

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО»**

Отчёт по курсовому проекту  
«Разработка робастной системы удержания положения для квадрокоптера с  
неизмеряемыми углами крена и тангажа»  
по дисциплине «Моделирование и управление робототехническими системами»

Выполнил:  
студент гр. R41341с  
Борисов М. В.

Преподаватель:  
Каканов М. А.

Санкт-Петербург  
2021 г.

# Теория

Квадрокоптер имеет 6 координат для управления — линейные координаты  $x, y, z$  и угловые  $\theta, \psi, \varphi$ . Угол рыскания ( $\varphi$ ) может быть застabilизирован независимо и допуская что эта задача выполнена модель управления квадрокоптером принимает вид

$$\begin{aligned}\ddot{x} &= (g + u_0) \sin \theta \cos \psi \\ \ddot{y} &= -(g + u_0) \sin \psi \\ \ddot{z} &= (g + u_0) \cos \theta \cos \psi - g \\ \ddot{\theta} &= u_1 \\ \ddot{\varphi} &= u_2\end{aligned}\tag{1}$$

Для стабилизации высоты  $u_0$  выбирается следующим

$$u_0 = \text{sat}_{\alpha g}(-r_0 \dot{z} - r_1 \ddot{z})\tag{2}$$

при  $\alpha < 1$ . Выбрав подходящие  $r_0, r_1$  система управления по  $z$  будет устойчива если выполняется условие  $|\cos \theta \cos \psi| \geq \frac{1}{1 + \alpha}$ .

Поскольку углы крена и тангажа недоступны измерению необходимо реализовать усовершенствованный расширенный наблюдатель (УРН). Тогда управляющие сигналы задаются следующим образом

$$u = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{sat}_N(\hat{u}_1) \\ \text{sat}_N(\hat{u}_2) \end{pmatrix},\tag{3}$$

при

$$\begin{pmatrix} \hat{u}_1 \\ \hat{u}_2 \end{pmatrix} = \bar{B}^{-1} \begin{pmatrix} K \hat{\xi}_1 - \sigma_1 \\ K \hat{\xi}_2 - \sigma_2 \end{pmatrix},\tag{4}$$

где  $N$  — настроечный параметр,  $\bar{B}$  — некоторая приближённая несингулярная матрица,  $\xi, \sigma$  — состояние УРН (вывод в методическом пособии).

Данные уравнения позволяют построить модель управления квадрокоптером.

## Задание

Выполнить моделирование системы удержания положения квадрокоптера, динамика которого описывается моделью (1) с использованием системы управления на базе усовершенствованного расширенного наблюдателя.

Использовать следующие величины:

$$r_0 = 5, r_1 = 10, \alpha = 0.9$$

для стабилизации координаты  $z$ ,

$$K = (-100 \ -100 \ -100 \ -10)$$

$$a_0 = 0.01, \ a_1 = 1, \ a_2 = 1000, \ a_3 = 1000, \ a_4 = 10$$

$$\bar{B} = \begin{pmatrix} g & 0 \\ 0 & -g \end{pmatrix}, \ N = 100, \ \kappa = 5$$

для стабилизации координат  $x, y$ .

Отразить графики переходных процессов ошибок регулирования, выходных переменных, углов крена и тангажа, а также сигнала  $|\cos \theta \cos \psi|$ .

## Построение модели

В пакете MATLAB была составлена модель, представленная на рисунке 1. Модель состоит из трёх основных блоков — модели квадрокоптера (рисунок 2), регулятора по высоте (рисунок 6) и регулятора с УРН (рисунок 7).

В приложении А приведён скрипт инициализации параметров модели.

