

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет ИТМО»

Лабораторная работа №4

по дисциплине  
«Имитационное моделирование робототехнических систем»  
Вариант с TENDON

Студент:

Группа R4135c

*Лущенко А.С.*

Преподаватель:

*Ракшин Е.А.*

Санкт-Петербург 2025

# Содержание

<b>Постановка задачи</b>	<b>2</b>
<b>Ход работы</b>	<b>4</b>
1.1   Добавление сенсоров и регулятора . . . . .	4
<b>Вывод</b>	<b>13</b>

# Постановка задачи

В данной лабораторной работе требуется создать модель плоскостного механизма 2R с сухожильным (tendon) соединением для MuJoCo. Добавление датчиков, двигателей и ПД-регулятора

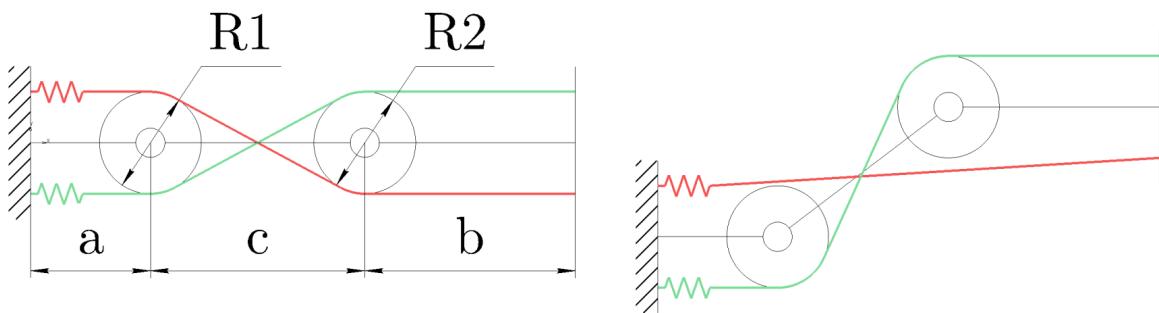


Рис. 1.1: Плоскостной механизм 2R с сухожильным (tendon) соединением.

Для работы будут использоваться следующие параметры:

- радиус первого цилиндра  $R_1 = 0.038$ , м;
- радиус второго цилиндра  $R_2 = 0.014$ , м;
- расстояние между неподвижным блоком и первым цилиндром  $a = 0.034$ , м;
- расстояние между первым и вторым цилиндрами  $b = 0.071$ , м;
- расстояние между вторым цилиндром и подвижным блоком  $c = 0.094$ , м.

Параметры синусоидального сигнала, за которым производится слежение:

- $q_1$

- $AMP = 33.08$ ;
  - $FREQ = 42.67$ , Hz;
  - $BIAS = 9.8$ ;
- 
- $q_2$ 
    - $AMP = 34.13$ ;
    - $FREQ = 3.66$ , Hz;
    - $BIAS = -41.4$ ;

# Ход работы

## 1.1 Добавление сенсоров и регулятора

Модель будет использоваться из 3 работы, но с добавлением сенсоров.

