

# Курсовая работа

Оценка ошибок самонаведения ракеты на  
маневрирующую цель.

*Хромов Алексей 715а гр.*

# Постановка задачи.

Работа по оценки ошибок самонаведения ракеты выполняется методом математического моделирования. Язык программирования Python.

```
# standard imports\n",
import os
import random
import numpy as np
import math

import matplotlib.pyplot as plt
%matplotlib inline

default_dpi = plt.rcParamsDefault['figure.dpi']
plt.rcParams['figure.dpi'] = default_dpi*1.6

PI = math.pi
```

Для начала рассмотрим передаточные функции и дифференциальные уравнения, которым они соответствуют. Интегрирующее звено

$$W_{\text{инт}}(s) = \frac{1}{s} \quad \Rightarrow \quad \frac{dU_{\text{out}}(t)}{dt} = U_{\text{инт}}(t) \quad \Rightarrow \quad U_{\text{out}}(t) = \int_0^t U_{\text{инт}}(\tau) d\tau;$$

тогда для

$$W_{\text{инт}}(s) = \frac{1}{s^2} \quad \Rightarrow \quad \frac{d^2 U_{\text{out}}(t)}{dt^2} = U_{\text{инт}}(t) \quad \Rightarrow \quad U_{\text{out}}(t) = \int_0^t \int_0^{\tau_2} U_{\text{инт}}(\tau_1) d\tau_1 d\tau_2.$$

Форсирующее звено:

$$W_{\text{фор}}(s) = \frac{(1+\tau s)}{\tau D} \quad \Rightarrow \quad U_{\text{out}}(t) = \left( U_{\text{инт}}(t) + \tau \frac{dU_{\text{инт}}(t)}{dt} \right) / (\tau D).$$

Контур углового сопровождения:

$$d = \frac{\Delta\omega_0}{\Delta\theta} = \frac{U_{\text{out}}(t)}{U_{\text{инт}}(t)} \quad \Rightarrow \quad U_{\text{out}}(t) = U_{\text{инт}}(t) \cdot d$$

Блок интегратора:

$$U_{\text{out}}(t) = \int_0^t U_{\text{инт}}(\tau) d\tau;$$

```

...
        integrator
...
def integrator(sum_out, sum_in, dt):
    sum_out += sum_in * dt
    return sum_out

```

Блок сигнала на вход САУ - ускорение цели:  $N = 7$

Тогда ускорение цели:  $W_y = 10\dot{N} = 70 \text{ м/сек}^2$

```

def signal_Wy(t, dt):
    N = 7
    sig = 10*N
    return sig

```

Блок угловой скорости:

$$U_{out}(t) = \left( U_{int}(t) + \tau \frac{dU_{int}(t)}{dt} \right) / (\tau D).$$

Формирует сигнал угловой скорости, необходимой для полного разворота в сторону маневра цели.

```

...
        (1 + tau * s)/(tau * D)
...
def operator_tau_D(h, dh_dt, t):
    tau0 = 10 # время до встречи с ракетой
    v0=1500
    D = v0*(tau-t) # дальность между ракетой и целью
    w = (h + (tau-t) * dh_dt)/((tau-t) * D)
    return w

```

Блок дискретизации сигнала:

```

def sampling(signal, t):
    T = 0.1
    if (t*10) % (T*10) == 0:
        signal_samp = signal
    else:
        signal_samp = 0

    return signal_samp, T

```

Блок усиления входного сигнала:

```
def corner_tracking(signal, d):
    w = d*signal
    return w
```

Блок экстраполятор:

```
def extrapolator(signal_samp, signal_buf, t, dt, T):
    if ((t-dt)*10) % (T*10) == 0:
        signal = signal_samp
        signal_buf = signal_samp
    else:
        signal = signal_buf

    return signal, signal_buf
```

Блок обратной связи, включающий шум и дискретизатор

```
def modul_T(phi, alpha, d, t_i):

    delta_alpha = random.normalvariate(0, 0.001)

    delta = phi - alpha + delta_alpha

    delta_sampl, T = sampling(delta, t_i)

    return delta_sampl, T
```

Блок гиростабилизатора:

- экстраполятор
- интегратор

```
def gyrostabilizer(alpha, w_0, w_0_buf, dt, t, T):

    w_0_ext, w_0_buf = extrapolator(w_0, w_0_buf, t, dt, T)
    alpha = integrator(alpha, w_0_ext, dt)

    return alpha, w_0_buf
```

Блок уравнения z- преобразования:

```
def module_Z_F(dw0, lambd_prev, T, T2, n):
    V0 = 1500

    return (n*V0*dw0 + T2/T*lambd_prev) / (1 + T2/T)
```

Блок решения уравнения z- преобразования методом Эйлера:

$$\frac{dw}{dt} = \frac{w_{i+1}-w_i}{T}$$

$$\lambda_{i+1} = \lambda_i + T \cdot Fz(dw/dt, \lambda_i, T, T2, n)$$

```
def module_Z(w0, w0_prev, lambd_prev, T, T2, n):
    dw0 = (w0 - w0_prev)/T
    lambd = lambd_prev + T * module_Z_F(dw0, lambd_prev, T, T2, n)

    return lambd
```

Блок нелинейного преобразования - ограничитель для физической модели ускорителя ракеты.

```
def nonlinear(lambd):
    L=200
    if lambd > L:
        lambd = L

    if lambd < -L:
        lambd = -L

    return lambd
```