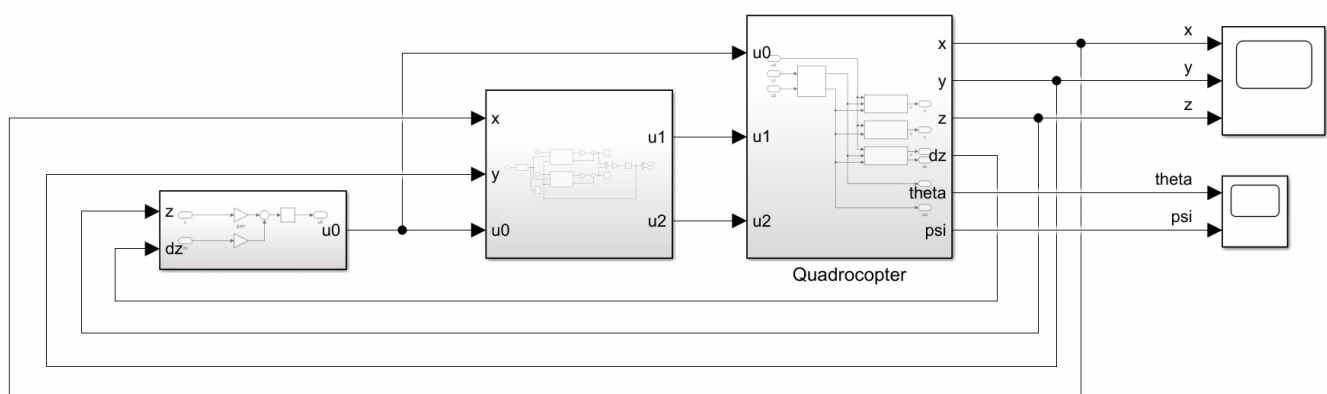


Рис. 1: Модель управления квадрокоптером

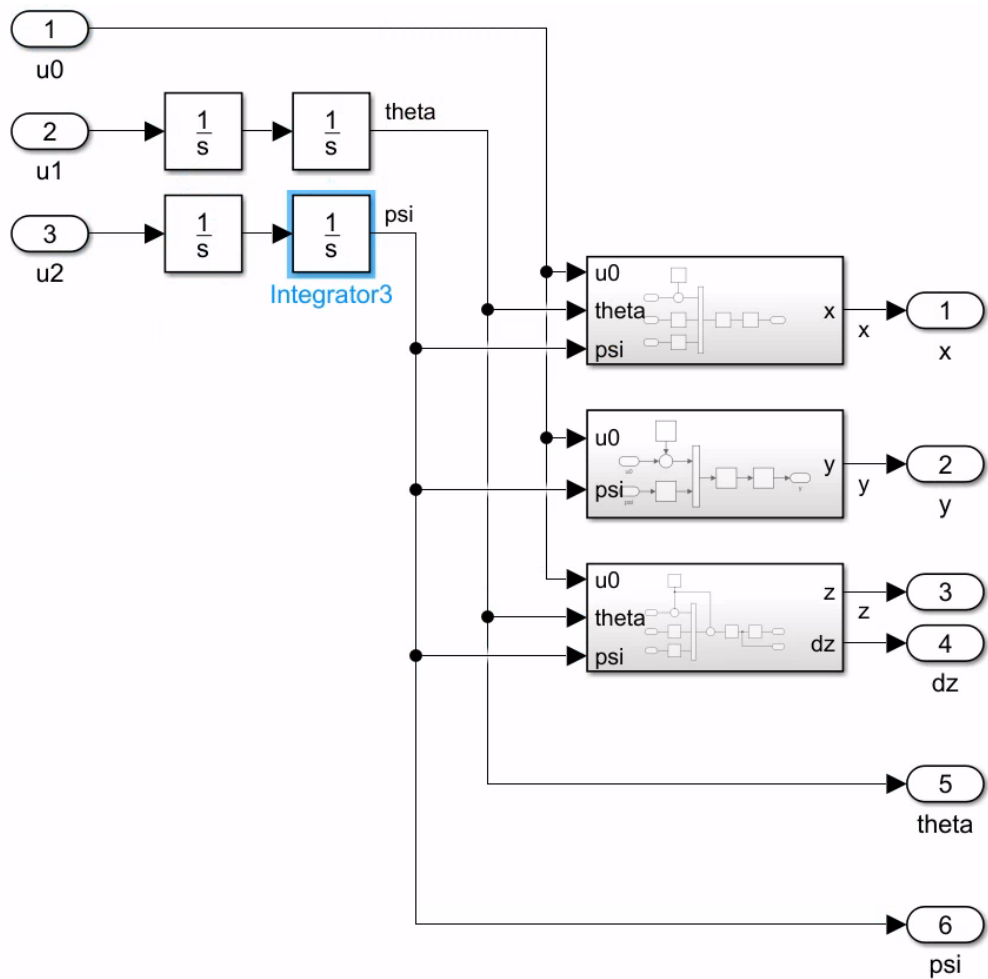


Рис. 2: Блок модели квадрокоптера

На рисунках 3-5 представлены блоки определения координат квадрокоптера согласно (1).

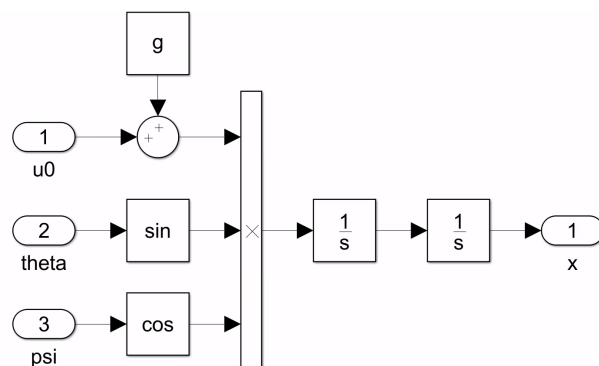


