

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

**ОТЧЁТ О ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ №3  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ: "ИМИТАЦИОННОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ РОБОТЕХНИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ"**

**Выполнил**

Козлов Андрей Алексеевич<sup>1</sup>

<sup>1</sup>506004, @causeloveAA

**Проверил**

Ракшин Егор Александрович, ассистент

г. Санкт-Петербург  
17 ноября 2025 г.

# 1 Цель работы

Цель работы — Разработать и исследовать динамическую модель системы с двумя вращающимися цилиндрами, соединёнными перекрёстными сухожилиями и взаимодействующей с подвижной стеной, реализованной в среде MuJoCo. Проанализировать влияние движения правой стены на кинематику цилиндров и натяжение сухожилий, а также визуализировать траектории движения цилиндров по оси Z.

## 2 Задание на работу

В рамках работы требуется:

Составить модель движения системы в среде MuJoCo. Написать скрипт для визуализации и работы с моделью на языке Python. Сравнить траектории движений объектов по оси Z. Сделать выводы.

## 3 Модель системы

В качестве задания и в соответствии с таблицей был взят 1ый вариант: tendon connected 2R planar mechanism.

Модель имеет следующее описание в среде MuJoCo:

```
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"
7       rgb1="1 1 1" rgb2="0.5 0.5 0.5"
8       width="256" height="256"/>
9     <texture name="grid" type="2d" builtin="checker"
10    rgb1="0.1 0.1 0.1" rgb2="0.6 0.6 0.6"
11    width="300" height="300"/>
12    <material name="grid" texture="grid"
13      texrepeat="10 10" reflectance="0.2"/>
14  </asset>
15
16  <worldbody>
17    <light pos="0 0 10"/>
18    <geom type="plane" size="0.5 0.5 0.1" material="grid"/>
19    <camera name="side" pos="0.5 -1.5 1.0" euler="90 0 0" fovy="60"/>
20
21    <body name="WallL" pos="-0.5 0 0.5">
22      <geom type="box" size="0.01 0.01 0.2" rgba="0.5 0.5 0.5 1"/>
23      <site name="sWallLD" size="0.01" pos="0 0 -0.02"/>
24      <site name="sWallLU" size="0.01" pos="0 0 0.02"/>
25
26      <!-- Первый цилиндр -->
27      <body name="Cylinder1" pos="0.2 0 0">
28        <!-- Вращение ТОЛЬКО вокруг оси Z -->
29        <joint name="Hinge1" type="hinge" axis="0 1 0" range="-90 90
" damping="0.2"/>
30
31        <geom type="cylinder" size="0.02 0.1"
32          pos="0 -0.1 0"
33          rgba="0.2 0.5 0.8 0.8"
```

```

34             euler="90 0 0"/>
35
36         <site name="sC1_up"    size="0.01" pos="0 -0.2 0.02"/>
37         <site name="sC1_down" size="0.01" pos="0 -0.2 -0.02"/>
38
39         <!-- Второй цилиндр -->
40         <body name="Cylinder2" pos="0.4 0 0" >
41             <joint name="Hinge2" type="hinge" axis="0 1 0" range="-
42             -90 90" damping="0.2"/>
43
44             <geom type="cylinder" size="0.02 0.1"
45                 pos="0 -0.1 0"
46                 rgba="0.8 0.3 0.2 0.8"
47                 euler="90 0 0"/>
48
49             <site name="sC2_up"    size="0.01" pos="0 -0.2 0.02"/>
50             <site name="sC2_down" size="0.01" pos="0 -0.2 -0.02"/>
51
52         </body>
53     </body>
54 </body>
55
56     <body name="WallR" pos="0.5 0 0.5">
57         <joint name="WallR_slide" type="slide" axis="0 0 1" limited="
58         true" range="0.4 0.6"/>
59         <geom type="box" size="0.01 0.01 0.2" rgba="0.5 0.5 0.5 1"/>
60         <site name="sWallRD" size="0.01" pos="0 0 -0.02"/>
61         <site name="sWallRU" size="0.01" pos="0 0 0.02"/>
62     </body>
63
64 </worldbody>
65
66 <equality>
67     <connect site1="sC2_down" site2="sWallRD"/>
68     <connect site1="sC2_up" site2="sWallRU"/>
69 </equality>
70 <tendon>
71     <spatial name="tendon1" width="0.005" stiffness="800" damping="20">
72         <site site="sWallLU"/>
73         <site site="sC1_up"/>
74         <site site="sC2_down"/>
75         <site site="sWallRD"/>
76     </spatial>
77
78     <spatial name="tendon2" width="0.005" stiffness="800" damping="20">
79         <site site="sWallRU"/>
80         <site site="sC2_up"/>
81         <site site="sC1_down"/>
82         <site site="sWallLD"/>
83     </spatial>
84 </tendon>
85 <actuator>
86
87     <motor name="WallR_motor" joint="WallR_slide" ctrllimited="true"
88     ctrlrange="-3000 3000"/>
89 </actuator>
90
91 </mjoco>