Блок бортовой цифровой вычислительной машины:

- блок усилителя
- блок z-преобразования
- блок нелинейного преобразования

```
def board_digital_computer(delta_sampl, t, T, lambd_prev, w0_prev, d, T2, n):

    w0 = corner_tracking(delta_sampl, d)

    lambd = module_Z(w0, w0_prev, lambd_prev, T, T2, n)
    lambd0 = nonlinear(lambd)

    return lambd0, w0, lambd
```

Блок уравнения стабилизации:

$$\frac{\lambda_0 - W_p - 2\xi T_k \dot{W}_p}{T_k^2}$$

```
def stabilization_loop_S_F(lambd0, Wr, dWr):

    ksi = 0.7
    Tk=0.2

    return (lambd0 - Wr - 2*ksi*Tk*dWr)/(Tk**2)
```

Блок решения уравнения стабилизации итерационным методом Рунге Кутты второго порядка.  
Прогноз:

$$\dot{W}r_{i+1} = \dot{W}r_i + dt \cdot Fs(\lambda, W r_i, \dot{W}r_i)$$

$$W r_{i+1} = W r_i + dt * \dot{W}r_{i+1}$$

Коррекция:

$$\widetilde{\dot{W}r}_{i+1} = \dot{W}r_i + dt \cdot \frac{Fs(\lambda, W r_{i+1}, \dot{W}r_{i+1}) + Fs(\lambda, W r_i, \dot{W}r_i)}{2}$$

$$\widetilde{W}r_{i+1} = W r_i + dt * \widetilde{\dot{W}r}_{i+1}$$

```
def stabilization_loop_S(lambd0, Wr, dot_Wr, dt):

    #predict
    dot_Wr_next = dot_Wr + dt * stabilization_loop_S_F(lambd0, Wr, dot_Wr)

    Wr_next = Wr + dt * dot_Wr_next

    #correction
    dot_Wr_next = dot_Wr + dt * (stabilization_loop_S_F(lambd0, Wr, dot_Wr) +
    stabilization_loop_S_F(lambd0, Wr_next, dot_Wr_next))/2

    Wr_next = Wr + dt * dot_Wr_next

    return Wr_next, dot_Wr_next
```

Блок контура стабилизации:

- блок экстраполятора
- блок стабилизации

```
def stabilization_loop(lambd0, lambd0_buf, Wr, dot_Wr, dt, t, T):

    lambd0, lambd0_buf = extrapolator(lambd0, lambd0_buf, t, dt, T)

    Wr_next, dot_Wr_next = stabilization_loop_S(lambd0, Wr, dot_Wr, dt)

    return Wr_next, lambd0_buf, dot_Wr_next
```

```
def schematic_model(t, d, T2, n, t_scale = 1000):
```

```
    data_out0 = []
    data_out1 = []
    data_out2 = []
    data_out3 = []
    data_out4 = []
    data_out5 = []
    data_out6 = []
```

```
    y_target = 0
    speed_target = 0
```

```
    alpha=0
    phi = 0
    lambd_prev=0
    w0=0
    w0_buf=0
    lambd0=0
    lambd0_buf=0
    y_rocket= 0
    speed_rocket= 0
    Wr = 0
    dot_Wr = 0
```

```
    for i in range(t*t_scale):
        t_i = i/t_scale
        dt_i = 1/t_scale
```

```
        Wy = signal_Wy(t_i, dt_i)
```

```
        ...
        integrator
        ...
```

```

speed_target = integrator(speed_target, Wy, dt_i)
y_target = integrator(y_target, speed_target, dt_i)

h = y_target - y_rocket

w = operator_tau_D(h, speed_target - speed_rocket, t_i)

'''
    integrator
'''
phi = integrator(phi, w, dt_i)

delta_sampl, T = modul_T(phi, alpha, d, t_i)

if (t_i*10) % (T*10) == 0:
    lambd0, w0, lambd_prev = board_digital_computer(delta_sampl, t_i, T,
lambd_prev, w0, d, T2, n)

alpha, w0_buf = gyrostabilizer(alpha, w0, w0_buf, dt_i, t_i, T)

Wr, lambd0_buf, dot_Wr = stabilization_loop(lambd0, lambd0_buf, Wr, dot_Wr,
dt_i, t_i, T)
'''
    integrator
'''

speed_rocket = integrator(speed_rocket, Wr, dt_i)
y_rocket = integrator(y_rocket, speed_rocket, dt_i)

data_out0.append(y_target-y_rocket)
data_out1.append(y_target)
data_out2.append(y_rocket)
data_out3.append(speed_target)
data_out4.append(speed_rocket)
data_out5.append(Wy)
data_out6.append(Wr)

return data_out0, data_out1, data_out2, data_out3, data_out4, data_out5, data_out6