XML-модель для MuJoCo с сенсорами:

```
1 <?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?>
2 <mujoco>
3   <option timestep="1e-4"/>
4   <option integrator="RK4"/>
5   <option gravity="0 0 -9.8"/>
6   <asset>
7     <texture type="skybox" builtin="gradient" rgb1="0.85
0.9 1" rgb2="0.65 0.7 0.8" width="265" height="
256"/>
8     <texture name="grid" type="2d" builtin="checker" rgb1
="0.1 0.1 0.1" rgb2="0.6 0.6 0.6" width="300"
height="300"/>
9     <material name="grid" texture="grid" texrepeat="10 10
" reflectance="0.2"/>
10    </asset>
11    <worldbody>
12      <light pos="0 0 10"/>
13      <geom type="plane" size="0.5 0.5 0.1" material="grid"
pos = "0 0 -0.2"/>
14      <camera name="side view" pos="0.1 -1.5 1.0" euler="0
90 0" fovy="60"/>
15      <camera name="upper view" pos="0 0 1.5" euler="0 0 0"
/>
16      <body name="Init" pos="0 0 0" euler="0 90 0">
17        <geom type="box" size=" 0.05 0.01 0.002" rgba="0
0 0 1"/>
18        <site name="Tendon_1_pos" pos="0.019 0 0" type="
```

```

    sphere" size="0.001"/>
  <site name="Tendon_2_pos" pos="-0.019 0 0" type="sphere" size="0.001"/>
</body>
<body name="carriage_vertical" pos="0.207 0 0">
  <site name="carriage_weld" pos="0 0 0" type="sphere" size="0.001"/>
  <joint name="cv_x" type="slide" axis="1 0 0"/>
  <joint name="cv_y" type="slide" axis="0 0 1"/>
  <geom type="box" size="0.0002 0.0002 0.0002 "
        mass="0.000001" contype="0"/>
</body>
<body name = "Link1" pos = '0 0 0' euler = '0 0 0'>
  <geom type = "cylinder" pos = "0.041 0 0" euler =
        "0 90 0" mass = "0.001" size="0.001 0.041"
        rgba="0 0 0 1"/>
  <body name = "Link2" pos = '0.082 0 0' euler = '0
        0 0'>
    <joint name="A" type="hinge" axis="0 1 0"
          stiffness="0" springref="0" damping="0"/>
    <geom type="cylinder" mass = "0.001" pos="
        0.032 0 0" size="0.001 0.032" euler="0 90
        0" rgba="0 0 0 1"/>
    <geom name="Block_1" type="cylinder" size="
        0.019 0.01" pos="0 0 0" euler="90 0 0"
        rgba="1 0.5 0 1" mass = "0.001" />
    <site name="Tendon_2_b1" pos="0 0 -0.019015"
          type="sphere" size="0.001"/>
    <site name="Tendon_1_b1" pos="0 0 0.019015"
          type="sphere" size="0.001"/>
    <site name="SB1" pos="0 0 0" type="sphere"
          size="0.001"/>
  <body name = "Link3" pos = '0.064 0 0' euler
        = '0 0 0'>
    <joint name="B" type="hinge" axis="0 1 0"
          stiffness="0" springref="0" damping="0"
          />
    <geom type="cylinder" pos="0.0305 0 0"
          size="0.001 0.0305" euler="0 90 0"
          rgba="0 0 0 1" mass = "0.0001" />
    <geom name="Block_2" type="cylinder" size
          ="0.015 0.01" pos="0 0 0" euler = "90

```

```

          0 0" mass = "0.001" rgba="1 0.5 0 1"/
        >
40      <site name="Tendon_1_b2" pos="0 0
          0.01500001" type="sphere" size="0.001"
        />
41      <site name="Tendon_2_b2" pos="0 0
          -0.01500001" type="sphere" size="0.001
        />
42      <site name="SB2" pos="0 0 0" type="sphere
          " size="0.001"/>
43      <site name="carriage" pos="0.061 0 0"
          type="sphere" size="0.001"/>
44      <body name = "Carriage" pos = '0.061 0 0'
          euler = '0 0 0'>
45        <geom type="box" size="0.002 0.002
          0.015" pos="0 0 0" rgba="0.9 0.9
          0.9 0.5" mass = "0.000001"/>
46        <site name="Tendon_1_end" pos="0 0
          0.015" type="sphere" size="0.001"/
        >
47        <site name="Tendon_2_end" pos="0 0
          -0.015" type="sphere" size="0.001"
        />
48      </body>
49    </body>
50  </body>
51</worldbody>
52<spatial name = "Tendon_1" width = "0.001" stiffness = "
53  100" damping = "2" springlength = "0.0005" rgba="1 0 0
      1">
54    <site site = "Tendon_2_pos"/>
55    <geom geom="Block_1" sidesite="Tendon_1_b1"/>
56    <site site = "FP1"/>
57    <geom geom="Block_2" sidesite="Tendon_2_b2"/>
58    <site site="Tendon_2_end"/>
59</spatial>
60<spatial name = "Tendon_2" width = "0.001" stiffness = "
61  100" damping = "2" springlength = "0.0005" rgba="0 1 0
      1">
62    <site site = "Tendon_1_pos"/>
    <geom geom="Block_1" sidesite="Tendon_2_b1"/>
```

```

63      <site site = "FP1"/>
64      <geom geom="Block_2" sidesite="Tendon_1_b2"/>
65      <site site="Tendon_1_end"/>
66  </spatial>
67
68  <sensor>
69      <jointpos name="j1_pos" joint="A"/>
70      <jointpos name="j2_pos" joint="B"/>
71      <jointvel name="j1_vel" joint="A"/>
72      <jointvel name="j2_vel" joint="B"/>
73  </sensor>
74
75  <actuator>
76      <motor name="motor_r1" joint="A" gear="1"/>
77      <motor name="motor_r2" joint="B" gear="1"/>
78  </actuator>
79</mjoco>

