

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

---

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**

Факультет систем управления и робототехники

**ОТЧЁТ**  
**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4**  
**Вариант №14**

По дисциплине: **«Имитационное моделирование робототехнических систем»**

**Выполнил:**  
студент гр. № R4135с  
Голубева Я.Д.

**Проверил:**  
ассистент ФСУ и Р  
Ракшин Е.А.

Санкт-Петербург  
2025

**Задание:** добавить мышцы q1 и q2 к модели из практики 3, а также сенсоры. Определить усилие управления с помощью PD-регулятора. Если последовательность управления выходит за пределы рабочего пространства механизма, уменьшайте амплитуду и настраивайте смещение только при необходимости.

Исходные данные для варианта №14:

Для q1:

$$Amp = 16.85 \text{ deg}$$

$$FREQ = 1.9 \text{ Hz}$$

$$BIAS = -28.6 \text{ deg}$$

Для q2:

$$Amp = 16.09 \text{ deg}$$

$$FREQ = 3.53 \text{ Hz}$$

$$BIAS = -43.8 \text{ deg}$$

Таким образом, для моделирования движения джоинтов, были добавлены actuators для tendon2 и tendon3, управление осуществляется с помощью функции control:

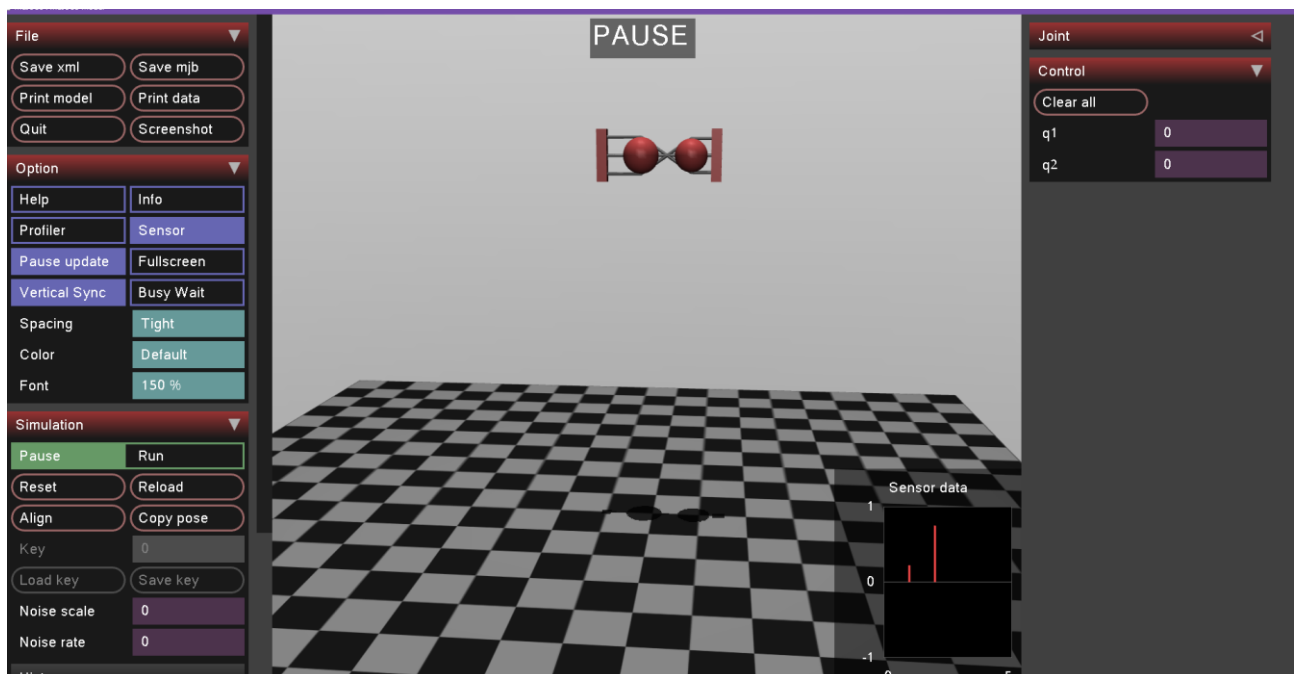


Рисунок 1 - Step 1

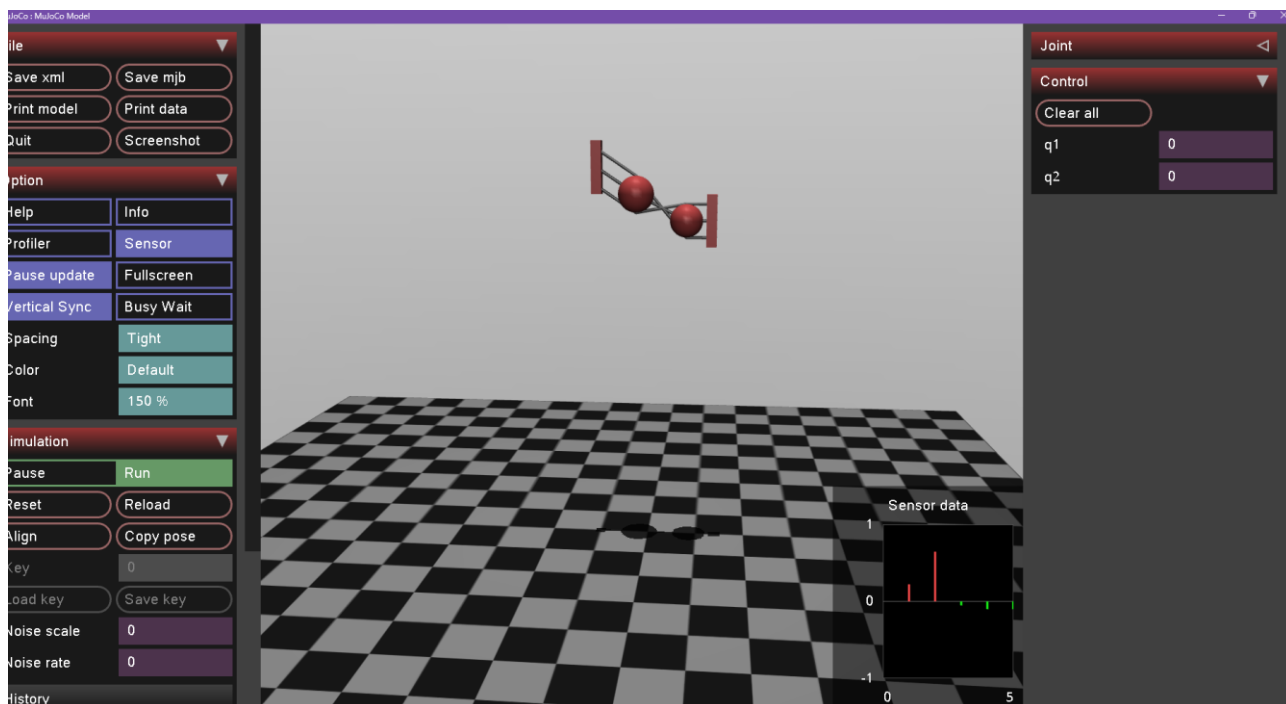


Рисунок 2 - Step 2

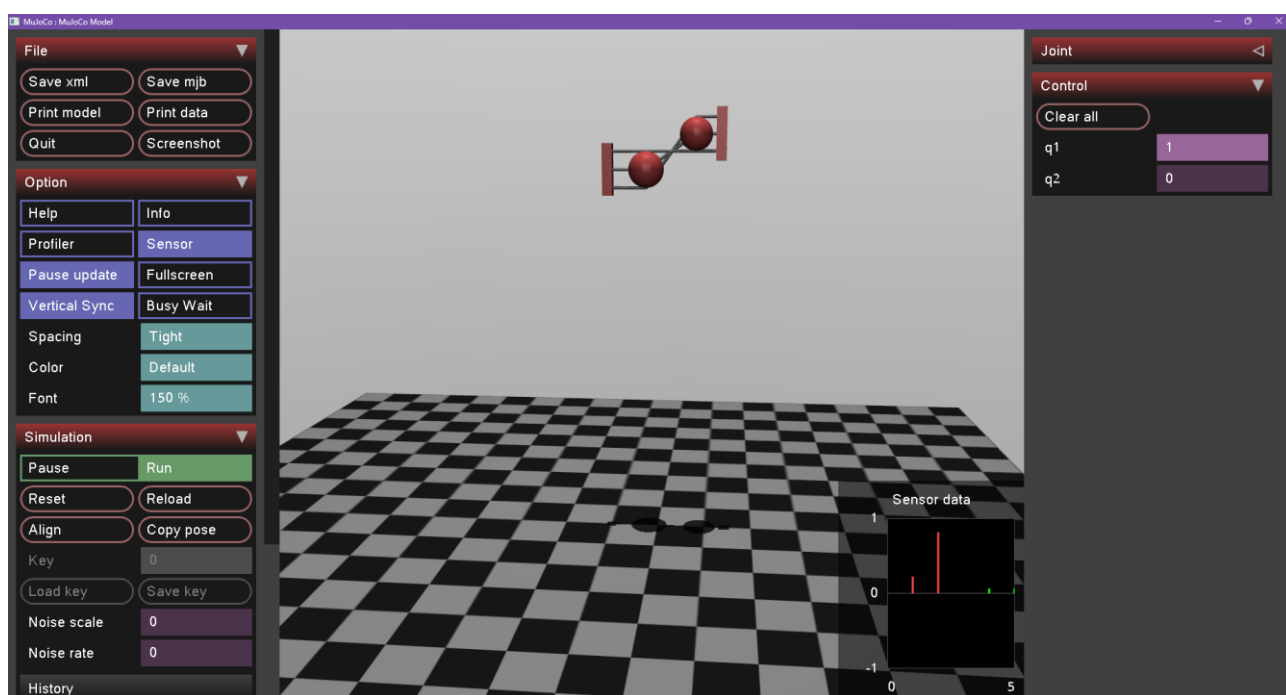


Рисунок 3 - Step 3

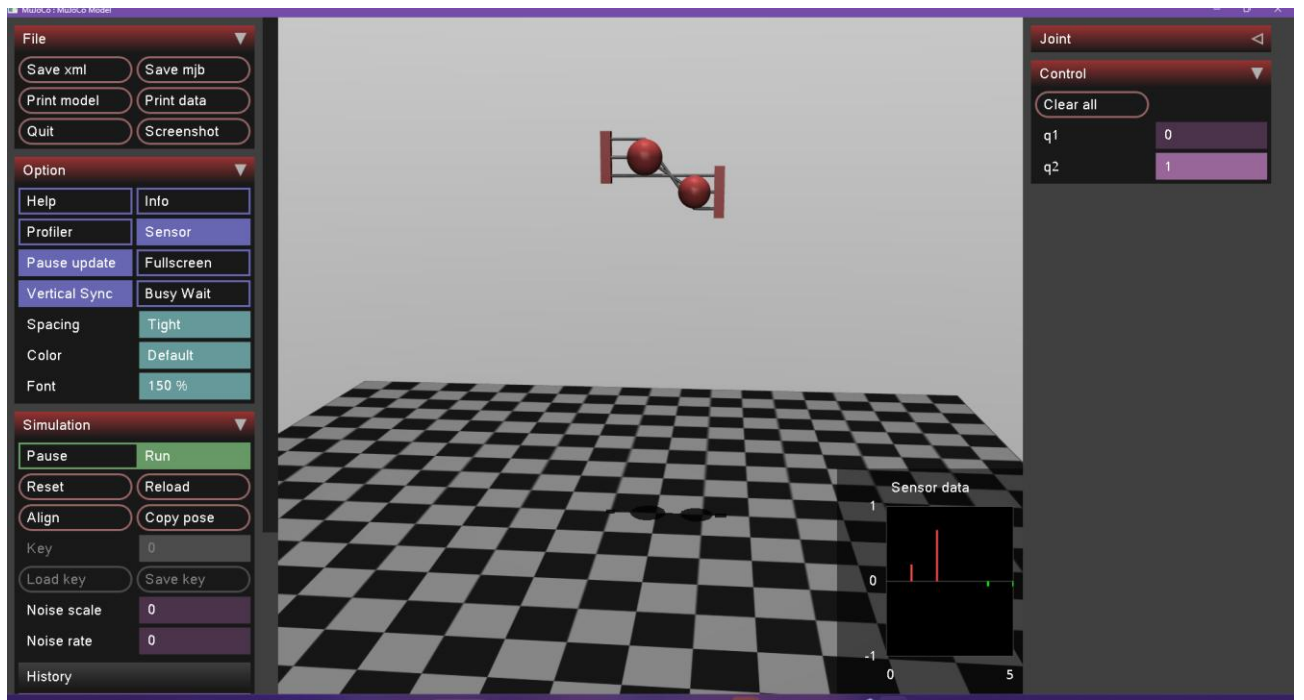


Рисунок 4 - Step 4

Мышцы работают исправно, путём ручного управления. Далее, для автоматизации моделирования, применим Python-code с заданными настройками сигнала для каждой мышцы:

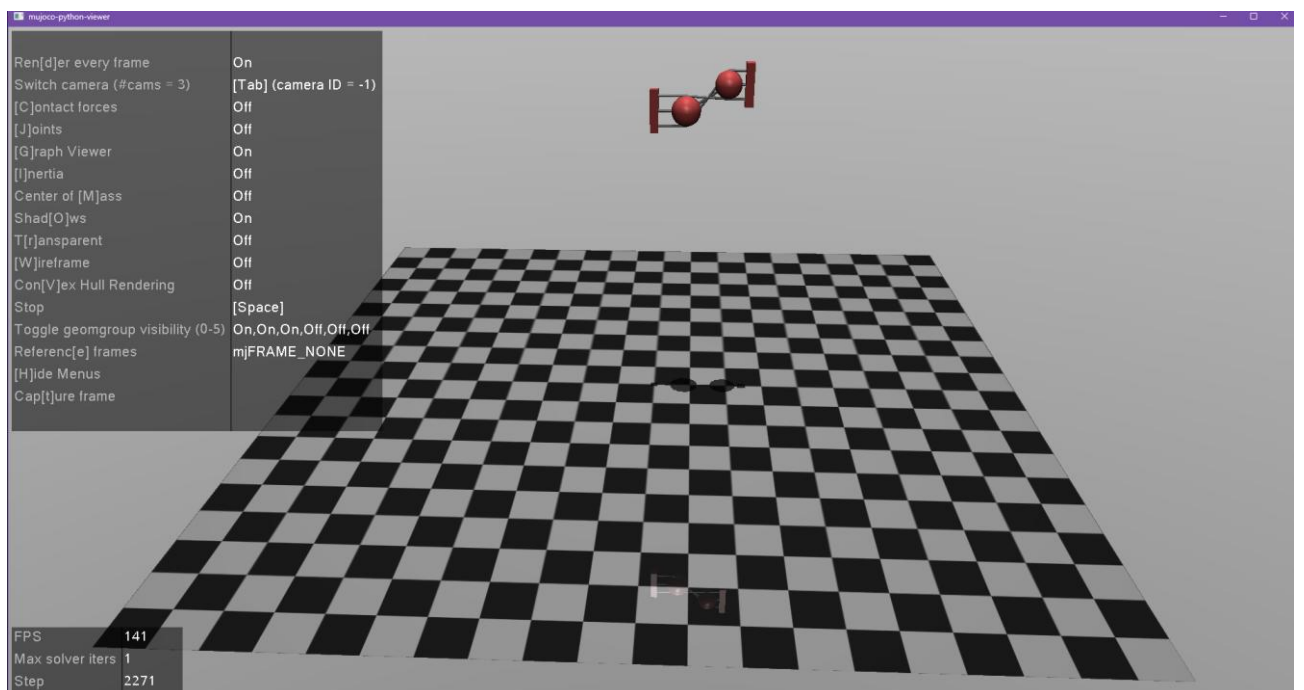


Рисунок 5 - Step 5 with PD-regulator

## Python

```
import mujoco
import mujoco_viewer
import numpy as np

model = mujoco.MjModel.from_xml_path("506885_GolubevaYana_Task3.xml")
data = mujoco.MjData(model)
viewer = mujoco_viewer.MujocoViewer(model, data)

print("PD-регулятор с двумя мышцами")

while viewer.is_alive:
    t = data.time

    desired_z = 0.75 + (16.85 * np.sin(1.9 * t) - 28.6) / 600.0

    # Текущая позиция
    site_id = mujoco.mj_name2id(model, mujoco.mjtObj.mjOBJ_SITE,
    "middle_attachment_00")
    current_z = data.site_xpos[site_id][2]
    current_vel = data.qvel[2]

    # PD-регулятор
    error = desired_z - current_z
    control = 5000 * error + 300 * (-current_vel)

    # Управление мышцами
    data.ctrl[0] = (16.85 * np.sin(1.9 * t) - 28.6 + 60) / 120 # q1
    data.ctrl[1] = (16.09 * np.sin(3.53 * t) - 43.8 + 60) / 120 # q2

    data.ctrl[0] = max(0, min(1, data.ctrl[0])) # ограничение
    data.ctrl[1] = max(0, min(1, data.ctrl[1])) # ограничение

    mujoco.mj_step(model, data)
    viewer.render()

viewer.close()
```

