

Поплавская Виктория Андреевна

студентка

ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный

университет» (НИУ)

г. Челябинск, Челябинская область

РЕГУЛИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА С НЕПРЕРЫВНЫМ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ, В КОТОРОМ ПРОТЕКАЕТ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ $A \rightarrow B$

Аннотация: представленная в данной статье тестовая модель процесса может быть использована для демонстрации работы уменьшенной копии модели, для оценки работы реальной модели, ее контроля и обнаружения неисправностей. Нелинейная модель позволяет с большей легкостью воспроизвести результаты работы модели для дальнейшего совершенствования и исследования, а также служит основой для построения сложных систем и позволяет формировать параметры реального технологического процесса. Технологический процесс в модели сформирован в среде – приложении математического моделирования Simulink и математическом пакете MATLAB.

Ключевые слова: химический реактор, модель объекта управления, функциональная модель, MATLAB, Simulink, оптимальные параметры.

1. Описание работы модели объекта.

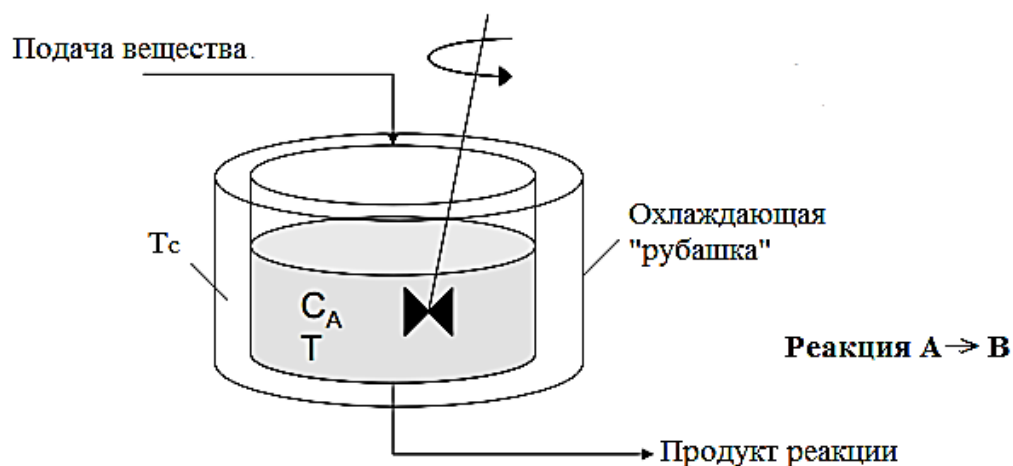


Рис. 1. Описание работы модели объекта

Объект регулирования – химический реактор с перемешивающим устройством, в котором протекает экзотермическая реакция. Температура в реакторе должна находиться на постоянном уровне, при котором химическая реакция протекает наилучшим образом. На вход модели подаются: T_c – температура холодной воды, C_{af} – концентрация вещества, T_f – температура вещества. Температура T_c управляет концентрацией вещества А на выходе C_a . Внутри реактора изменяются и являются регулируемыми параметрами: температура T , концентрация вещества А – C_a .

Предэкспоненциальный множитель k_0 учитывает число соударений, вероятность распада активированного комплекса реакции на исходные реагенты без образования продуктов реакции, пространственную ориентацию молекул реагентов, а также ряд других факторов, влияющих на скорость реакции и не зависящих от температуры.

Таблица 1

Переменные в модели CSTR

T_c	Температура холодной воды (К)
C_a	Концентрация вещества А (моль/м ³)
T	Температура в реакторе (К)
q	Объемный расход (м ³ /с)
V	Объем реактора (м ³)
ρ	Плотность смеси «А–В» (кг/м ³)
C_p	Теплоемкость смеси «А–В» (Дж/кг*К)
ΔH	Тепловой эффект реакции А → В (Дж/моль)
E	Энергия активации в уравнении Аррениуса (Дж/моль)
$R = const$	Универсальная газовая постоянная (Дж/моль*К)
k_0	Предэкспоненциальный множитель (1/с)
U	Общий коэффициент теплопередачи (Вт/м ² *К)
A	Площадь (м ²)
$C_{af} = const$	Концентрация подаваемого вещества (моль/м ³)
$T_f = const$	Температура подаваемого вещества (К)

Уравнение баланса для вещества А:

$$V \frac{\partial C_a}{\partial t} = q(C_{af} - C_a) - k_0 e^{-\frac{E}{RT}} V C_a. \quad (1)$$

Энергетический баланс:

$$A = \Delta H k_0 e^{-\frac{E}{RT}} V C_a, \quad (2)$$

$$B = UA(T_C - T), \quad (3)$$

$$\rho C_p V \frac{\partial T}{\partial t} = \rho C_p q(T_f - T) + A + B. \quad (4)$$

Уравнения преобразуются к функциональной модели в среде MATLAB.

