

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

Практическое задание №3
по дисциплине
«Имитационное моделирование робототехнических систем»

Студент:
Группа № R4133C
Звонков Г.Е

Преподаватель:
Ракинин. Е.А

Санкт-Петербург
2025

Цели и задачи работы

В соответствии с вариантом промоделировать пассивный механизм в среде тијосо

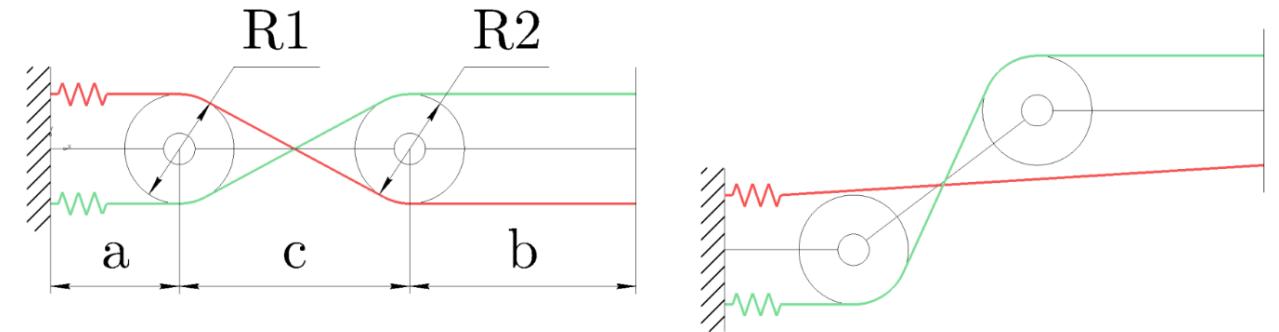


Рисунок 1 – 2R механизм

Таблица №1 – параметры механизма

R1	R2	a	b	c
0,045	0,023	0,052	0,084	0,053

Из рисунка 1 можно предположить, что два блока соединены звеньями при помощи двух вращательных шарниров, и последнее звено присоединено к каретке. Из рисунка 1, видно, что каретка остается в вертикальном положении, вне зависимости от высоты подъёма. А также тендоны не должны быть жёстко привязаны к блокам. Эти условия были перенесены в xml файл, описывающий механизм. Условно механизм был на разделён на 4 части:

- 1) Первое звено и Блок R1
- 2) Второе звено и Блок R2
- 3) Каретка
- 4) Начальная неподвижная плоскость.

В дополнении к этому была создана фиктивная точка с двумя призматическими шарнирами на пересечении красного и зелёного тендана и при помощи блока `</equalities>` задано ограничение на соответствие этой точки на середине отрезка с. Без этой точки поведение тенданов не совсем

корректное и не соответствует рисунку 1, а именно тендоны как бы “залипают” на поверхности блока R1. Для удержания каретки добавлено фиктивное тело с двумя призматическими шарнирами, которое через ограничение жёстко привязано к site каретки. Код xml файла и решения в приложении А.

При моделировании получились следующие результаты.