Рис. 3: Блок определения координаты  $x$

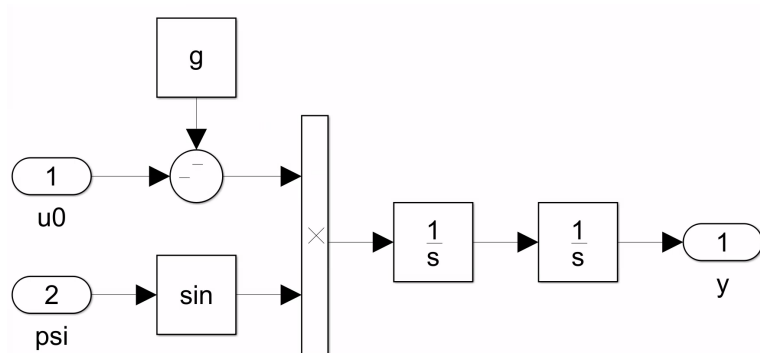


Рис. 4: Блок определения координаты  $y$

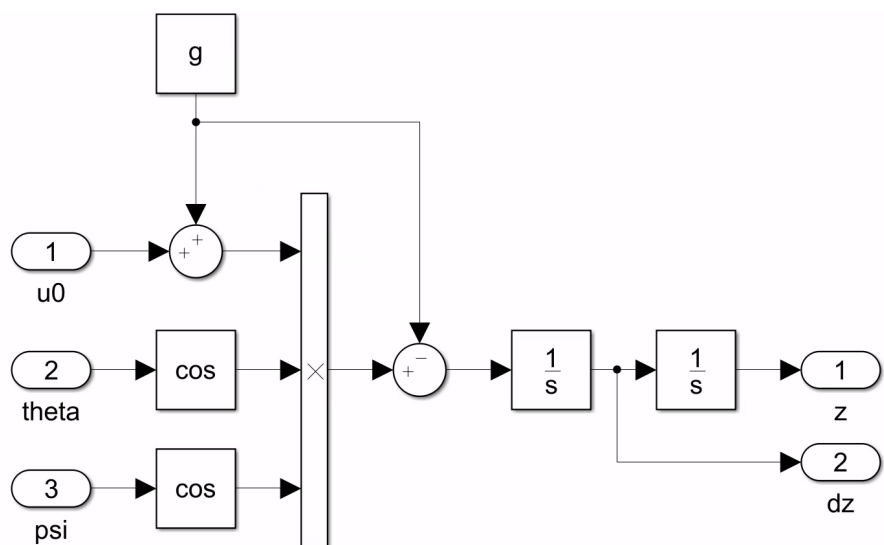


Рис. 5: Блок определения координаты  $z$

Регулятор по высоте выполненный по уравнению (2)