Функциональная модель возвращает состояние производных как функция текущего времени t и состояний x . Глобальная переменная u используется для обеспечения входного сигнала изменения температуры охлаждающей «рубашки» [1].

2. Модель CSTR в среде MATLAB.

```
function xdot=cstr1(t,x)
```

```
global u
```

```
% Вход (1):
```

```
Tc = u;
```

```
% Состояние (2):
```

```
Ca = x(1,1);
```

```
T = x(2,1);
```

```
% Параметры:
```

```
q = 100;
```

```
V = 100;
```

```
rho = 1000;
```

```
Cp = .239;
```

```
mdelH = 5e4;
```

```
EoverR = 8750;
```

```
k0 = 7.2e10;
```

```
UA = 5e4;
```

```
Caf = 1;
```

$$T_f = 350;$$

% Вычисление xdot:

$$\dot{x}(1,1) = (q/V \cdot (C_{af} - C_a) - k_0 \cdot \exp(-E_{overR}/T) \cdot C_a);$$

$$\dot{x}(2,1) = (q/V \cdot (T_f - T) + m_{del}H / (\rho \cdot C_p) \cdot k_0 \cdot \exp(-E_{overR}/T) \cdot C_a + UA/V/\rho/C_p \cdot (T_c - T));$$

Уравнения решаются в среде MATLAB с числовым интегратором. Температура охлаждающей «рубашки» изменяется от 300 К до 290 К. В результате охлаждения от охлаждающей «рубашки» реактора снижается температура в реакторе и увеличивается концентрация вещества А. Результаты работы модели отображены на графиках.

global u

% Начальные условия в установившемся режиме для состояний

$$Ca_{ss} = 0.87725294608097;$$

$$T_{ss} = 324.475443431599;$$

$$x_{ss} = [Ca_{ss}; T_{ss}];$$

% Начальные условия в установившемся режиме для управления

$$u_{ss} = 300;$$

% Предел изменения параметра

$$u = 290;$$

% Время (с)

$$t_f = 5;$$

$$[t, x] = \text{ode15s}('cstr1', [0 \ t_f], x_{ss});$$

% Выходные значения

$$Ca = x(:, 1);$$

$$T = x(:, 2);$$

% Построение результатов

figure(1);

plot(t, Ca);

figure(2)

plot(t, T);

Модель имеет два состояния: концентрация вещества А и температура жидкости в реакционном сосуде. Управляющая переменная – температура воды в охлаждающей «рубашке». На температуру в «рубашке» 305 К модель реактора выдает колебательный процесс. Колебания характеризуются разгоном реактора с температурными пиками. Когда концентрация падает до низкого значения, реактор остывает до тех пор, пока концентрация возрастает и не возникнет разгон реактора [2].