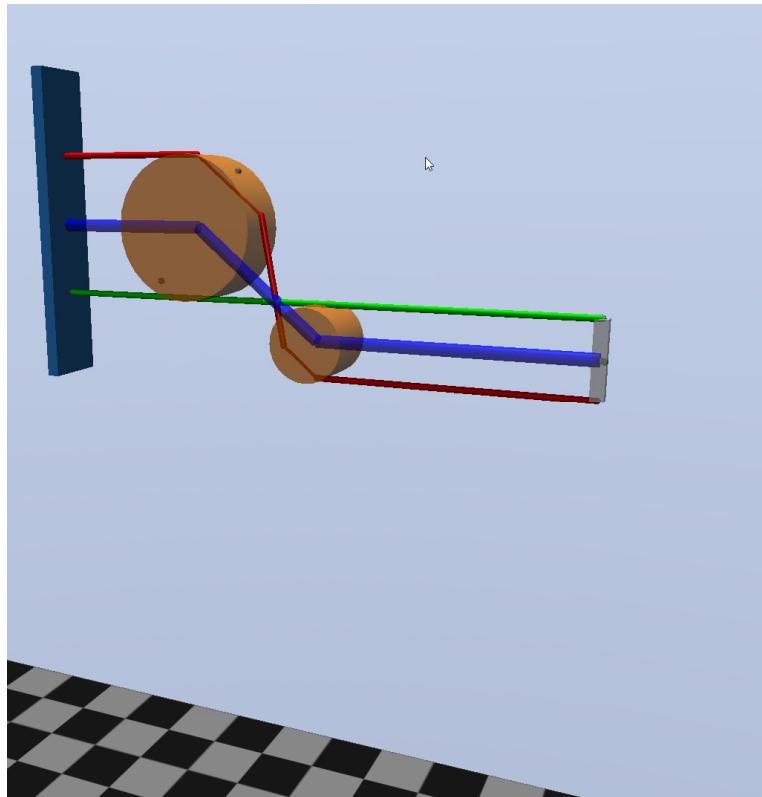


Рисунок 2 – Результат моделирования (каретка в нижнем положении)

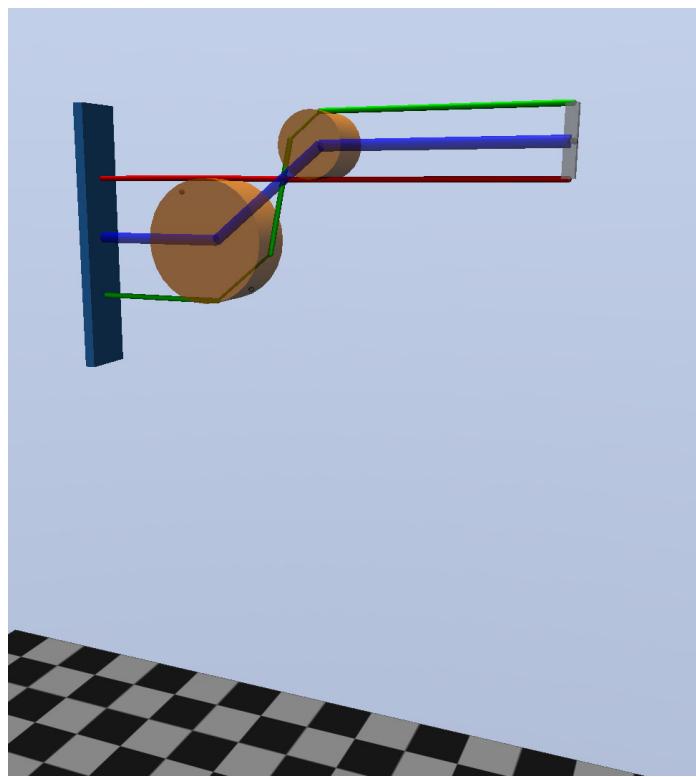


Рисунок 3 – Результат моделирования (каретка в верхнем положении)

