

Петербургский национальный исследовательский университет

информационных технологий, механики и оптики

**ИТМО**

---

Студент Гребцов Александр Андреевич Преподаватель Ракшин Егор Александрович

Группа R4150 Отчет принят \_\_\_\_\_

## Отчет по практической работе №4

---

---

## Оглавление

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ .....	3
1.    Модель системы.....	3
2.    Запуск модели.....	5
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	6

# ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

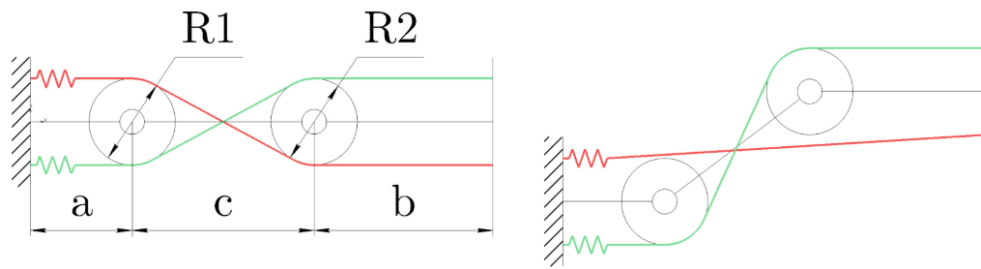


Рисунок 1. Tendon connected 2R planar mechanism

## 1. Модель системы

```

1  <?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?>
2  <muJoCo>
3    <option timestep="1e-4"/>
4    <option gravity="0 0 -9.8"/>
5    <asset>
6      <texture type="skybox" builtin="gradient" rgb1="1 1 1" rgb2="0.5 0.5 0.5" width="256" height="256"/>
7      <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"/>
8      <material name="grid" texture="grid" texrepeat="10 10" reflectance="0.2"/>
9    </asset>
10   <worldbody>
11     <light pos="0 0 10"/>
12     <geom type="plane" size="0.5 0.5 0.1" material="grid"/>
13     <camera name="side" pos="0.5 -1.5 1.0" euler="90 0 0" fovy="60"/>
14     <body name="WallRight" pos="0.63 0 0.5">
15       <joint name="WallRight_slide" type="slide" axis="0 0 1" limited="true" range="0.4 0.6"/>
16       <geom type="box" size="0.01 0.01 0.05" rgba="0 0 1 1"/>
17       <site name="sWallRightD" size="0.01" pos="0 0 -0.02" rgba="1 1 1 1"/>
18       <site name="sWallRightU" size="0.01" pos="0 0 0.02" rgba="1 1 1 1"/>
19     </body>
20     <body name="Cyl1" pos="0.249 0 0.5">
21       <joint name="Hinge1" type="hinge" axis="0 1 0" range="-90 90" damping="0.2"/>
22       <geom type="cylinder" size="0.0105 0.05" pos="0 0 0" rgba="0 0 0 1" euler="90 0 0"/>
23       <site name="sC1up" size="0.01" pos="0 -0.1 0.02" rgba="1 1 1 1"/>
24       <site name="sC1down" size="0.01" pos="0 -0.1 -0.02" rgba="1 1 1 1"/>
25     </body>
26     <body name="Cyl2" pos="0.444 0 0.5">
27       <joint name="Hinge2" type="hinge" axis="0 1 0" range="-90 90" damping="0.2"/>
28       <geom type="cylinder" size="0.023 0.05" pos="0 0 0" rgba="0 0 0 1" euler="90 0 0"/>
29       <site name="sC2up" size="0.01" pos="0 -0.1 0.02" rgba="1 1 1 1"/>
30       <site name="sC2down" size="0.01" pos="0 -0.1 -0.02" rgba="1 1 1 1"/>
31     </body>
32     <body name="WallLeft" pos="0 0 0.5">
33       <geom type="box" size="0.02 0.02 0.5" rgba="1 1 1 1"/>
34       <site name="sWallLeftD" size="0.01" pos="0 0 -0.02" rgba="1 1 1 1"/>
35       <site name="sWallLeftU" size="0.01" pos="0 0 0.02" rgba="1 1 1 1"/>
36     </body>
37   </worldbody>
38   <equality>
39     <connect site1="sC2down" site2="sWallRightD"/>
40     <connect site1="sC2up" site2="sWallRightU"/>
41   </equality>
42   <tendon>
43     <spatial name="tendon1" width="0.005" stiffness="800" damping="20" rgba="1 0 0 1">
44       <site site="sWallLeftU"/>
45       <site site="sC1up"/>
46       <site site="sC2down"/>
47       <site site="sWallRightD"/>
48     </spatial>
49     <spatial name="tendon2" width="0.005" stiffness="800" damping="20" rgba="0 1 0 1">
50       <site site="sWallRightU"/>
51       <site site="sC2up"/>
52       <site site="sC1down"/>
53       <site site="sWallLeftD"/>
54     </spatial>

