МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Факультет систем управления и робототехники

Практическая работа №4
по дисциплине
«Имитационное моделирование робототехнических систем»

Студен:
Группа R4134c *И. Ковылин*

Преподаватель:
Ассистент *Е.А. Ракшин*

Санкт-Петербург 2025 г.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

- В модель, созданную в предыдущем задании, необходимо добавить исполнительные механизмы — два исполнительных механизма (q1 и q2).
- Измените XML-файл, добавив контейнеры <actuaor> и <sensor>
- Определите управляющее усилие с помощью ПД-регулятора. qdes = AMP · sin(FREQ · t) + BIAS.

ЛИСТИНГ ПРОГРАММ

```python
import mujoco
import mujoco.viewer
import numpy as np
import time
import os
import matplotlib.pyplot as plt


# Геометрия
def calculate_crossed_tangent_points(c1, r1, c2, r2):
    c1 = np.array(c1)
    c2 = np.array(c2)
    d_vec = c2 - c1
    d = np.linalg.norm(d_vec)
    if d < 1e-8:
        return None

    unit_d = d_vec / d
    perp_d = np.array([-unit_d[1], unit_d[0]])

    r2_eff = -r2
    cos_theta = (r1 - r2_eff) / d
    if abs(cos_theta) > 1.0:
        return None

    sin_theta = np.sqrt(1 - cos_theta**2)

    tangents = []
    for side in [1, -1]:
        dir_r = cos_theta * unit_d + side * sin_theta * perp_d
        p1 = c1 + r1 * dir_r
        p2 = c2 + r2_eff * dir_r
        tangents.append((p1, p2))

    return tangents



# Обновление положений

def update_tendon_sites(model, data):
    block1_pos = data.body("body_block1").xpos[:2]
    block2_pos = data.body("body_block2").xpos[:2]

    r1 = model.geom("block1").size[0]
    r2 = model.geom("block2").size[0]

    tangents = calculate_crossed_tangent_points(block1_pos, r1, block2_pos, r2)
    if tangents is None:
        return

    tangents = sorted(tangents, key=lambda t: t[0][1], reverse=True)
    (t1_b1, t1_b2), (t2_b1, t2_b2) = tangents

    z = 0.0
    b1_xmat = data.body("body_block1").xmat.reshape(3, 3)
    b2_xmat = data.body("body_block2").xmat.reshape(3, 3)

    rel_t1_b1 = np.dot(b1_xmat.T, [t1_b1[0], t1_b1[1], z] - data.body("body_block1").xpos)
    rel_t2_b1 = np.dot(b1_xmat.T, [t2_b1[0], t2_b1[1], z] - data.body("body_block1").xpos)
    rel_t1_b2 = np.dot(b2_xmat.T, [t1_b2[0], t1_b2[1], z] - data.body("body_block2").xpos)
    rel_t2_b2 = np.dot(b2_xmat.T, [t2_b2[0], t2_b2[1], z] - data.body("body_block2").xpos)

    data.qpos[model.joint("t1_block1_joint").qposadr[0]:
              model.joint("t1_block1_joint").qposadr[0] + 2] = rel_t1_b1[:2]

    data.qpos[model.joint("t2_block1_joint").qposadr[0]:
              model.joint("t2_block1_joint").qposadr[0] + 2] = rel_t2_b1[:2]

