.

$$W \cdot c \cdot T_2 + \alpha A \cdot (T_{st} - T_1) = WcdT_1 \quad (2)$$

где  $W$  – масса жидкости в реакторе, кг.

В результате получена связанная система из двух нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка.

Проведено преобразование данной системы управления и получена динамическая модель теплового режима реактора в виде линейного дифференциального уравнения второго порядка в безразмерных переменных:

$$T_1^2 \cdot \frac{d^2y}{dt^2} + T_2 \cdot \frac{dy}{dt} + y = x + k \cdot (T_3 \cdot \frac{dz}{dt} + z) \quad (3)$$

Полученное уравнение (3) подтверждает, что увеличение расхода пара,  $x$  и температуры среды  $z$  приведет к повышению ее температуры на выходе  $y$ . Подставив численные значения в уравнение (3), получим дифференциальное уравнение динамики теплового режима реактора полимеризации:

$$8,2 \cdot \frac{d^2y}{dt^2} + 1,35 \cdot \frac{dy}{dt} + y = x + 0,07 \cdot (33 \cdot \frac{dz}{dt} + z) \quad (4)$$

На основании данного уравнения получены динамические характеристики: дифференциальные уравнения и передаточные функции, по каналу управления и возмущения для данного реактора, который представляет собой устойчивый объект 2-го порядка.

Динамическая характеристика по каналу  $u$  имеет вид:

$$8,2 \cdot \frac{d^2y}{dt^2} + 1,35 \cdot \frac{dy}{dt} + y = x \quad (5)$$

Передаточные функции реактора могут быть найдены по его уравнению динамики, а также по структурной схеме, составленной по равенствам (1) и (2). Передаточная функция реактора

по каналу «расход пара-температура реакционной массы» имеет следующий вид:

$$W_{reaktoral}(p) = \frac{k}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1}$$

Подставив рассчитанные значения  $T_1$ ,  $T_2$  и  $k$ , получим:

$$W_{reaktoral}(p) = \frac{1}{8,2 p^2 + 1,35 p + 1}$$

Динамическая характеристика по каналу  $z$  имеет вид:

$$8,2 \cdot \frac{d^2y}{dt^2} + 1,35 \cdot \frac{dy}{dt} + y = 0,07 \cdot (33 \cdot \frac{dz}{dt} + z) \quad (6)$$

Передаточная функция теплообменника по каналу «температура загружаемого сырья-температура реакционной массы» имеет следующий вид:

$$W_{reaktora2}(p) = \frac{0,07 \cdot (33p + 1)}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1}$$

Подставив рассчитанные значения  $T_1$ ,  $T_2$  и  $k$ , получим:

$$W_{reaktora2}(p) = \frac{0,07 \cdot (33p + 1)}{8,2 p^2 + 1,35 p + 1}$$

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная модель объекта была использована для синтеза системы управления реактора, инвариантной к возмущению. Полученная динамическая модель температурного режима реактора поликонденсации по основным каналам отражает его свойства как объекта второго порядка и была использована для синтеза системы управления данным объектом в условиях ОАО "СветлогорскХимволоконо".

1. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. -М.: Высшая школа, 1991. - 400с.
2. Кузьміцкі І.Ф., Кобрынец В.П., Карпович Д.С. Мадэляванне аб'ектаў і сістэм аўтаматызацыі. Мінск.: БДТУ, 2011. -253с.
3. Корсаков-Богатков С.М. Химические реакторы как объекты математического моделирования. М.: Химия, 1967. -224с.
4. Брайнес Я.М. Введение в теорию и расчеты химических и нефтехимических реакторов. М.: Химия, 1976. -232с.