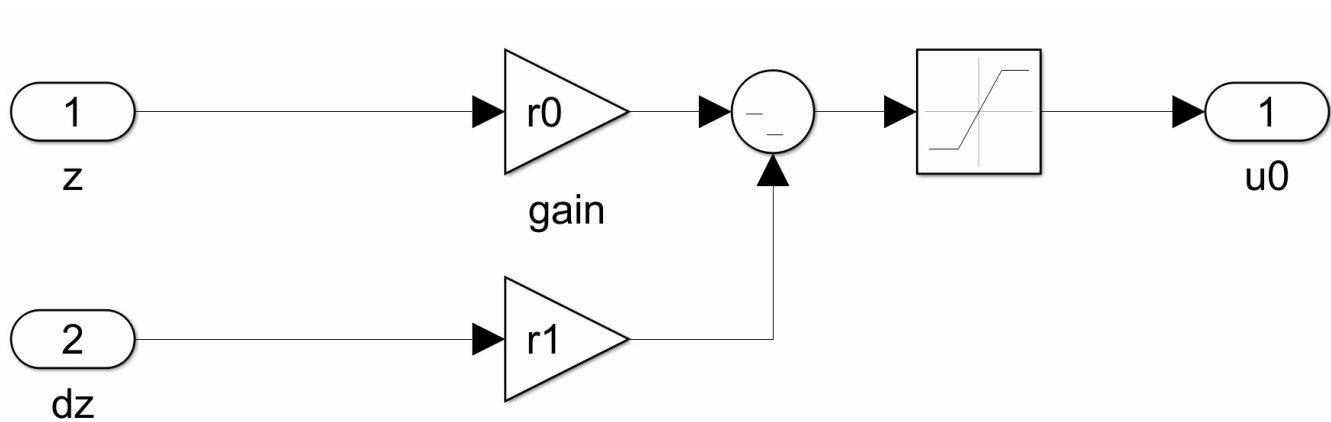


Рис. 6: Блок регулятора по высоте

## Регулятор выполненный по системе (4)

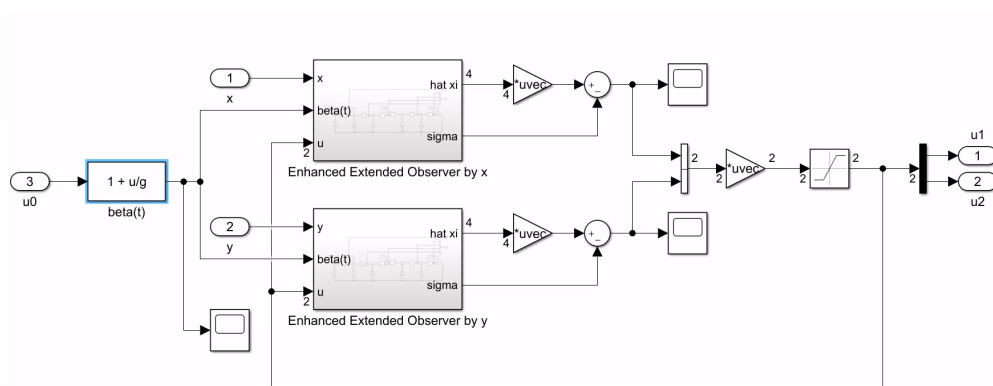


Рис. 7: Блок регулятора с УРН

Поскольку углы крена и тангажа неизмеримы, необходимо использовать УРН для каждого. Общее строение обоих блоков одинаково, поэтому приведём один (рисунок 8). Данный блок позволяет найти оценку ускорения каждого угла, которую в свою очередь можно использовать для определения самого угла.