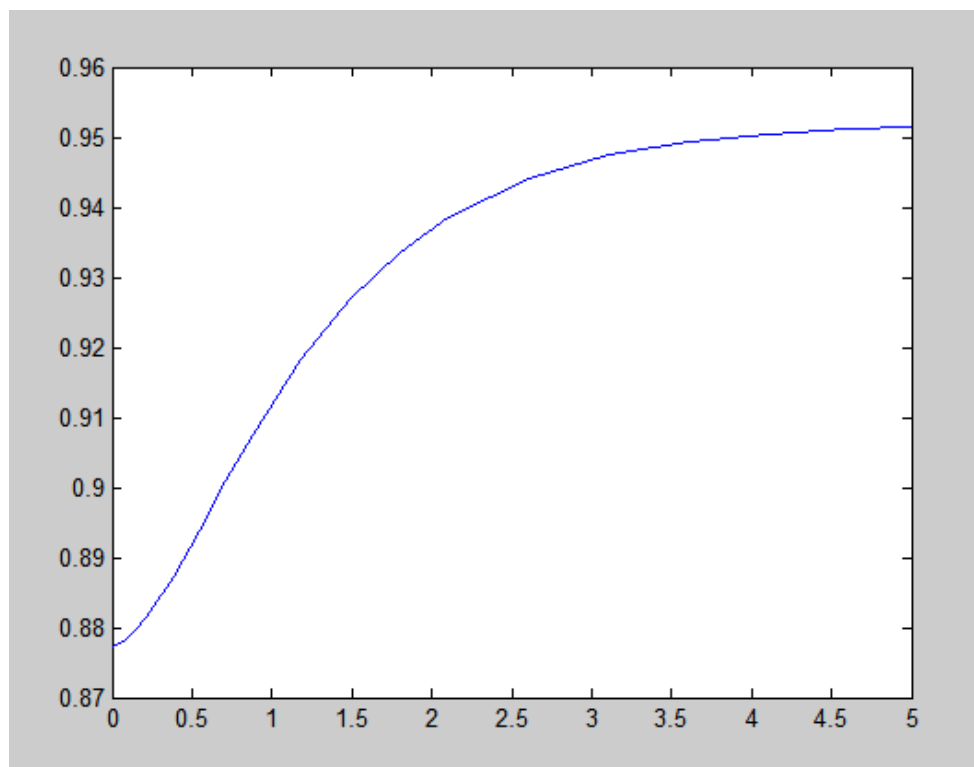


Рис. 2. Концентрация вещества А (C_a)

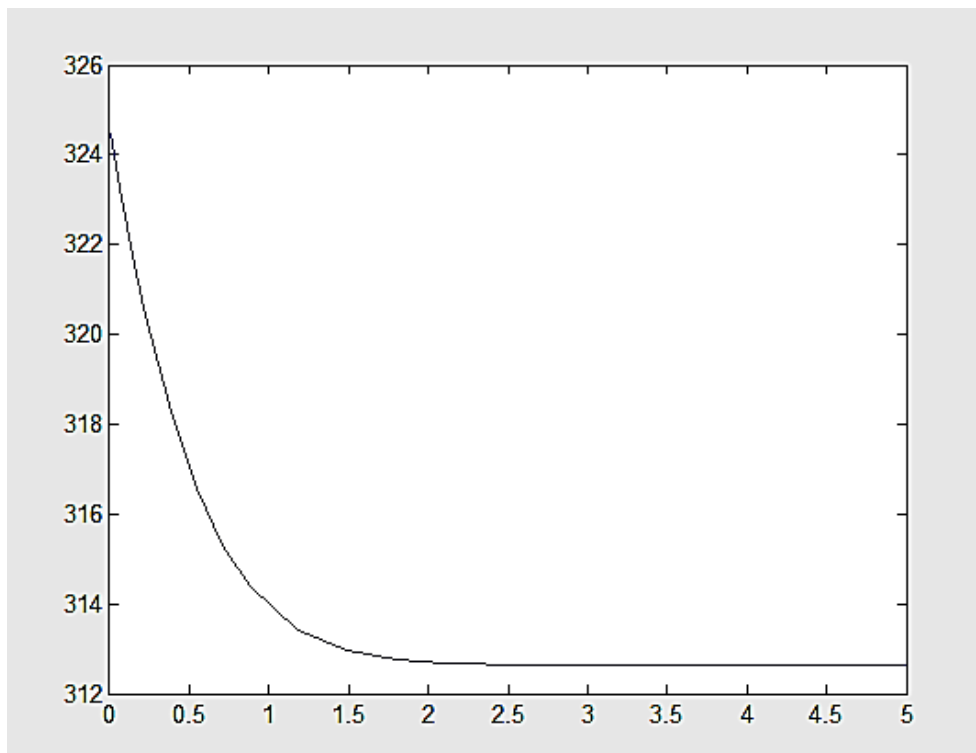


Рис. 3. Поведение температуры в реакторе (T)

3. Построение модели объекта в пакете – приложении Simulink.