```

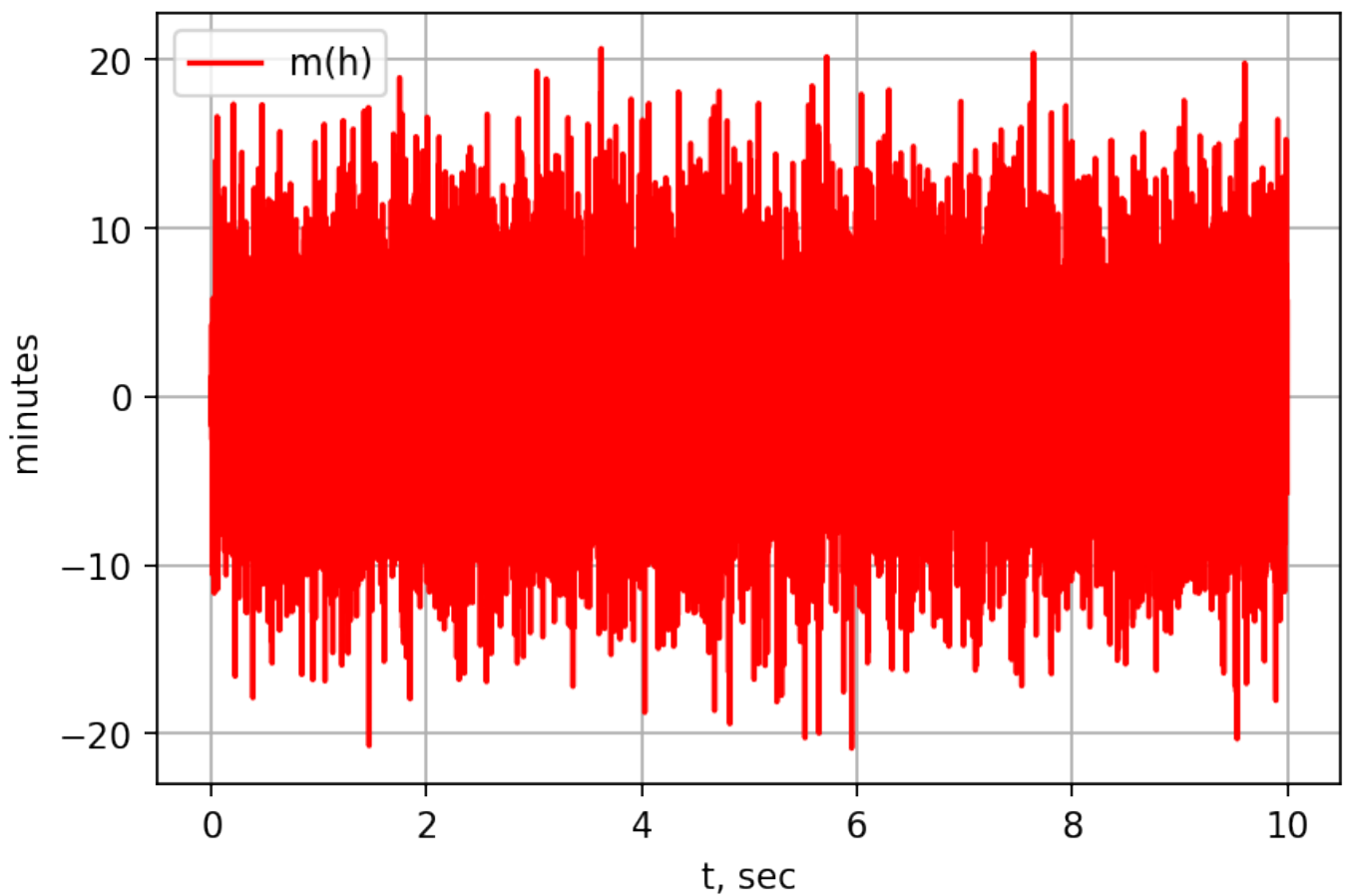


```

data_out = []
for i in range(tau*1000):
    t_i=i/1000
    data_out.append(random.normalvariate(0, 0.1)*60)

plt.ylabel('minutes')
plt.xlabel('t, sec')
plt.plot(data_time, data_out, label = u'm(h)', color = 'r')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()

```



```

tau = 10 #10 sec
t_scale = 1000
d = 5#5
T2 = 0.003#0.0001
n = 5#20
final_load_teat = 100

data_h = np.zeros((final_load_teat, tau*t_scale))
data_y_target = np.zeros((final_load_teat, tau*t_scale))
data_y_rocket = np.zeros((final_load_teat, tau*t_scale))
data_speed_target = np.zeros((final_load_teat, tau*t_scale))

```

```

data_speed_rocket = np.zeros((final_load_teat, tau*t_scale))
data_Wy = np.zeros((final_load_teat, tau*t_scale))
data_Wr = np.zeros((final_load_teat, tau*t_scale))

for i in range(final_load_teat):
    h, y_target, y_rocket, speed_target, speed_rocket, Wy, Wr = schematic_model(tau, d,
T2, n, t_scale)

    data_h[i] = h
    data_y_target[i] = y_target
    data_y_rocket[i] = y_rocket
    data_speed_target[i] = speed_target
    data_speed_rocket[i] = speed_rocket
    data_Wy[i] = Wy
    data_Wr[i] = Wr

#data_h = np.array(data_h)
MEAN_h = np.zeros(tau*t_scale)
MEAN_y_target = np.zeros(tau*t_scale)
MEAN_y_rocket = np.zeros(tau*t_scale)
MEAN_speed_target = np.zeros(tau*t_scale)
MEAN_speed_rocket = np.zeros(tau*t_scale)
MEAN_Wy = np.zeros(tau*t_scale)
MEAN_Wr = np.zeros(tau*t_scale)
DEV_h = np.zeros(tau*t_scale)

for i in range(tau*t_scale):
    MEAN_h[i] = sum(data_h[:,i])/final_load_teat
    MEAN_y_target[i] = sum(data_y_target[:,i])/final_load_teat
    MEAN_y_rocket[i] = sum(data_y_rocket[:,i])/final_load_teat
    MEAN_speed_target[i] = sum(data_speed_target[:,i])/final_load_teat
    MEAN_speed_rocket[i] = sum(data_speed_rocket[:,i])/final_load_teat
    MEAN_Wy[i] = sum(data_Wy[:,i])/final_load_teat
    MEAN_Wr[i] = sum(data_Wr[:,i])/final_load_teat
    DEV_h[i] = np.sqrt(sum((MEAN_h[i] - data_h[:,i])**2)/final_load_teat)

print(MEAN_h[-1])
data_time = tau - np.arange(0, tau, 1/t_scale)