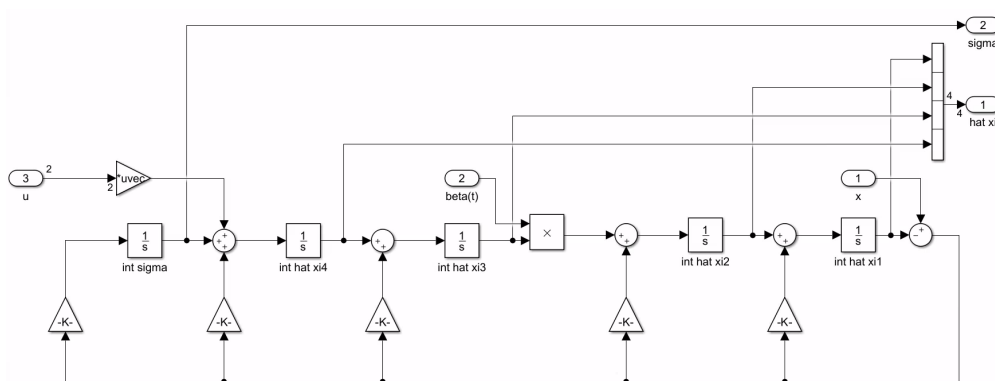


Рис. 8: Блок УРН

# Результаты моделирования

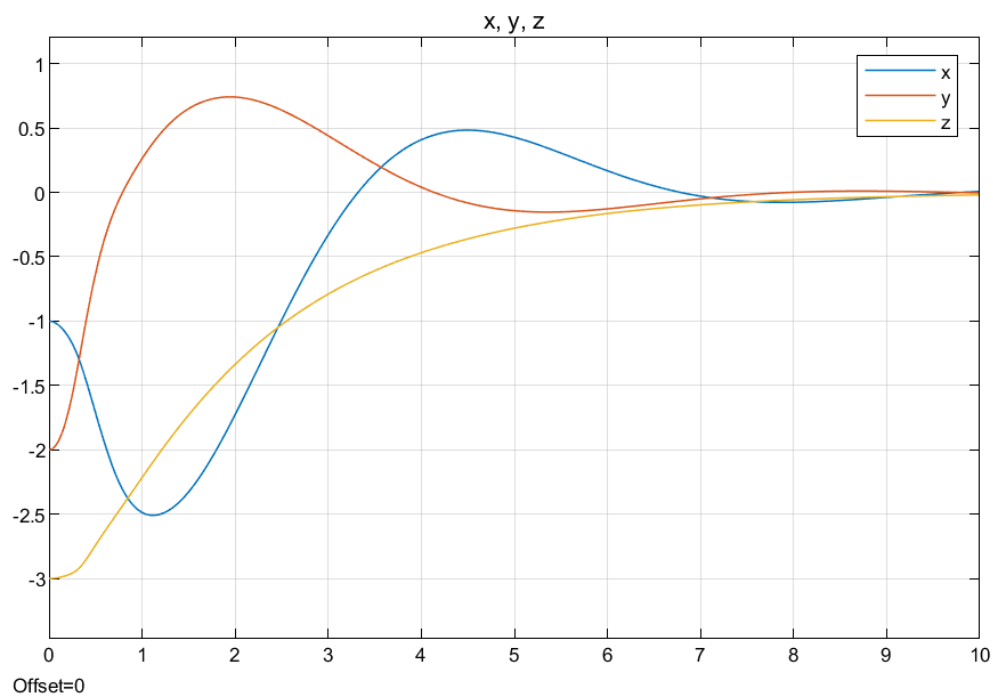