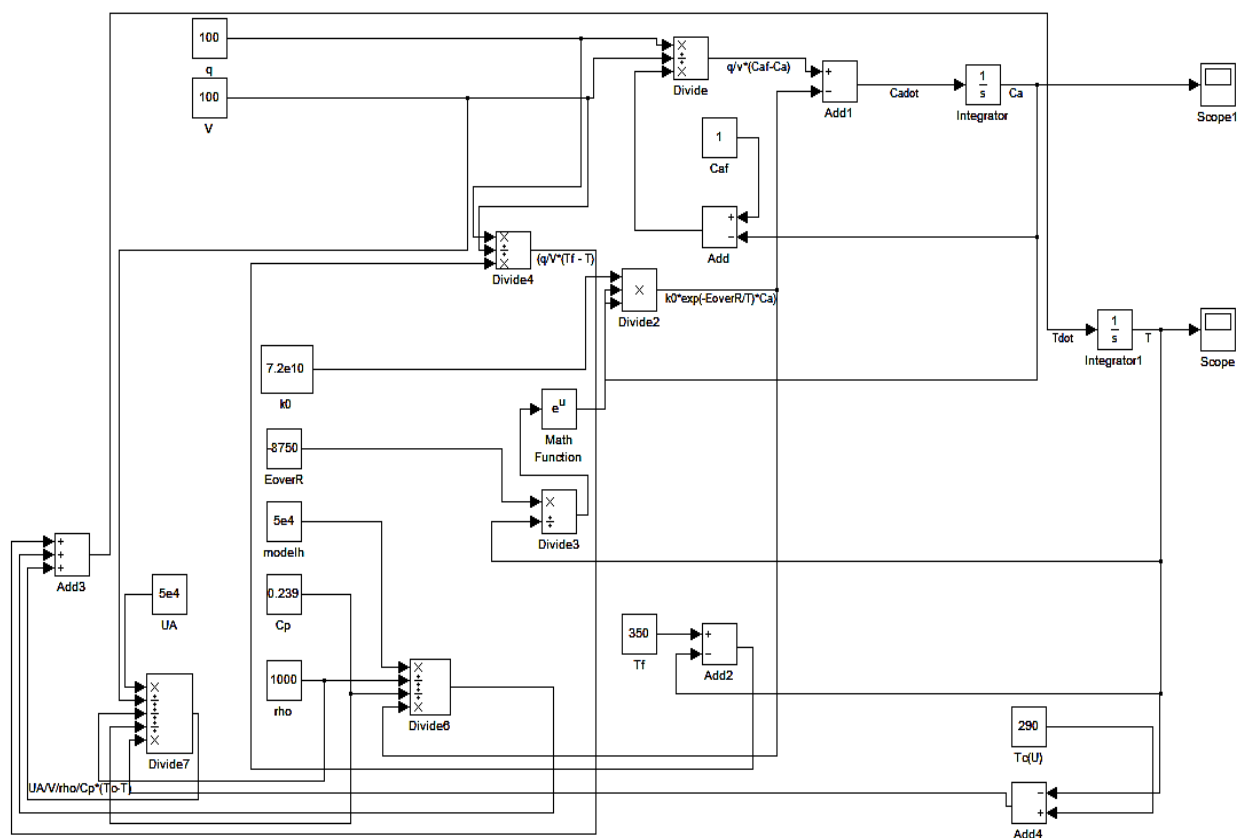


Рис. 4. Реализация модели объекта управления

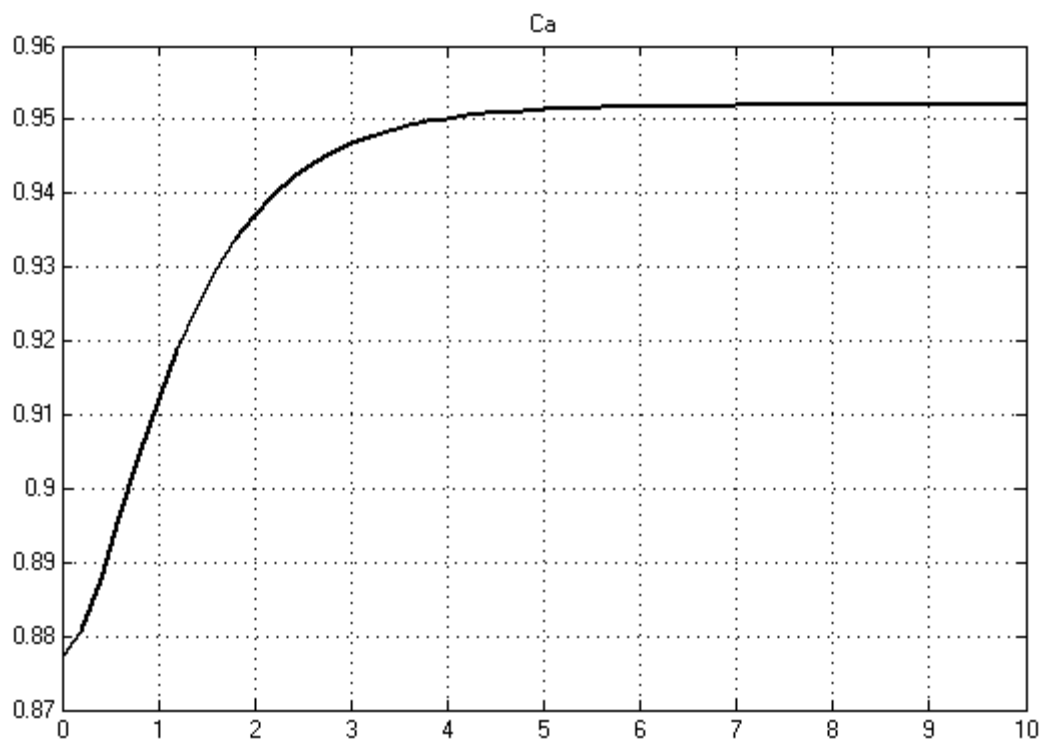


Рис. 5. Концентрация вещества А (C_a)

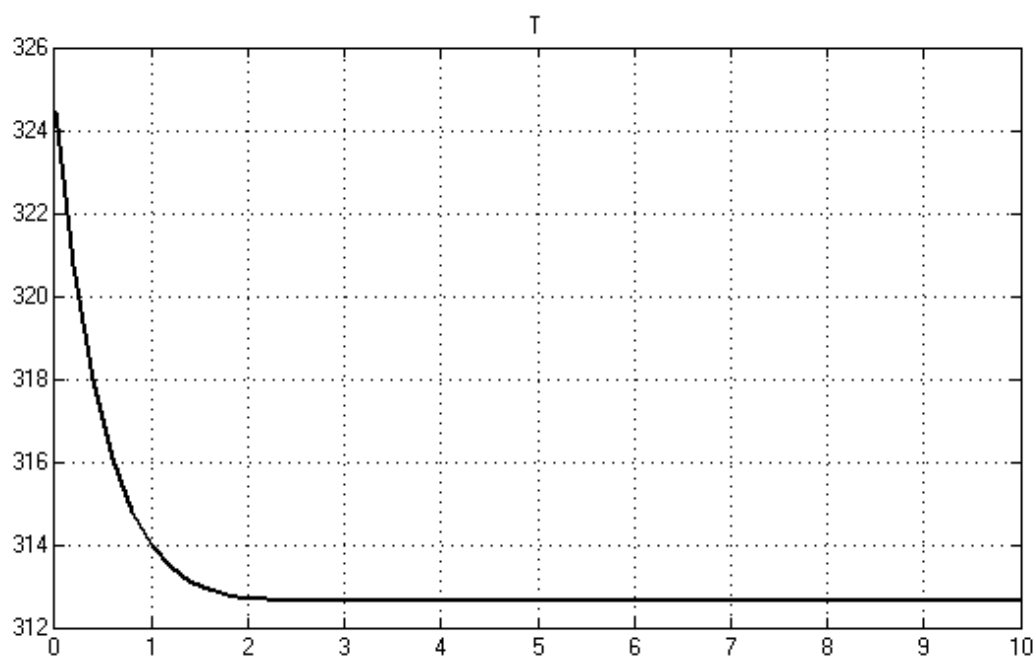


Рис. 6. Поведение температуры в реакторе (T)

При построении модели объекта в MATLAB и Simulink получены одинаковые результаты: оптимальная температура в реакторе $T \approx 312.6$ К, концентрация вещества А при заданных параметрах достигла установившегося значения $C_a \approx 0.953$ моль/м³.

Список литературы

3. Hedengren J.D. Continuous Dynamic First Principles Models / J.D. Hedengren, T.F. Edgar // The University of Texas at Austin.
4. Hedengren, J.D. Nonlinear Model Library / J.D. Hedengren [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://interactive-plus.ru/conf-requirements.php>
5. Экзотермические реакции – Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Экзотермические_реакции