```

0.6991419734860392

Проведём расчет 100 траекторий для оценки качества моделирования, выведем результаты - математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение разницы координат маневра цели и ракеты.

```
plt.ylabel('m')
plt.xlabel('t, sec')
plt.plot(data_time, MEAN_h, label = u'm(h)', color = 'r')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()
```

График математического ожидания  $h$ :

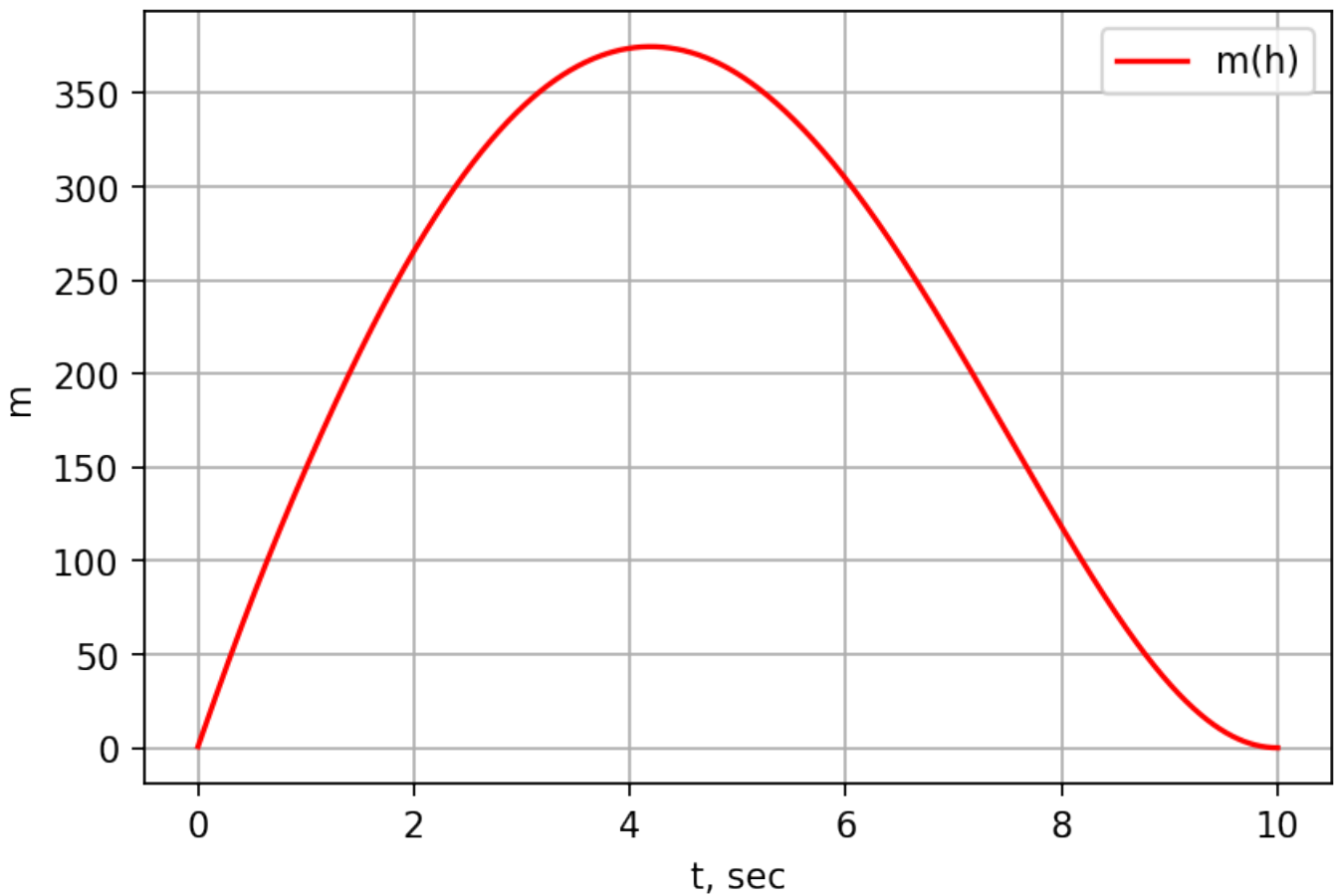


График среднеквадратического отклонения  $h$ :

```
plt.ylabel('m')
plt.xlabel('t, sec')
plt.plot(data_time, DEV_h, label = u'sigma(h)', color = 'b')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()
```