```

Рисунок 1.1 – листинг скрипта на python

```python
    data.qpos[model.joint("t1_block2_joint").qposadr[0]:
              model.joint("t1_block2_joint").qposadr[0] + 2] = rel_t1_b2[:2]

    data.qpos[model.joint("t2_block2_joint").qposadr[0]:
              model.joint("t2_block2_joint").qposadr[0] + 2] = rel_t2_b2[:2]



# Хранение траектории
time_log = []
q1_log, q1_des_log = [], []
q2_log, q2_des_log = [], []



# ПД

def control_callback(model, data):

    k = 1

    KP1, KD1 = 135550.0 / k, 715.0 / k
    KP2, KD2 = 135550.0 / k, 715.0 / k

    AMP1, FREQ1, BIAS1 = 18.7 / k, 3.8 / k, -36.7 / k
    AMP2, FREQ2, BIAS2 = 54.03 / k, 2.62 / k, 25.3 / k

    t = data.time

    # Ожидаемые
    q1_des = AMP1 * np.sin(FREQ1 * t) + BIAS1
    dq1_des = AMP1 * FREQ1 * np.cos(FREQ1 * t)

    q2_des = AMP2 * np.sin(FREQ2 * t) + BIAS2
    dq2_des = AMP2 * FREQ2 * np.cos(FREQ2 * t)

    # Текущие
    q1 = data.joint("block1_joint").qpos[0]
    dq1 = data.joint("block1_joint").qvel[0]

    q2 = data.joint("block2_joint").qpos[0]
    dq2 = data.joint("block2_joint").qvel[0]

    # ПД
    data.ctrl[0] = KP1 * (q1_des - q1) + KD1 * (dq1_des - dq1)
    data.ctrl[1] = KP2 * (q2_des - q2) + KD2 * (dq2_des - dq2)

    time_log.append(t)
    q1_log.append(q1)
    q1_des_log.append(q1_des)
    q2_log.append(q2)
    q2_des_log.append(q2_des)

    update_tendon_sites(model, data)

current_dir = os.path.dirname(os.path.abspath(__file__))
model_path = os.path.join(current_dir, "model.xml")

model = mujoco.MjModel.from_xml_path(model_path)
data = mujoco.MjData(model)

mujoco.set_mjcb_control(control_callback)

viewer = mujoco.viewer.launch(model, data)

```

Рисунок 1.2 – листинг скрипта на python

Рисунок 1.3 – листинг скрипта на python

```xml
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?>
<mujoco>

    <option timestep="1e-4"/>
    <option gravity="0 0 -9.8"/>

    <asset>
        <texture type="skybox" builtin="gradient"
                 rgb1="1 1 1" rgb2="0.5 0.5 0.5"
                 width="256" height="256"/>
    </asset>

    <worldbody>


        <camera name="wide" pos="0 0 2" zaxis="0 0 1" fovy="100"/>

        <light pos="0 0 5" dir="0 0 -1"/>

        <!-- Блок 1 -->
        <body name="body_block1" pos="0.075 0 0">
            <joint name="block1_joint" type="slide" axis="0 1 0"
                   limited="true" range="-0.1 0.1" damping="0.0001"/>

            <geom name="block1" type="cylinder" size="0.042 0.01"/>

            <geom name="wall1" type="box" pos="-0.05 0 0"
                  size="0.001 0.05 0.03" rgba=".7 .7 .7 1"/>

            <site name="s1_wall1" pos="-0.05 0.042 0" size="0.003"/>
            <site name="s2_wall1" pos="-0.05 -0.042 0" size="0.003"/>

            <body name="t1_block1_body">
                <joint name="t1_block1_joint" type="slide" axis="1 0 0"/>
                <joint type="slide" axis="0 1 0"/>
                <geom type="sphere" size="0.002"/>
                <site name="t1_block1" size="0.003"/>
            </body>

            <body name="t2_block1_body">
                <joint name="t2_block1_joint" type="slide" axis="1 0 0"/>
                <joint type="slide" axis="0 1 0"/>
                <geom type="sphere" size="0.002"/>
                <site name="t2_block1" size="0.003"/>
            </body>

            <site name="s1_b1" pos="0 0.052 0" size="0.003"/>
            <site name="s2_b1" pos="0 -0.052 0" size="0.003"/>

            <!-- Блок 2 -->
            <body name="body_block2" pos="0.081 0 0">
                <joint name="block2_joint" type="slide" axis="0 1 0"
                       limited="true" range="-0.1 0.1" damping="0.0001"/>

                <geom name="block2" type="cylinder" size="0.025 0.01"/>

                <body name="t1_block2_body">
                    <joint name="t1_block2_joint" type="slide" axis="1 0 0"/>
                    <joint type="slide" axis="0 1 0"/>
                    <geom type="sphere" size="0.002"/>
                    <site name="t1_block2" size="0.003"/>
                </body>

                <body name="t2_block2_body">
                    <joint name="t2_block2_joint" type="slide" axis="1 0 0"/>
                    <joint type="slide" axis="0 1 0"/>
                    <geom type="sphere" size="0.002"/>
                    <site name="t2_block2" size="0.003"/>
                </body>
```