## XML-model

```
<?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="265" height="256"/>
    <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"/>
    <material name="grid" texture="grid" texrepeat="10 10" reflectance="0.2"/>
  </asset>

  <worldbody>
    <light pos="0 0 10"/>
    <geom type="plane" size="1 1 0.1" material="grid"/>

    <camera name="side view" pos="1 -2 1" euler="60 0 30" fovy="60"/>
    <camera name="front view" pos="0 -2 1" euler="0 0 0"/>

    <body name="base" pos="0 0 0.75">
      <geom type="box" size="0.01 0.01 0.05" rgba="0.8 0.3 0.3 1"/>
      <site name="top_attachment_0" pos="0 0 0.035" size="0.001" rgba="1 0 0
1"/>
      <site name="middle_attachment_0" pos="0 0 0" size="0.001" rgba="0 1 0
1"/>
      <site name="bottom_attachment_0" pos="0 0 -0.035" size="0.001" rgba="0
0 1 1"/>
    </body>

    <body name="R1" pos="0 0.076 0.75">
      <geom name="R1_geom" type="sphere" size="0.035" rgba="0.8 0.3 0.3 1"/>
      <joint name="R1_joint" type="slide" axis="0 0 1" range="-0.05 0.05"/>
      <site name="top_attachment_1" pos="0 0 0.035" size="0.001" rgba="1 0 0
1"/>
      <site name="middle_attachment_1" pos="0 0 0" size="0.001" rgba="0 1 0
1"/>
      <site name="bottom_attachment_1" pos="0 0 -0.035" size="0.001" rgba="0
0 1 1"/>
    </body>

    <body name="R2" pos="0 0.174 0.75">
      <geom name="R2_geom" type="sphere" size="0.032" rgba="0.8 0.3 0.3 1"/>
      <joint name="R2_joint" type="slide" axis="0 0 1" range="-0.10 0.10"/>
```

```

        <site name="top_attachment_2" pos="0 0 0.032" size="0.001" rgba="1 0 0
1"/>
        <site name="middle_attachment_2" pos="0 0 0" size="0.001" rgba="0 1 0
1"/>
        <site name="bottom_attachment_2" pos="0 0 -0.032" size="0.001" rgba="0
0 1 1"/>
    </body>

    <body name="S" pos="0 0.223 0.75">
        <joint name="vertical_joint" type="slide" axis="0 0 1" range="-0.1
0.1"/>
        <geom type="box" size="0.01 0.01 0.05" rgba="0.8 0.3 0.3 1"
mass="0.001"/>
        <site name="top_attachment_00" pos="0 0 0.032" size="0.001" rgba="1 0 0
1"/>
        <site name="middle_attachment_00" pos="0 0 0" size="0.001" rgba="0 1 0
1"/>
        <site name="bottom_attachment_00" pos="0 0 -0.032" size="0.001" rgba="0
0 1 1"/>
    </body>

</worldbody>

<tendon>
    <spatial name="a">
        <site site="middle_attachment_0"/>
        <site site="middle_attachment_1"/>
    </spatial>

    <spatial name="b">
        <site site="middle_attachment_1"/>
        <site site="middle_attachment_2"/>
    </spatial>

    <spatial name="c">
        <site site="middle_attachment_2"/>
        <site site="middle_attachment_00"/>
    </spatial>

    <spatial name="tendon2">
        <site site="top_attachment_0"/>
        <site site="top_attachment_1"/>
        <site site="bottom_attachment_2"/>
        <site site="bottom_attachment_00"/>
    </spatial>

    <spatial name="tendon3">
        <site site="bottom_attachment_0"/>
        <site site="bottom_attachment_1"/>

```

```
        <site site="top_attachment_2"/>
        <site site="top_attachment_00"/>
    </spatial>

</tendon>

<actuator>
    <muscle name="q1" tendon="tendon2" ctrlrange="0 1" force="20000"
lengthrange="0.1 1.0"/>
    <muscle name="q2" tendon="tendon3" ctrlrange="0 1" force="2000"
lengthrange="0.1 1.0"/>
</actuator>

<sensor>

    <framepos objtype="site" objname="middle_attachment_00"/>

    <jointpos name="R1_position" joint="R1_joint"/>
    <jointpos name="R2_position" joint="R2_joint"/>
    <jointpos name="vertical_position" joint="vertical_joint"/>
</sensor>

</mujoco>
```