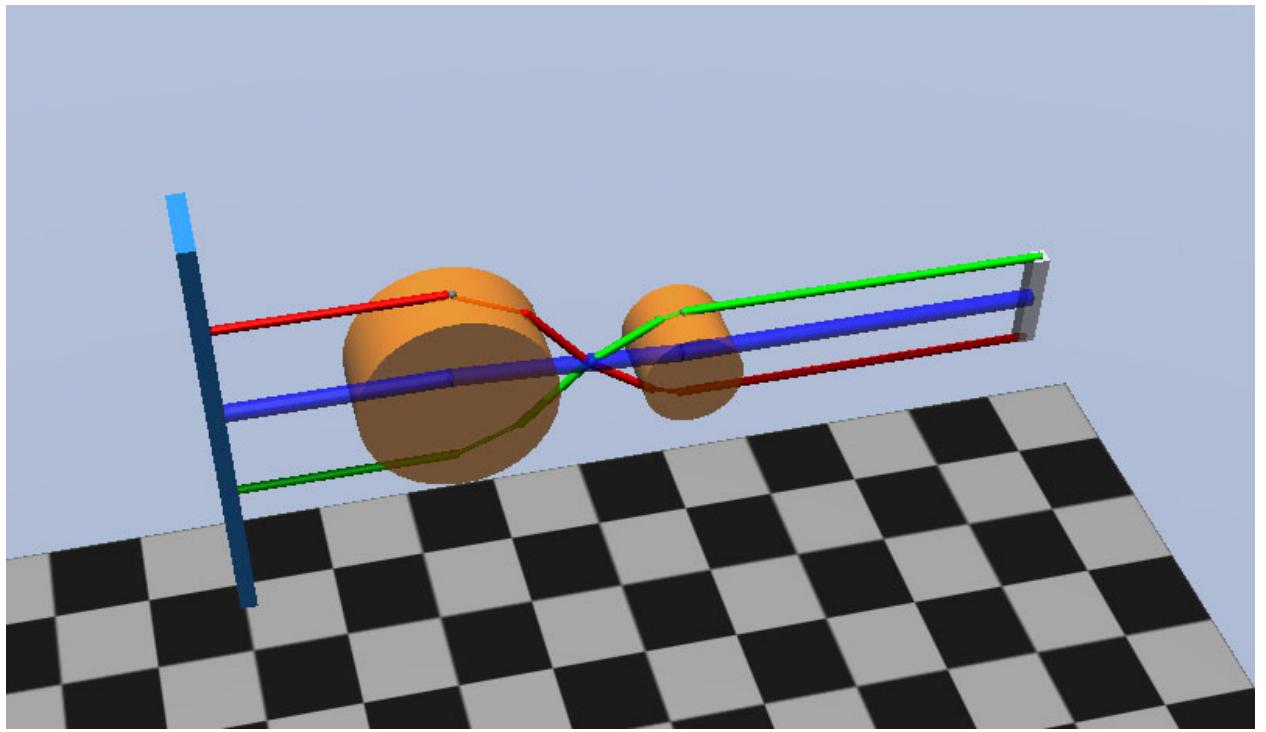


Рисунок 4 – Результат моделирования (каретка в исходном положении)

Снятие графики положения каретки, в плоскости хz производилось при подачи синусоидального сигнала, результат на рисунке 5

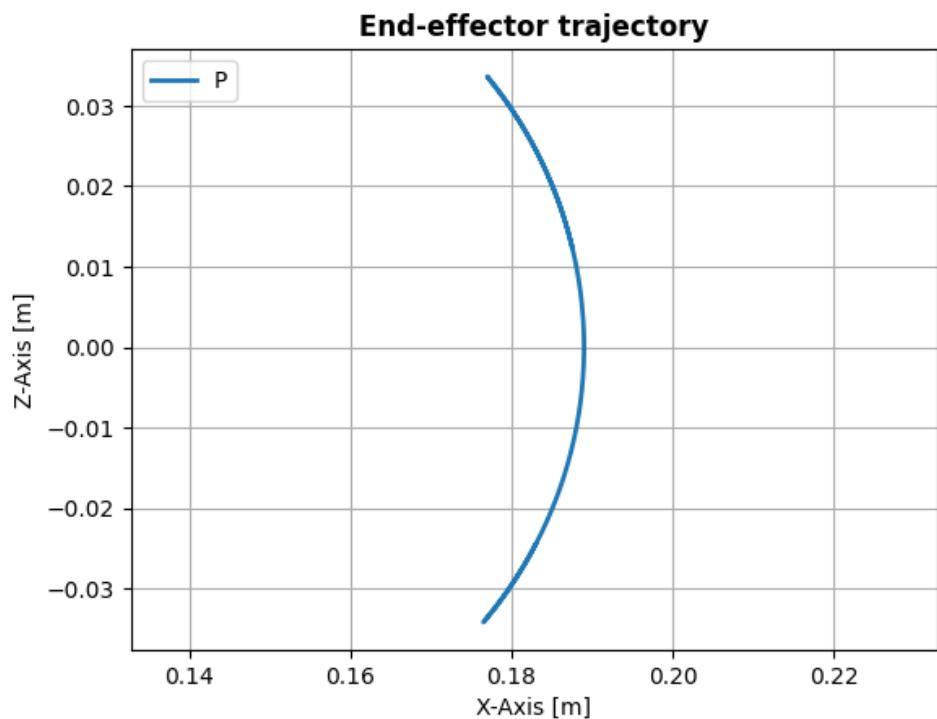


Рисунок 5 – График положения каретки

Выводы

В результате работы была создана модель 2R механизма с тендовым приводом в среде MuJoCo. Моделирование показало, что механизм функционирует корректно — каретка сохраняет вертикальное положение при перемещениях, а тендоны следуют ожидаемому поведению.