Рисунок 2.1 – листинг xml файла

```
70
71                  <site name="s1_b2" pos="0 -0.035 0" size="0.003"/>
72                  <site name="s2_b2" pos="0 0.035 0" size="0.003"/>
73
74                  <body name="load" pos="0.046 0 0">
75                      <geom type="box" size="0.001 0.03 0.02" rgba=".7 .7 .7 1"/>
76                      <site name="s1_load" pos="0 -0.025 0"/>
77                      <site name="s2_load" pos="0 0.025 0"/>
78                  </body>
79              </body>
80          </body>
81
82      </worldbody>
83
84      <tendon>
85          <spatial width="0.003">
86              <site site="s1_wall1"/>
87              <geom geom="block1" sidesite="s1_b1"/>
88              <site site="t1_block1"/>
89              <site site="t1_block2"/>
90              <geom geom="block2" sidesite="s1_b2"/>
91              <site site="s1_load"/>
92          </spatial>
93
94          <spatial width="0.003">
95              <site site="s2_wall1"/>
96              <geom geom="block1" sidesite="s2_b1"/>
97              <site site="t2_block1"/>
98              <site site="t2_block2"/>
99              <geom geom="block2" sidesite="s2_b2"/>
100             <site site="s2_load"/>
101         </spatial>
102     </tendon>
103
104     <actuator>
105         <position joint="block1_joint" kp="1"/>
106         <position joint="block2_joint" kp="1"/>
107     </actuator>
108
109
110
111 </mujoco>
112
```