```

Визуализация модели выглядит следующим образом:

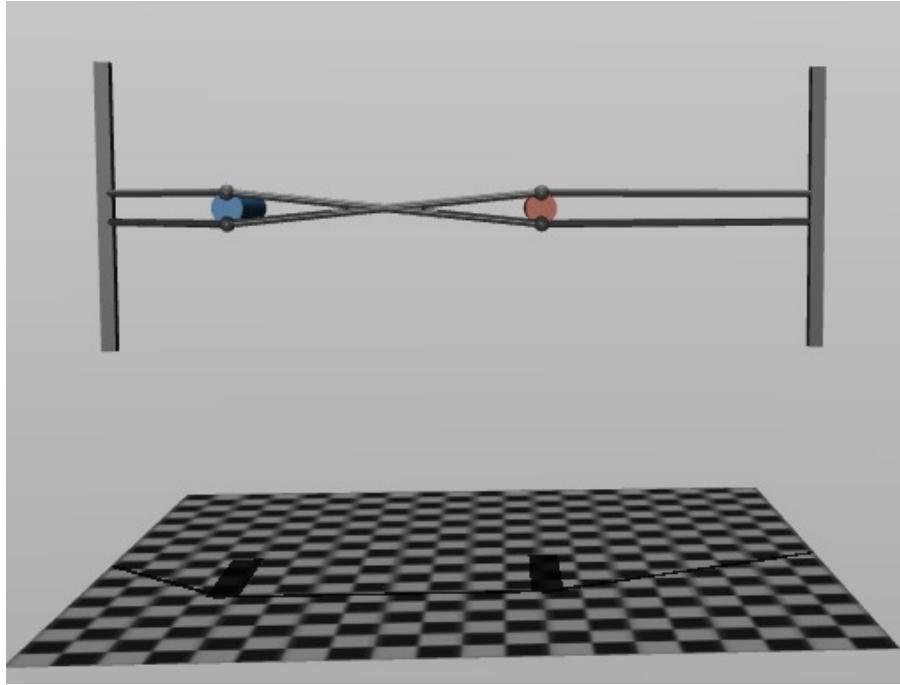


Рис. 1: Визуализация модели в среде Mujooco

## 4 Скрипт для работы с моделью на Python

```

1 import mujoco
2 import mujoco.viewer
3 import numpy as np
4 import matplotlib.pyplot as plt
5
6 xml_path = "tendon_2R2.xml"
7
8 model = mujoco.MjModel.from_xml_path(xml_path)
9 data = mujoco.MjData(model)
10
11 wall_motor_id = model.actuator('WallR_motor').id
12
13 site_wall_id = model.site('sWallRD').id
14 site_cyl1_id = model.site('sC1_up').id
15 site_cyl2_id = model.site('sC2_up').id
16
17 dt = 0.001
18 steps = 2000
19
20 z_wall = []
21 z_cyl1 = []
22 z_cyl2 = []
23
24 for i in range(steps):
25     data.ctrl[wall_motor_id] = 2000 * np.sin(i * 0.01)
26
27     mujoco.mj_step(model, data)
28
29     z_wall.append(data.site_xpos[site_wall_id, 2])
30     z_cyl1.append(data.site_xpos[site_cyl1_id, 2])
31     z_cyl2.append(data.site_xpos[site_cyl2_id, 2])
32
33

```

```

34 time = np.arange(steps) * dt
35
36 plt.figure(figsize=(8,5))
37 plt.plot(time, z_wall, label='WallR Z')
38 plt.plot(time, z_cyl1, label='Cylinder1 Z')
39 plt.plot(time, z_cyl2, label='Cylinder2 Z')
40 plt.xlabel('Time [s]')
41 plt.ylabel('Z position [m]')
42 plt.title('Z-axis movement of WallR and Cylinders')
43 plt.legend()
44 plt.grid(True)
45 plt.show()

```

Для решения задачи был взят пример преподавателя и адаптирован под описанный выше случай.