Использование фиктивных точек и ограничений позволило обеспечить требуемое поведение системы. Проведенное моделирование с синусоидальным воздействием подтвердило ожидаемый характер движения каретки. Разработанная модель может быть использована для дальнейшей разработки системы управления.

Приложение А

Листинг А.1 – XML

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

<mujoco>

    <!-- Параметры 2R механизма -->
    R1, m  R2, m  a, m  b, m  c, m
    0.045  0.023  0.052  0.084  0.053

    <option timestep="1e-4"/>
    <option integrator="RK4"/>
    <option gravity="0 0 -9.8"/>

    <!-- Настройки сцены -->

    <asset>
        <texture type="skybox" builtin="gradient" rgb1="0.85 0.9 1" rgb2="0.65 0.7 0.8" 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"/>
        <material name="init_mat" rgba="0.85 0.85 0.85 1"/>
        <material name="bright_blue" rgba="0.2 0.6 1 1"/>
    </asset>

    <!-- Создание Объектов -->

    <worldbody>
        <light pos="0 0 10"/>
        <geom type="plane" size="0.5 0.5 0.1" material="grid" pos = "0 0 -0.5"/>
        <camera name="side view" pos="0.1 -1.5 1.0" euler="0 90 0" fovy="60"/>
        <camera name="upper view" pos="0 0 1.5" euler="0 0 0"/>
        <!-- Начальная плоскость -->
        <body name="Init" pos="0 0 0" euler="0 90 0">
            <geom type="box" size=" 0.05 0.01 0.002" material="bright_blue"/>
            <site name="Tendon1_pos" pos="0.0225 0 0" type="sphere" size="0.001"/>
            <site name="Tendon2_pos" pos="-0.0225 0 0" type="sphere" size="0.001"/>
        </body>
    </worldbody>
</mujoco>
```

```

<!-- Создание объекта для удержания каретки в горизонтальном положении -->

<body name="carriage_vertical" pos="0.189 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>

<!-- Создание вложенных объектов, описывающих систему 2R механизма-->

<!-- Первое звено -->

<body name = "Link1" pos = '0 0 0' euler = '0 0 0'>
    <geom type = "cylinder" pos = "0.026 0 0" euler = "0 90 0" mass = "0.001" size="0.002 0.026" rgba="0 0 1 0.5"/>
    <!-- Второе звено -->
    <body name = "Link2" pos = '0.052 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="0.0265 0 0" size="0.002 0.0265" euler="0 90 0" rgba="0 0 1 0.5"/>
    <!-- Блок цилиндр 1 -->
        <geom name="Block1" type="cylinder" size="0.0225 0.01" pos="0 0 0" euler="90 0 0" rgba="1 0.5 0 0.5" mass = "0.001" />
        <site name="Tendon2_b1" pos="0 0 -0.022515" type="sphere" size="0.001"/>
        <site name="Tendon1_b1" pos="0 0 0.022515" type="sphere" size="0.001"/>
        <site name="SB1" pos="0 0 0" type="sphere" size="0.001"/>
    <!-- Третье звено -->
    <body name = "Link3" pos = '0.053 0 0' euler = '0 0 0'>
        <!-- #Создаем Joint -->
        <joint name="B" type="hinge" axis="0 1 0" stiffness="0" springref="0" damping="0" />
        <geom type="cylinder" pos="0.042 0 0" size="0.002 0.042" euler="0 90 0" rgba="0 0 1 0.5" mass = "0.0001" />
        <!-- Блок цилиндр 2 -->
        <geom name="Block2" type="cylinder" size="0.0115 0.01" pos="0 0 0" euler = "90 0 0" mass = "0.001" rgba="1 0.5 0 0.5"/>
        <site name="Tendon1_b2" pos="0 0 0.01150001" type="sphere" size="0.001"/>
        <site name="Tendon2_b2" pos="0 0 -0.01150001" type="sphere" size="0.001"/>
        <site name="SB2" pos="0 0 0" type="sphere" size="0.001"/>

```