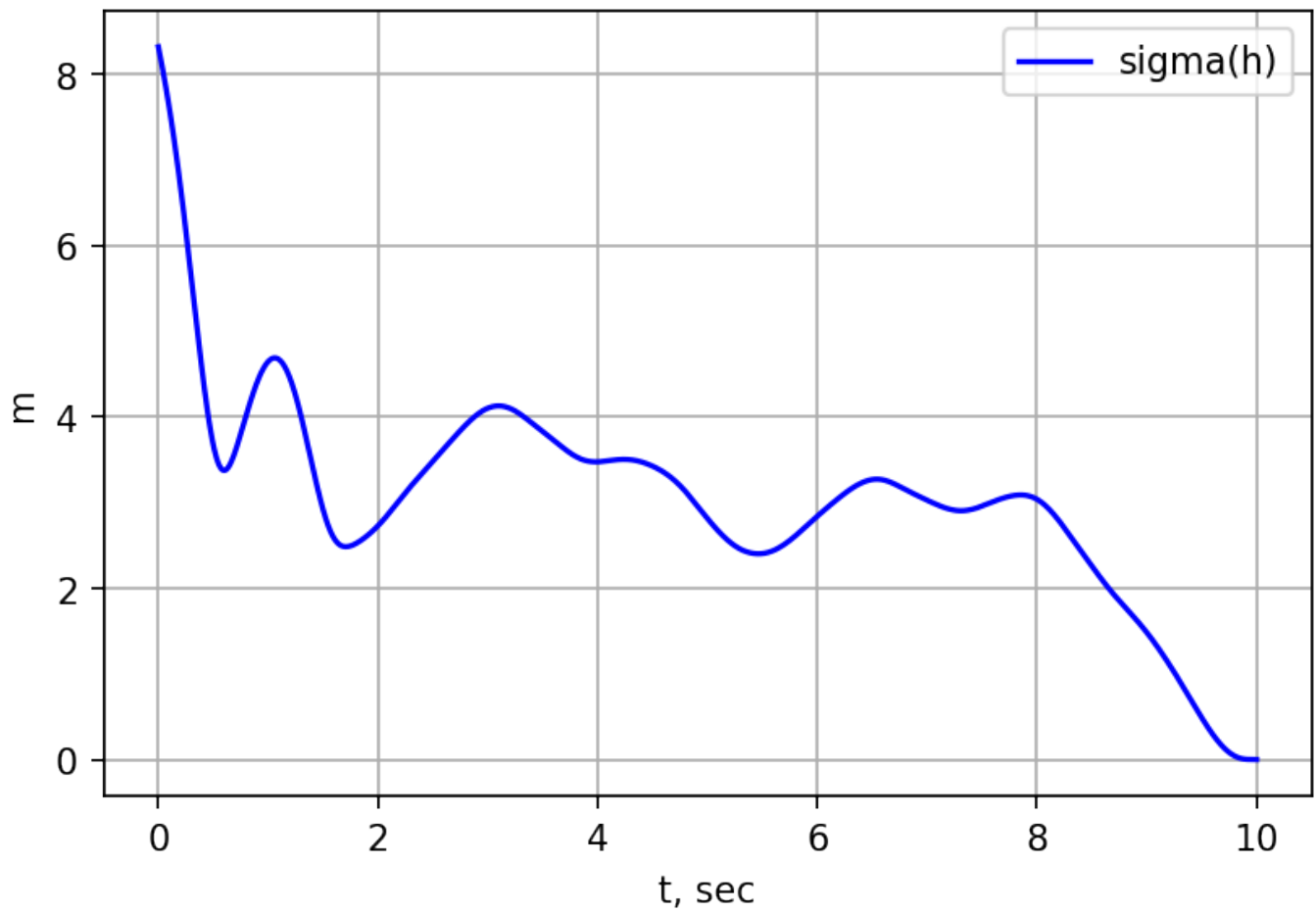


График зависимостей координаты цели и ракеты от времени до встречи:

```
plt.ylabel('m')
plt.xlabel('t, sec')
plt.plot(data_time, MEAN_y_target, label = u'y_target', color = 'r')
plt.plot(data_time, MEAN_y_rocket, label = u'y_rocket', color = 'b')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()
```