Рисунок 2.2 – листинг xml файла

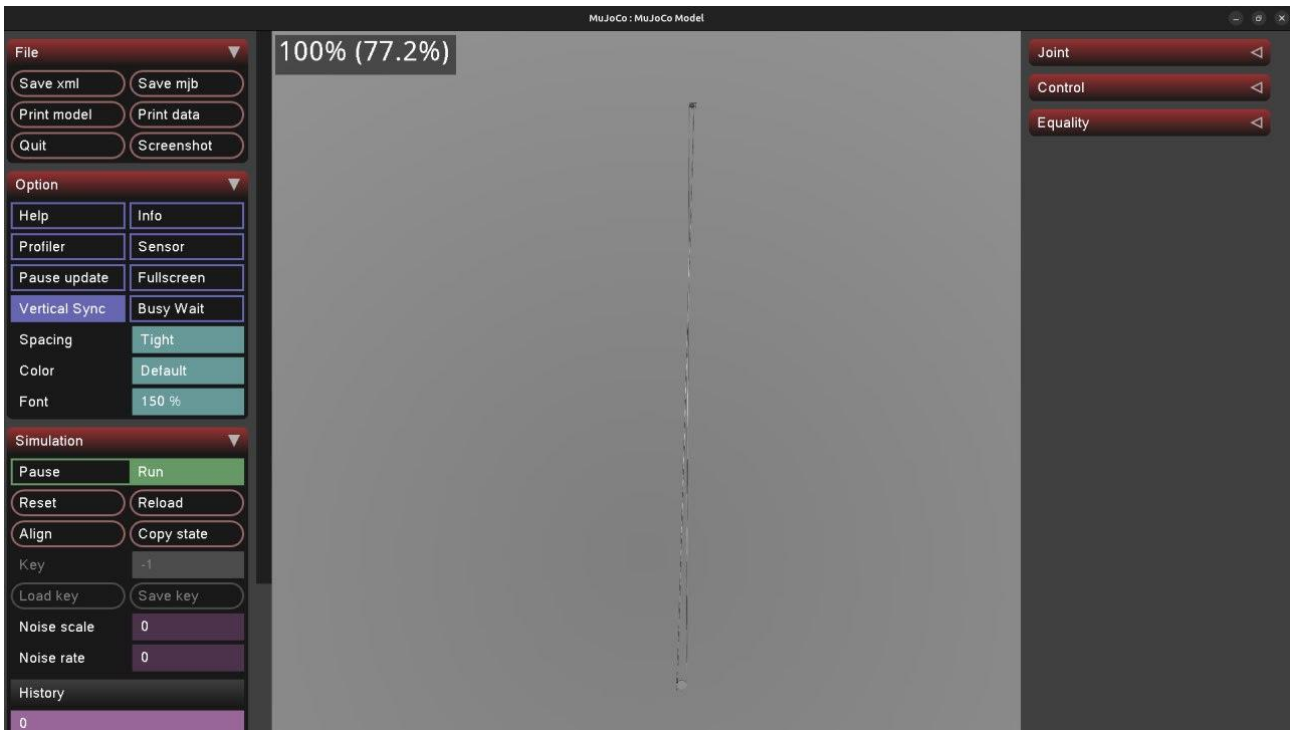

Рисунок 3 – внешний вид модели

Из – за слишком больших значений и маленькой геометрии тяжело уследить за траекторией, поэтому траектории были выведены на plot, при обычных значениях синусоиды, и уменьшенных в 10 раз.