```

```

30     <site name="sC2down" size="0.01" pos="0 -0.1 -0.02" rgba="1 1 1 1"/>
31   </body>
32   <body name="WallLeft" pos="0 0 0.5">
33     <geom type="box" size="0.02 0.02 0.5" rgba="1 1 1 1"/>
34     <site name="sWallLeftD" size="0.01" pos="0 0 -0.02" rgba="1 1 1 1"/>
35     <site name="sWallLeftU" size="0.01" pos="0 0 0.02" rgba="1 1 1 1"/>
36   </body>
37 </worldbody>
38 <equality>
39   <connect site1="sC2down" site2="sWallRightD"/>
40   <connect site1="sC2up" site2="sWallRightU"/>
41 </equality>
42 <tendon>
43   <spatial name="tendon1" width="0.005" stiffness="800" damping="20" rgba="1 0 0 1">
44     <site site="sWallLeftU"/>
45     <site site="sC1up"/>
46     <site site="sC2down"/>
47     <site site="sWallRightD"/>
48   </spatial>
49   <spatial name="tendon2" width="0.005" stiffness="800" damping="20" rgba="0 1 0 1">
50     <site site="sWallRightU"/>
51     <site site="sC2up"/>
52     <site site="sC1down"/>
53     <site site="sWallLeftD"/>
54   </spatial>
55 </tendon>
56 <sensor>
57   <jointpos name="q1_pos" joint="Hinge1"/>
58   <jointvel name="q1_vel" joint="Hinge1"/>
59   <jointpos name="q2_pos" joint="Hinge2"/>
60   <jointvel name="q2_vel" joint="Hinge2"/>
61 </sensor>
62 <actuator>
63   <motor name="mtr1" joint="Hinge1" ctrllimited="true" ctrlrange="-30 30"/>
64   <motor name="mtr2" joint="Hinge2" ctrllimited="true" ctrlrange="-3 3"/>
65   <motor name="WallRight_mtr" joint="WallR_slide" ctrllimited="true" ctrlrange="-3000 3000"/>
66 </actuator>
67 </mujoco>
68