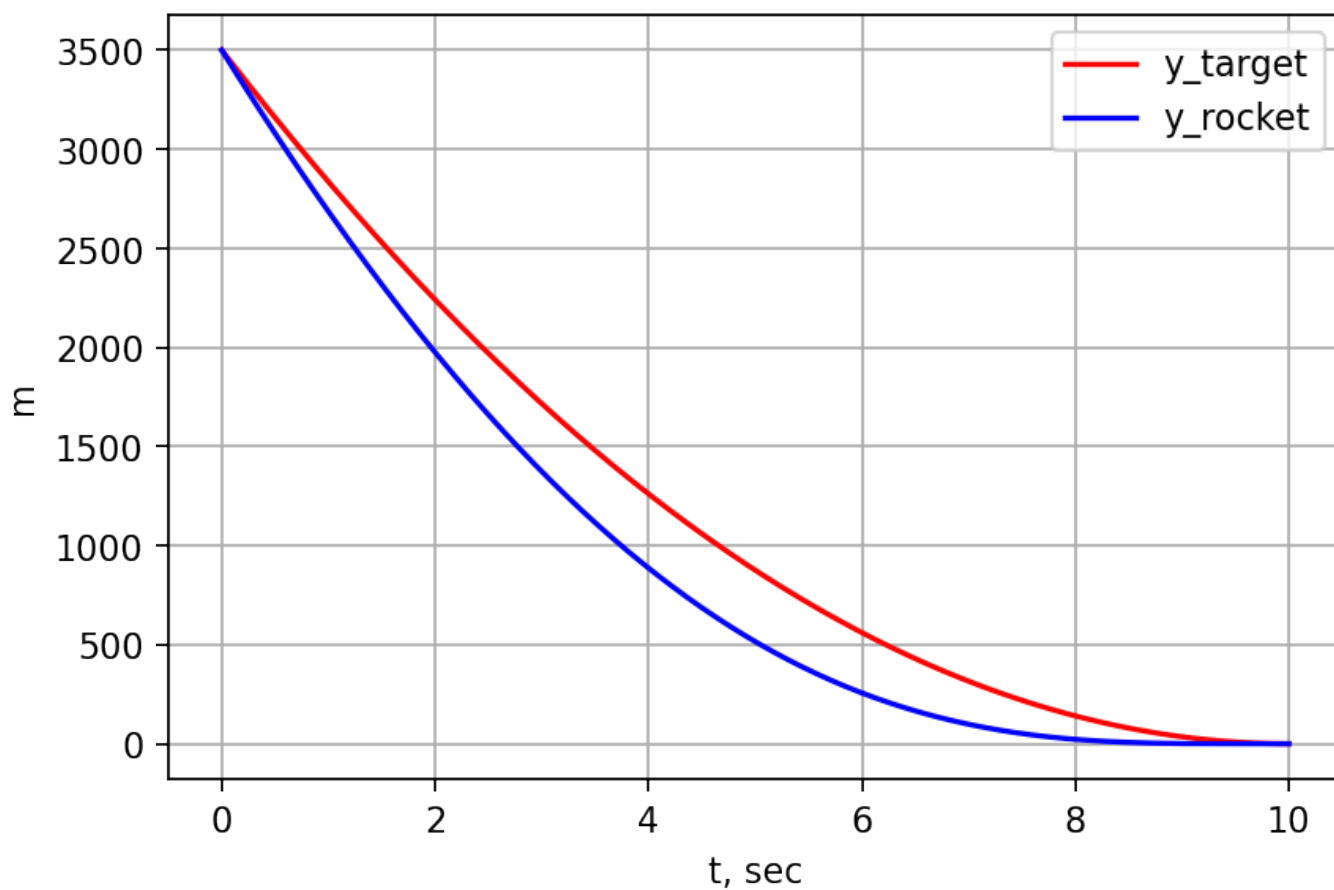


График зависимостей скорости цели и ракеты от времени до встречи:

```
plt.ylabel('m/sec')
plt.xlabel('t, sec')
plt.plot(data_time, MEAN_speed_target, label = u'speed_target', color = 'r')
plt.plot(data_time, MEAN_speed_rocket, label = u'speed_rocket', color = 'b')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()
```