После выполнения программы был получен следующий результат:

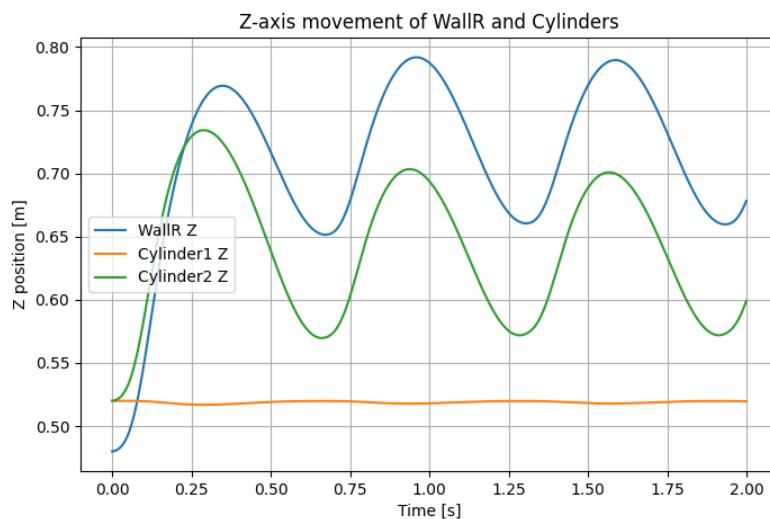


Рис. 2: Результат моделирования

Из графика видно, как движение правой стены влияет на вертикальные положения цилиндров через систему сухожилий: при смещении стены по оси Z цилиндры демонстрируют согласованное движение, следуя изменениям натяжения сухожилий.

График позволяет визуально оценить кинематическую реакцию системы, динамическое взаимодействие цилиндров с сухожилиями и эффективность передачи движения через механическую цепочку.

## 5 Вывод

В ходе работы была разработана и реализована модель механической системы с двумя цилиндрами, соединёнными перекрёстными сухожилиями, и подвижной правой стеной. Использование модели в среде MuJoCo позволило смоделировать кинематическую цепочку и исследовать взаимодействие компонентов при управлении положением стены.

Симуляция показала, что движение правой стены по оси Z эффективно передаётся на цилиндры через сухожилия, при этом цилиндры движутся согласованно и остаются ограниченными в заданной плоскости вращения. Графический анализ положения цилиндров по оси Z подтвердил корректность работы модели и её способность отражать динамику системы с мягкими ограничениями сухожилий.

Реализация в Python с использованием MuJoCo, визуализации и построения графиков позволяет не только наблюдать поведение системы в реальном времени, но и количественно оценивать характеристики движения для дальнейшего анализа и оптимизации.