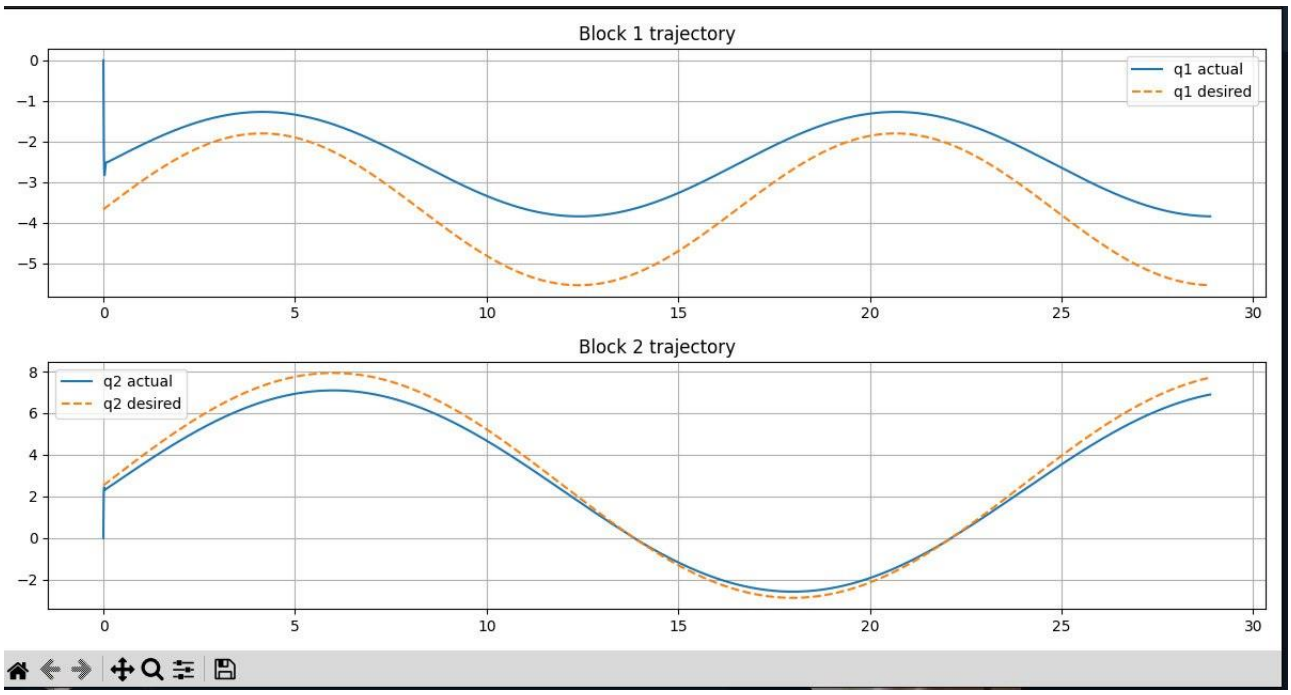

Рисунок 4 – график при уменьшенных параметрах синусоиды в 10 раз

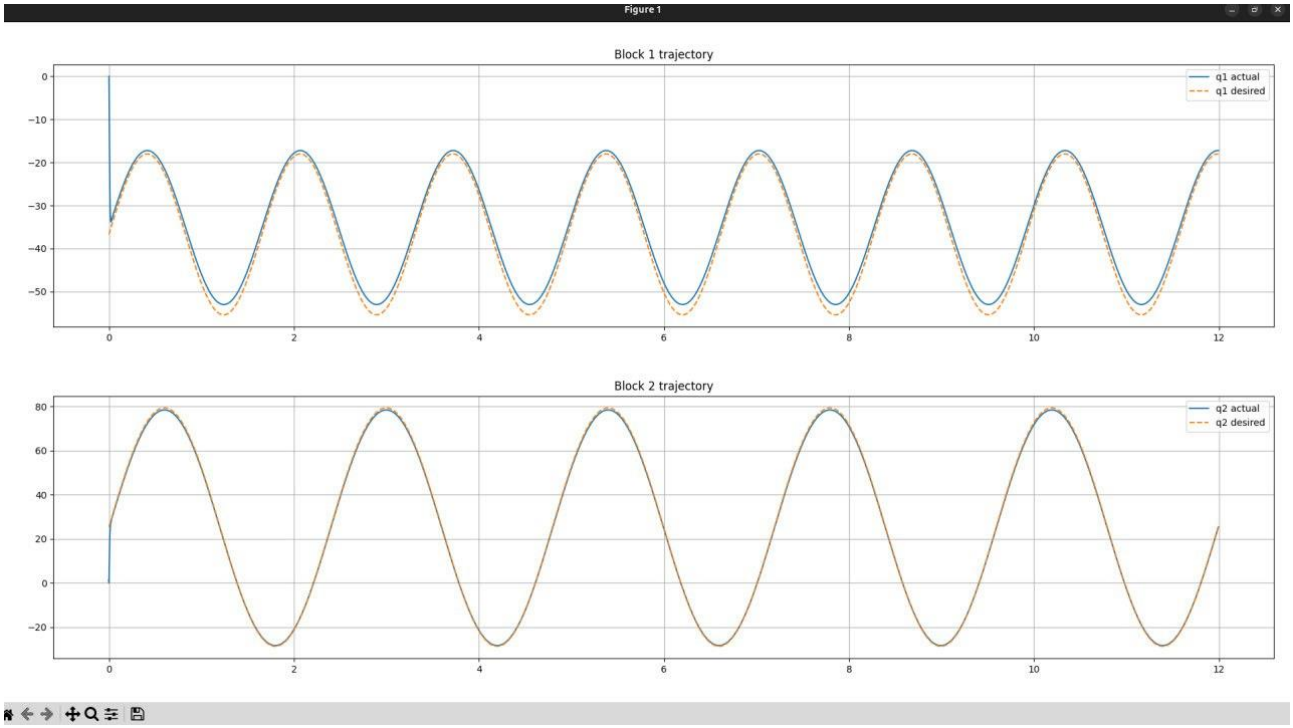

Рисунок 5 – график при обычных параметрах синусоиды в 10 раз

ВЫВОД.

В данной работе была разработана модель сухожильно-связанного 2R плоского механизма с помощью библиотеки Mujoco.