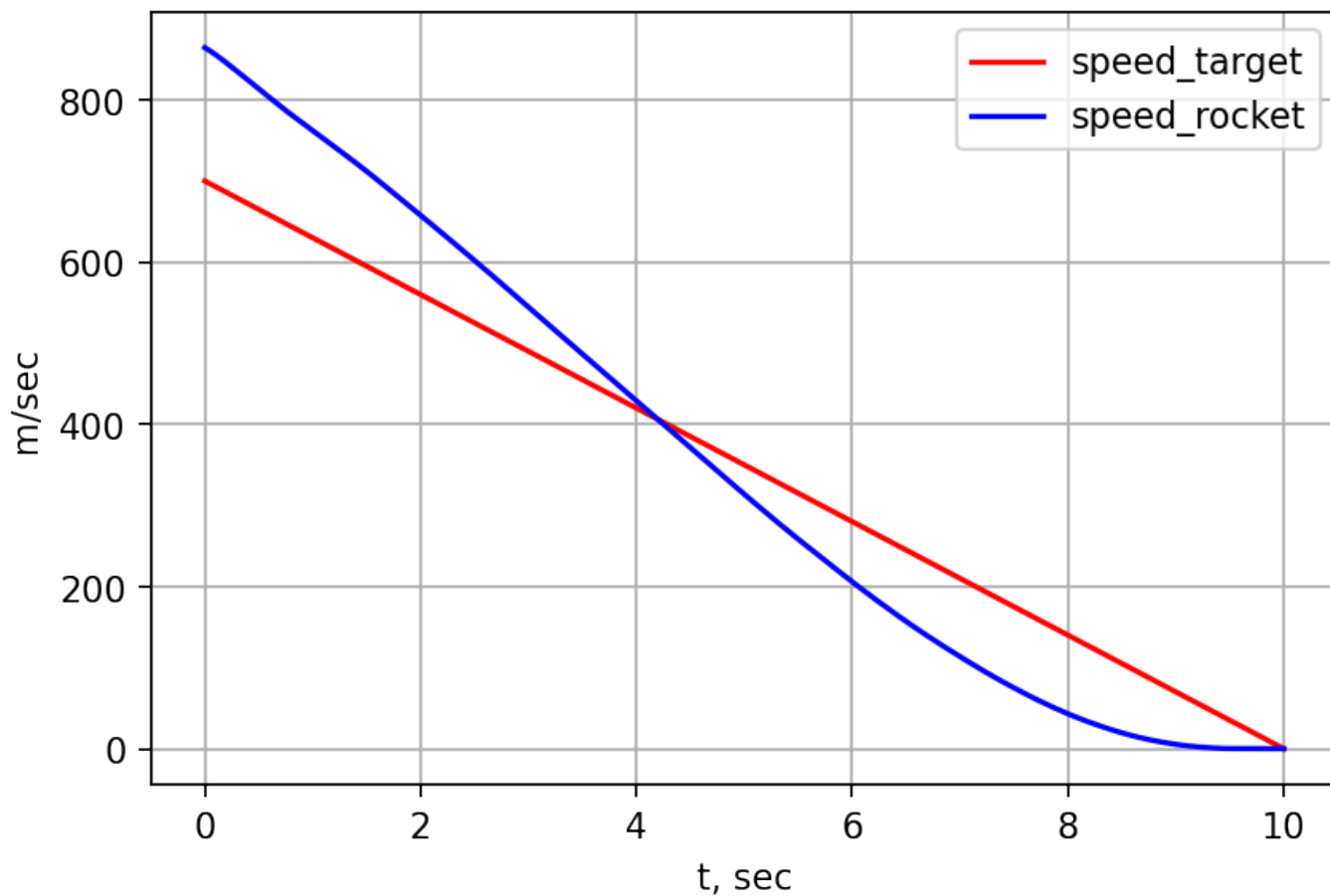
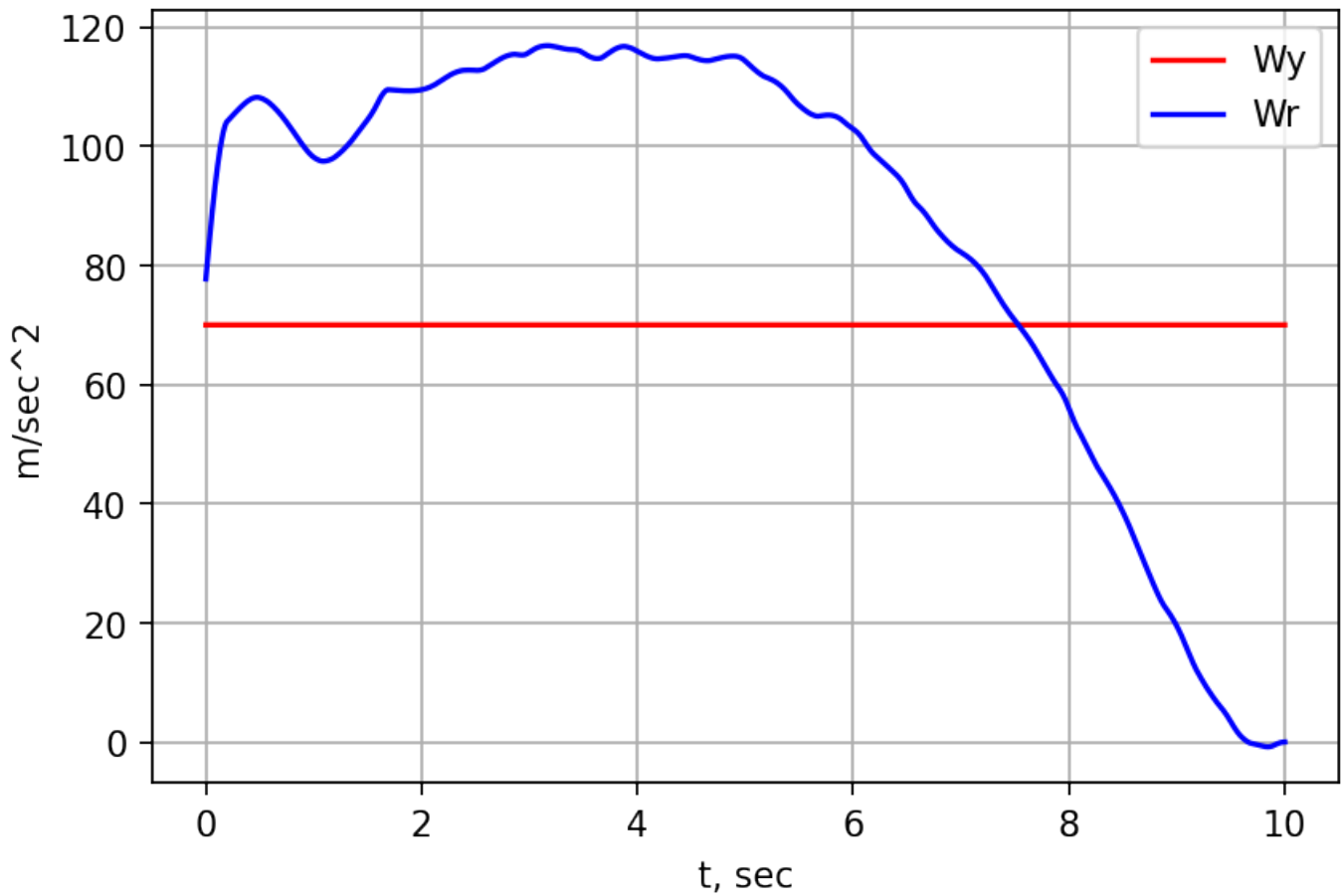