Рис. 9: Координаты квадрокоптера

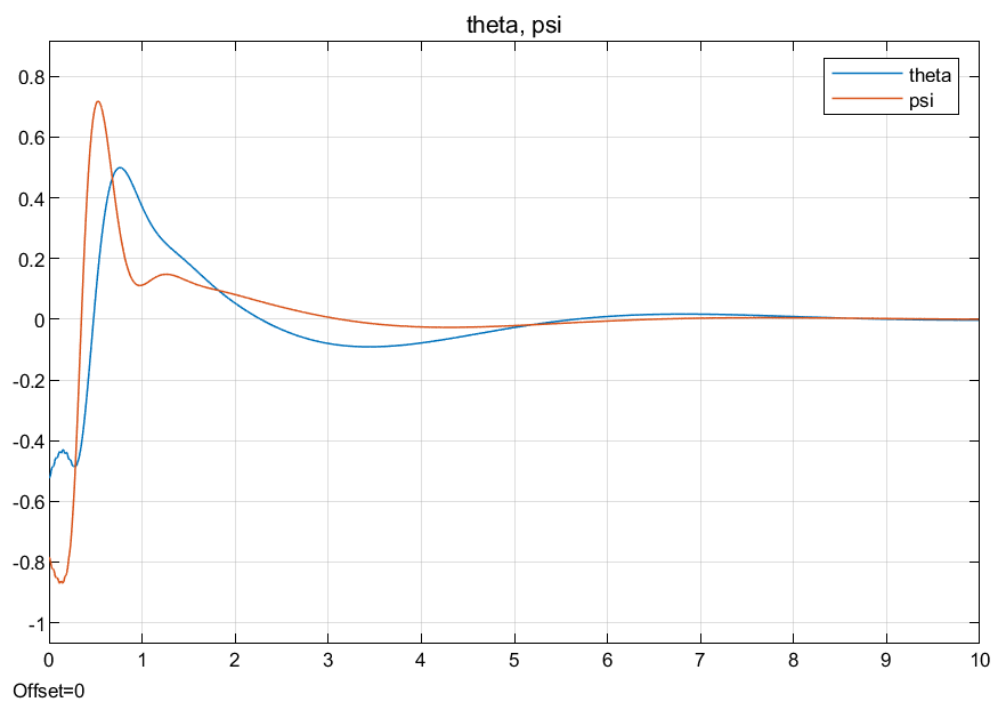
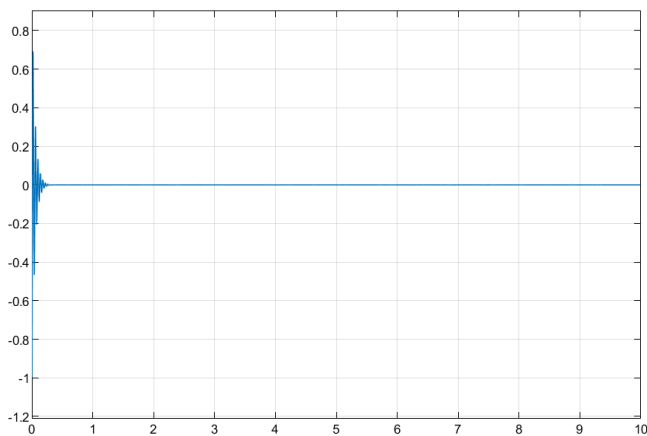
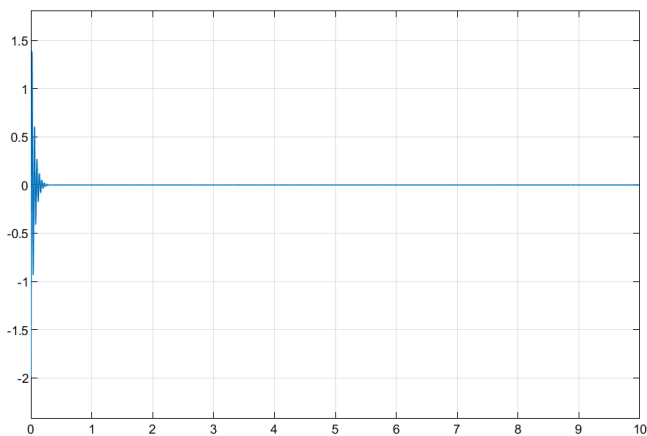