```

Код на Python, в который добавлен ПД-регулятор:

```

import mujoco
import mujoco.viewer
import matplotlib.pyplot as plt
import time
import numpy as np

model = mujoco.MjModel.from_xml_path('model.xml')
data = mujoco.MjData(model)

def pd_controll(pos, goal_pos, vel, kp, kd):
    return kp * (goal_pos - pos) - kd * vel

def plot_sensor_data(time_steps, first_sensor,
second_sensor, first_goal, second_goal):
    plt.figure(figsize=(12, 8))
    plt.plot(time_steps, first_sensor,
label="Sensor first", linewidth=2)
    plt.plot(time_steps, second_sensor,

```

```

label="Sensor second", linewidth=2)
plt.plot(time_steps, first_goal,
label="Goal position first",
linewidth=2, linestyle='--')
plt.plot(time_steps, second_goal,
label="Goal position second",
linewidth=2, linestyle='--')
plt.xlabel('t, s', fontsize=12)
plt.ylabel('angle, rad', fontsize=12)
plt.grid(True, linestyle='--', alpha=0.7)
plt.legend(fontsize=10, loc='best')
plt.tight_layout()
plt.show()

```

```

def plot_error_data(time_steps, err1, err2):
plt.figure(figsize=(12, 8))
plt.plot(time_steps, err1,
label="Error first", linewidth=2)
plt.plot(time_steps, err2,
label="Error second", linewidth=2)
plt.xlabel('t, s', fontsize=12)
plt.ylabel('Angle error, rad', fontsize=12)
plt.grid(True, linestyle='--', alpha=0.7)
plt.legend(fontsize=10, loc='best')
plt.tight_layout()
plt.show()

```

```

time_steps = []
first_sensor_data = []
second_sensor_data = []
goal_position_first_data = []
goal_position_second_data = []
error_first_data = []

```

```

error_second_data = []

first_tendon = mujoco.mj_name2id(model,
mujoco.mjtObj.mjOBJ_TENDON, "Tendon_1")
second_tendon = mujoco.mj_name2id(model,
mujoco.mjtObj.mjOBJ_TENDON, "Tendon_2")

model.tendon_damping[first_tendon] = 5
model.tendon_damping[second_tendon] = 5

model.tendon_stiffness[first_tendon] = 10e-2
model.tendon_stiffness[second_tendon] = 10e-2

AMP_Q1 = 33.07
FREQ_Q1 = 2.88
BIAS_Q1 = 9.8
AMP_Q2 = 34.13
FREQ_Q2 = 3.66
BIAS_Q2 = -41.4

timestamp = 10e-5
model_time = 10
timesteps = int(model_time / timestamp)

with mujoco.viewer.launch_passive(model, data)
as viewer:
    for step in range(timesteps):
        mujoco.mj_step(model, data)

        goal_position_first = np.deg2rad(AMP_Q1
            * math.sin(FREQ_Q1 * step * timestamp) + BIAS_Q1)
        goal_position_second = np.deg2rad(AMP_Q2
            * math.sin(FREQ_Q2 * step * timestamp) + BIAS_Q2)

```

```

current_position_first =
data.sensor("j1_pos").data[0]
current_position_second =
data.sensor("j2_pos").data[0]
current_velocity_first =
data.sensor("j1_vel").data[0]
current_velocity_second =
data.sensor("j2_vel").data[0]

data.ctrl[0] =
pd_controll(current_position_first ,
goal_position_first , current_velocity_first , 8.0 , 0.01)
data.ctrl[1] =
pd_controll(current_position_second ,
goal_position_second , current_velocity_second , 1.0 , 0.00

goal_position_first_data.append(goal_position_first)
goal_position_second_data.append(goal_position_second)
first_sensor_data.append(current_position_first)
second_sensor_data.append(current_position_second)
error_first_data
.append(goal_position_first - current_position_first)
error_second_data
.append(goal_position_second - current_position_second)

time.sleep(timestamp)
time_steps.append(timestamp * step)
viewer.sync()

plot_sensor_data(
time_steps ,
first_sensor_data ,
second_sensor_data ,

```

```

goal_position_first_data ,
goal_position_second_data
)

plot_error_data(
    time_steps ,
    error_first_data ,
    error_second_data
)

```

Результат моделирования:

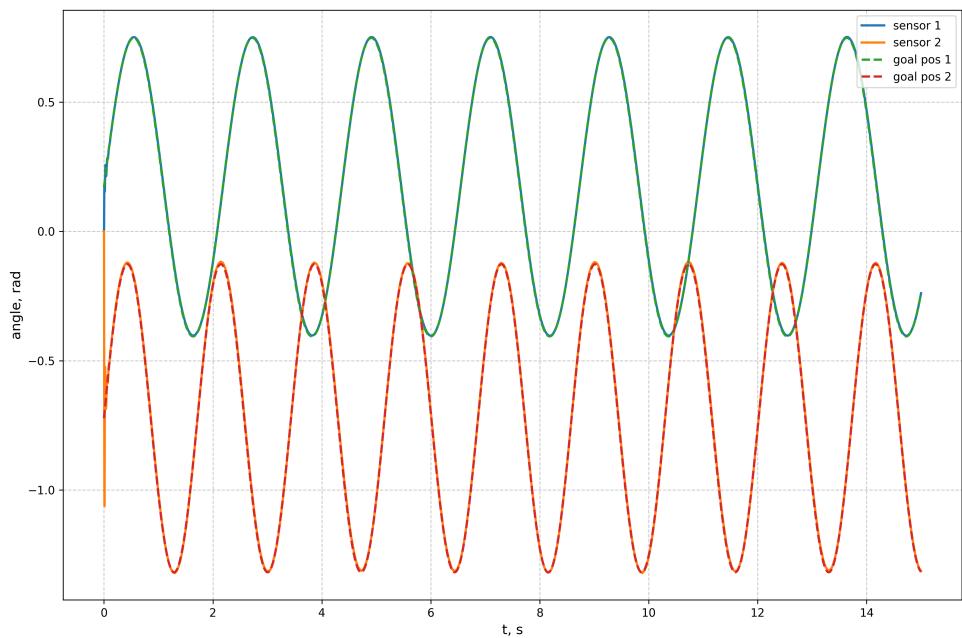


Рис. 1.2: График положение углов.

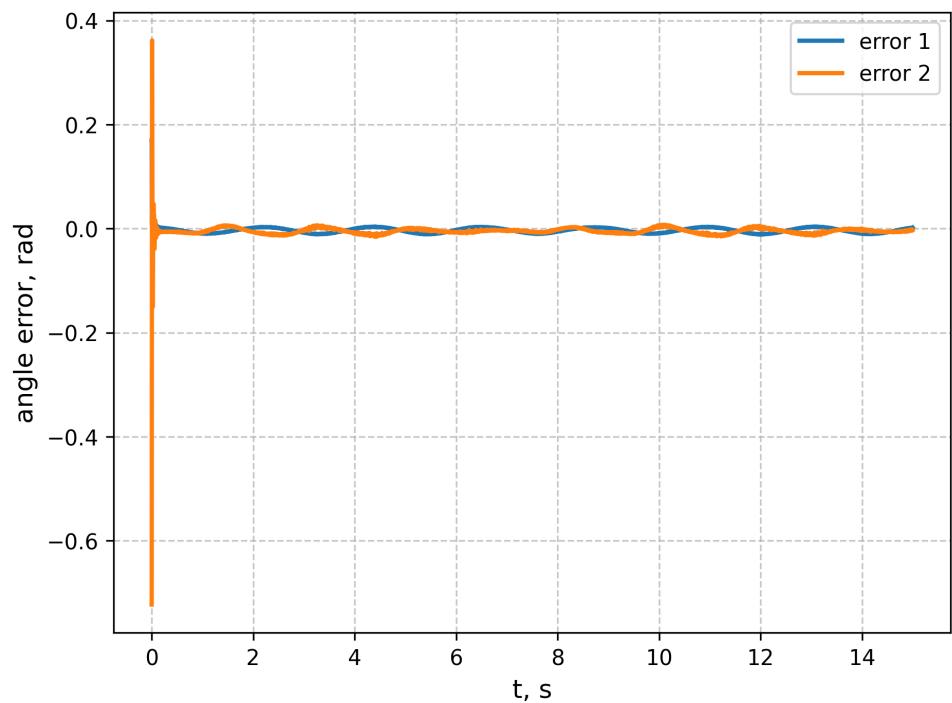


Рис. 1.3: График ошибки сигнала за эталонным.

# Вывод

В ходе работы было произведено добавление сенсоров для механизма с сухожилиями. Благодаря удачно подобранным коэффициентам для ПД-регулятора удалось обеспечить ошибку слежения, близкое к нулю.