```

## Модель

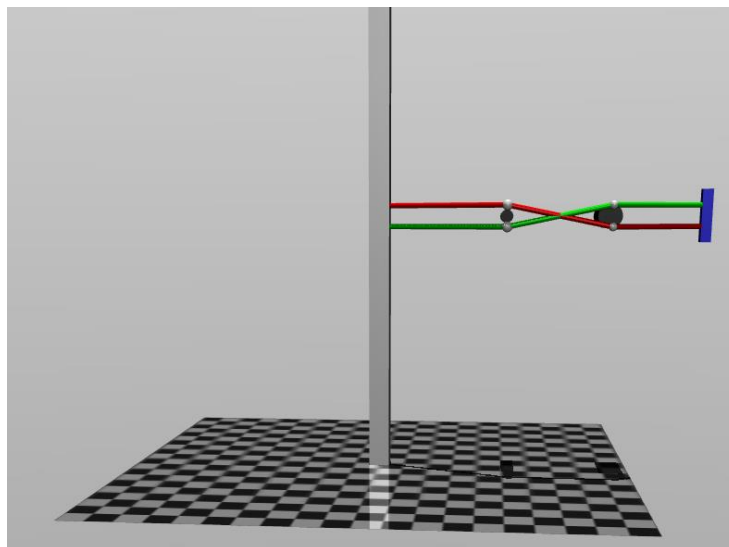


Рисунок 2. Модель в Мuјосо

## 2. Запуск модели

```
1 import mujoco
2 import numpy as np
3 import matplotlib.pyplot as plt
4
5 xml_path = "Lab4Model.xml"
6
7 a1 = 13.32 * np.pi / 180
8 a2 = 3.32 * np.pi / 180
9 f1 = 1.64
10 f2 = 1.56
11 b1 = -20.6 * np.pi / 180
12 b2 = 21.3 * np.pi / 180
13
14 dt = 0.001
15 steps = 6000
16
17 time = np.arange(steps) * dt
18 q1_log = []
19 q2_log = []
20 q1_des_log = []
21 q2_des_log = []
22
23 model = mujoco.MjModel.from_xml_path(xml_path)
24 data = mujoco.MjData(model)
25
26 motor1_id = model.actuator('mtr1').id
27 motor2_id = model.actuator('mtr2').id
28 wall_motor_id = model.actuator('WallRight_mtr').id
29
30 joint_q1 = model.joint('Hinge1').id
31 joint_q2 = model.joint('Hinge2').id
32
33 Kp = 0.1
34 Kd = 0.002
35
36 for i in range(steps):
37     t = i * dt
38
39     q1_des = a1 * np.sin(2 * np.pi * f1 * t) + b1
40     q2_des = a2 * np.sin(2 * np.pi * f2 * t) + b2
41     q1 = data.qpos[joint_q1]
42     q2 = data.qpos[joint_q2]
43     dq1 = data.qvel[joint_q1]
44     dq2 = data.qvel[joint_q2]
45     u1 = Kp * (q1_des - q1) - Kd * dq1
46     u2 = Kp * (q2_des - q2) - Kd * dq2
47
48     data.ctrl[motor1_id] = u1
49     data.ctrl[motor2_id] = u2
50     data.ctrl[wall_motor_id] = 2000 * np.sin(i * 0.01)
51
52     mujoco.mj_step(model, data)
53
54     q1_log.append(q1)
55     q2_log.append(q2)
56     q1_des_log.append(q1_des)
57     q2_des_log.append(q2_des)
58
59
60 plt.figure(figsize=(10, 12))
61
62 plt.subplot(2, 1, 1)
63 plt.plot(time, q1_log, label="q1_real")
64 plt.plot(time, q1_des_log, label="q1_teor", linestyle='--')
65 plt.title("q1")
66 plt.legend()
67 plt.grid(True)
68 plt.ylabel("a, rad")
69
70 plt.subplot(2, 1, 2)
71 plt.plot(time, q2_log, label="q2_real")
72 plt.plot(time, q2_des_log, label="q2_teor", linestyle='--')
73 plt.title("q2")
74 plt.legend()
75 plt.grid(True)
76 plt.xlabel("time, s")
77 plt.ylabel("a, rad")
78
79 plt.tight_layout()
80 plt.show()
81
```

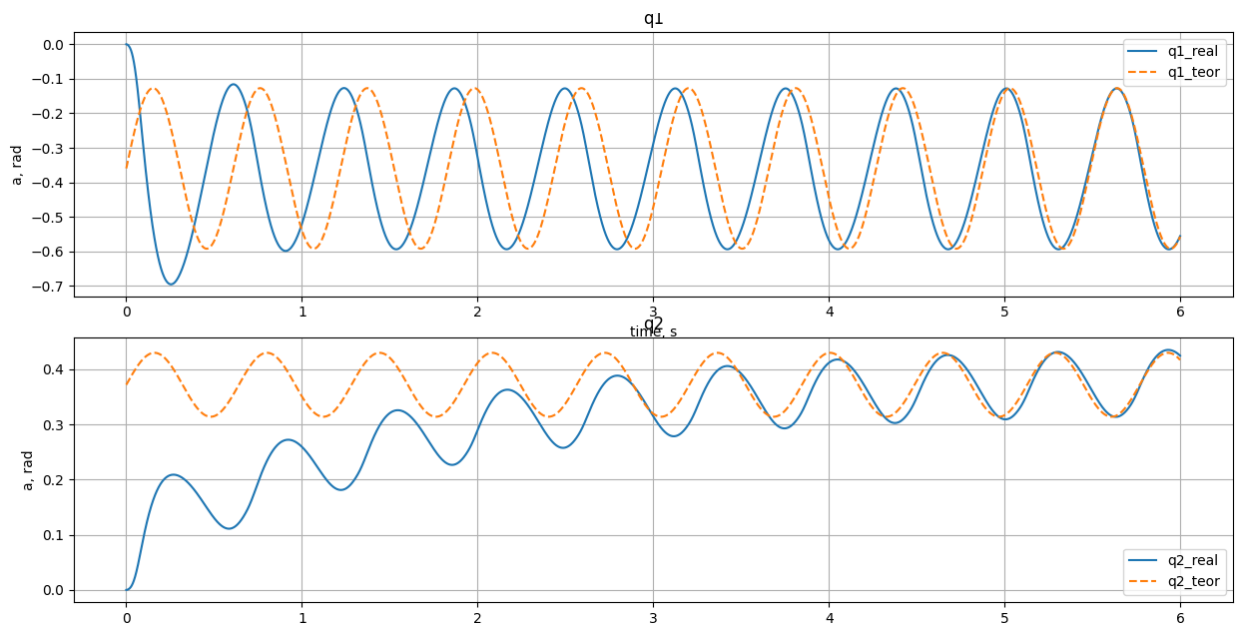


Рисунок 3. Результат моделирования  $q1$  и  $q2$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения практической работы была создана и протестирована модель механизма, включающего два цилиндра, связанные перекрёстно расположенными сухожилиями, а также подвижную правую стенку. Реализация системы в MiJoso дала возможность воспроизвести её динамику и проследить, как элементы конструкции реагируют на изменение положения стены под действием управляющего воздействия. В модель системы были добавлены актуаторы и сенсоры для управления механизмами и измерения их положения. Реализован ПД регулятор, а построенные графики для  $q1$  и  $q2$  наглядно демонстрируют его работу.