Рис. 10: Углы квадрокоптера



(a) Ошибка по  $x$



(b) Ошибка по  $y$

Рис. 11: Ошибки регулирования

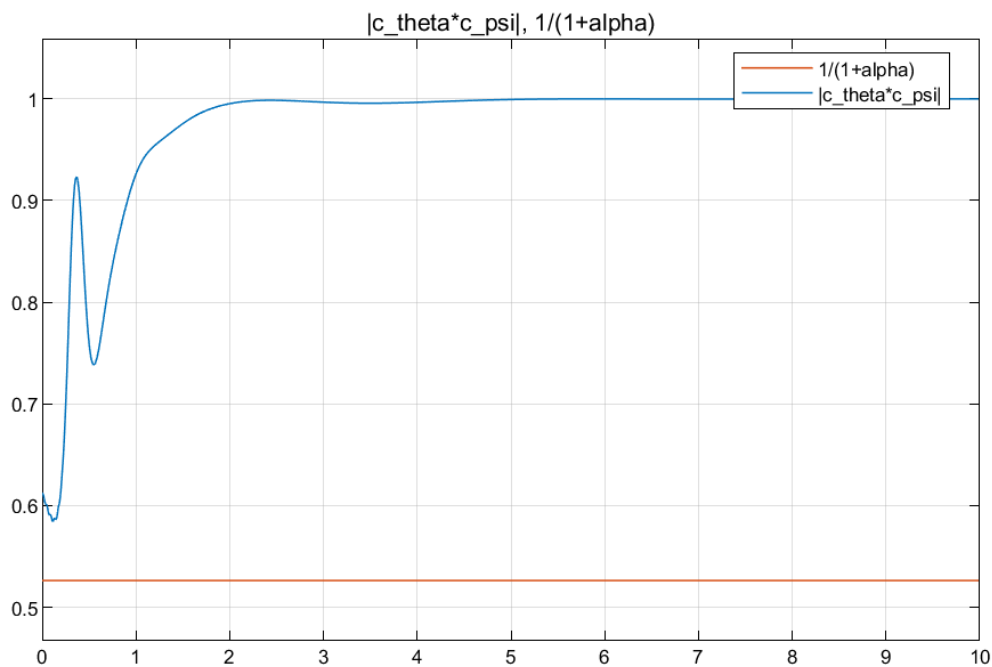


Рис. 12: Сравнение  $|\cos \theta \cos \psi|$  и  $\frac{1}{1 + \alpha}$

## Вывод

В работе реализована модель удержания положения квадрокоптера на базе усовершенствованного расширенного наблюдателя. Результаты моделирования показывают, что координаты, углы и ошибки сходятся к нулю, что и было целью



управления. Также по графикам видно, что выполняются поставленные ограничения  $|\cos \theta \cos \psi| \geq \frac{1}{1+\alpha}$ ,  $|\theta| < \frac{\pi}{2}$  и  $|\psi| < \frac{\pi}{2}$ .

## А. Скрипт инициализации модели

```
1 g = 9.81;
2
3 r0 = 5;
4 r1 = 10;
5 alpha = 0.9;
6
7 K = [-100 -100 -100 -10];
8
9 a0 = 0.01 ;
10 a1 = 1 ;
11 a2 = 1000 ;
12 a3 = 1000 ;
13 a4 = 10;
14 bar_B = [
15     g 0;
16     0 -g
17 ];
18 N = 100;
19 kappa = 5;
20
21 %% Initial conditions
22 set = 4;
23 switch set
24     case 1
25         % first set
26         x0 = 1;
27         y0 = 1;
28         z0 = 1;
29
30         theta0 = pi/6;
31         psi0 = pi/6;
32
33     case 2
34         % second set
35         x0 = 1;
36         y0 = 2;
37         z0 = 3;
38
39         theta0 = pi/6;
40         psi0 = pi/4;
41
```

```
42     case 3
43     % third set
44     x0 = -1;
45     y0 = -1;
46     z0 = -1;
47
48     theta0 = -pi/6;
49     psi0 = -pi/6;
50
51     case 4
52     % fourth set
53     x0 = -1;
54     y0 = -2;
55     z0 = -3;
56
57     theta0 = -pi/6;
58     psi0 = -pi/4;
59
60     otherwise
61     % default set
62     x0 = 0;
63     y0 = 0;
64     z0 = 0;
65
66     theta0 = 0;
67     psi0 = 0;
68
69 end
```