График зависимостей ускорения цели и ракеты от времени до встречи:

```
plt.ylabel('m/sec^2')
plt.xlabel('t, sec')
plt.plot(data_time, MEAN_Wy, label = u'Wy', color = 'r')
plt.plot(data_time, MEAN_Wr, label = u'Wr', color = 'b')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()
```



```

data_coord = []
SS = 0
for t_i in range(tau*t_scale):
    t_i/=t_scale
    Vy=500
    SS=Vy*t_i
    data_coord.append(Vy*t_i)

data_U = MEAN_y_target.copy()

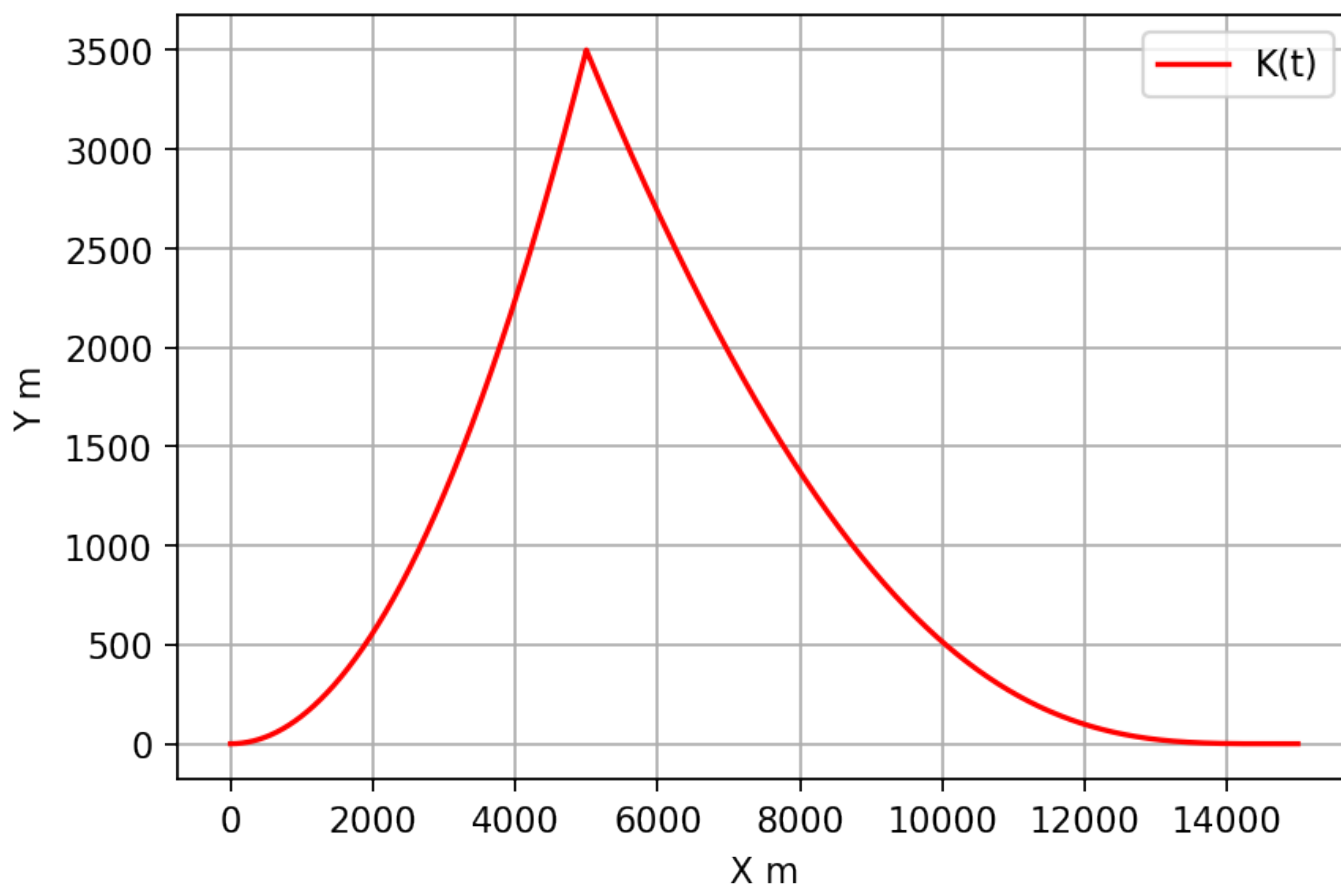
for t_i in range(tau*t_scale):
    data_U = np.append(data_U, MEAN_y_rocket[tau*t_scale - t_i - 1])
    t_i/=t_scale
    Vr=1000
    data_coord.append(SS+Vr*t_i)

plt.ylabel('Y m')
plt.xlabel('X m')
plt.plot(data_coord, data_U, label = u'K(t)', color = 'r')

```

```
plt.legend( )
plt.grid(True)
plt.show( )
```

График зависимостей координат цели и ракеты от расстояния до встречи:



Моделирование показало что наилучшими параметрами для БЦВМ будут:

$$d = 5 \text{ 1/c}$$

$$T_2 = 0.003 \text{ c}$$

$$n = 5$$

### Вывод:

- Разработана математическая модель оценки ошибки самонаведения ракеты на маневрирующую цель:
  - Математическое ожидание расхождения ракеты и цели в момент встречи для 100 траекторий составило 1 метр
  - Среднеквадратичное отклонение расхождения ракеты и цели в момент встречи для 100 траекторий составило 8 метров.
- Получены оптимальные настраиваемые параметры БЦВМ:
  - Постоянная времени корректирующего звена  $T_2 = 0.003 \text{ c}$
  - Добротность углового контура  $d = 5 \text{ 1/c}$
  - Навигационная постоянная  $n = 5$