```

<site name="carriage" pos="0.084 0 0" type="sphere" size="0.001"/>

<!-- #Создаем Каретку -->

<body name = "Carriage" pos = '0.084 0 0' euler = '0 0 0'>

    <geom type="box" size="0.002 0.002 0.0115" pos="0 0 0" rgba="0.9 0.9 0.9 0.5" mass =
"0.000001"/>

        <!-- #Добавляем sites для тендоов каретки-->

        <site name="Tendon1_end" pos="0 0 0.0115" type="sphere" size="0.001"/>
        <site name="Tendon2_end" pos="0 0 -0.0115" type="sphere" size="0.001"/>

    </body>

</body>

</body>

<!-- Фиктивные точки для корректного построения маршрута тендона -->

<body name="Fictionous point1" pos="0.0785 0 0" >

    <geom type="box" size="0.00001 0.0001 0.0001" contype="0" mass = "0.0001"/>

    <site name="FP1" pos="0 0 0" type="cylinder" size="0.0001 0.00001"/>

    <joint name="F1x" type="slide" axis="1 0 0"/>
    <joint name="F1y" type="slide" axis="0 0 1"/>

</body>

</worldbody>

<!-- Тендон красный -->

<tendon>

    <spatial name = "Tendon1" width = "0.001" stiffness = "100" damping = "2" springlength = "0.0005" rgba="1
0 0 1">

        <site site = "Tendon2_pos"/>
        <geom geom="Block1" sidesite="Tendon1_b1"/>
        <site site = "FP1"/>
        <geom geom="Block2" sidesite="Tendon2_b2"/>
        <site site="Tendon2_end"/>

    </spatial>

</tendon>

<!-- Тендон зелёный -->

<tendon>

```

```

<spatial name = "Tendon2" width = "0.001" stiffness = "100" damping = "2" springlength = "0.0005" rgba="0
1 0 1">

    <site site = "Tendon1_pos"/>
    <geom geom="Block1" sidesite="Tendon2_b1"/>
    <site site = "FP1"/>
    <geom geom="Block2" sidesite="Tendon1_b2"/>
    <site site="Tendon1_end"/>
</spatial>

</tendon>

<!-- Ограничение удерживающее каретку в горизонтальном положении -->
<equality>
    <connect site1="FP1" site2="SB1"/>
    <connect site1="FP1" site2="SB2"/>
    <weld site1="carriage" site2="carriage_weld" torquescale="1e6"/>
</equality>

<!-- Привода тенденов -->
<actuator>
    <motor name="motor_t1" tendon="Tendon1" gear="1" ctrlrange="-2.5 2.5"/>
    <motor name="motor_t2" tendon="Tendon2" gear="1" ctrlrange="-2.5 2.5"/>
</actuator>

<sensor>
    <framepos objtype="site" objname="carriage"/>
</sensor>

</mujoco>

```

Листинг А.2 – Код решения

```

import mujoco
import mujoco_viewer
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

```

```

import os
from lxml import etree
import mujoco.viewer
import time

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

SIMEND = 20
Timestep = 0.001
STEP_NUM = int(SIMEND / Timestep)
timeseries = np.linspace(0, SIMEND, STEP_NUM)

def set_torque(t):
    A = 30
    data.ctrl[0] = A*np.sin(20*t)
    data.ctrl[1] = -A*np.sin(20*t)

EE_position_x = []
EE_position_z = []
site_id = mujoco.mj_name2id(model, mujoco.mjtObj.mjOBJ_SITE, "carriage")
viewer = mujoco_viewer.MujocoViewer(model,
                                    data,
                                    title="2R",
                                    width=1920,
                                    height=1080)

for i in range(STEP_NUM):
    if viewer.is_alive:
        set_torque(data.time)

    position_EE = data.site_xpos[site_id]
    EE_position_x.append(position_EE[0])

```

```
EE_position_z.append(position_EE[2])

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

else:
    break

viewer.close()

midlength = int(STEP_NUM/2)

plt.clf()
plt.plot(EE_position_x, EE_position_z, '-', linewidth=2, label='P')
plt.title('End-effector trajectory', fontsize=12, fontweight='bold')
plt.legend(loc='upper left')
plt.xlabel('X-Axis [m]')
plt.ylabel('Z-Axis [m]')
plt.axis('equal')
plt.grid()
plt.draw()
```