

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

**ОТЧЕТ  
О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №3**

**по дисциплине «Имитационное моделирование робототехнических  
систем»**

**Выполнил:**  
студент групп № R413бс  
Тихонов В.С.

**Проверил:**  
преподаватель  
Ракшин Е.А.

*Санкт-Петербург, 2025*

# Введение

Имитационное моделирование робототехнических систем представляет собой важный инструмент для анализа и проектирования сложных механизмов, позволяющий исследовать их поведение в виртуальной среде до физической реализации. Одной из ключевых задач в робототехнике является моделирование кинематических цепей, особенно замкнутых механизмов, которые широко применяются в различных областях — от промышленных манипуляторов до бионических протезов и шагающих роботов.

Замкнутые кинематические цепи обладают рядом преимуществ, включая повышенную жесткость, точность позиционирования и лучшую нагрузочную способность по сравнению с разомкнутыми системами. Однако их анализ и моделирование сопряжены с дополнительными сложностями, связанными с наличием избыточных связей и необходимостью учета условий замыкания цепи.

В данной работе рассматривается механизм замкнутой цепи колена робота Оптимуса, который представляет собой пространственную систему с комбинацией вращательных и поступательных кинематических пар. Использование такого механизма позволяет обеспечить требуемую траекторию движения при одновременном распределении нагрузок между несколькими звеньями.

Целью работы является разработка имитационной модели заданного механизма с использованием библиотеки MuJoCo (Multi-Joint dynamics with Contact), которая является мощным инструментом для моделирования динамики многозвенных систем.

# Задание

1. Найти в таблице свои параметры:

L1, m	L2, m	L3, m	L4, m	L5, m
0.047	0.0611	0.0705	0.047	0.235

2. Выбрать один из пассивных механизмов согласно своему списку и смоделировать .xml файлы.

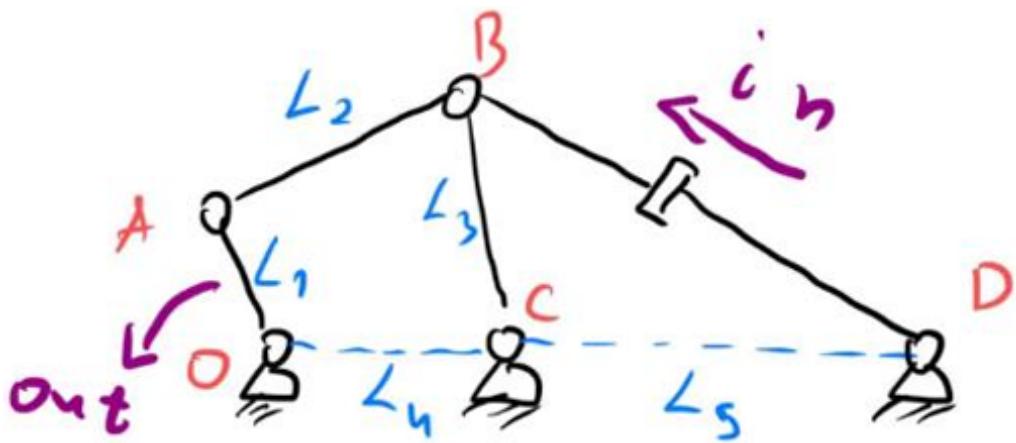


Рис. 1: Механизм замкнутой цепи колена Оптимуса

3. Написать Python скрипт с методами модели, данных и просмотра. Запустить симуляцию.
4. Примеры .xml моделей находятся в папке "Examples".

## Ход работы

1. Был произведен анализ предложенной схемы, вследствие чего было разделено на три элементарных механизма: двузвенник, однозвенник, слайдер , результаты приведены на рис. 2.

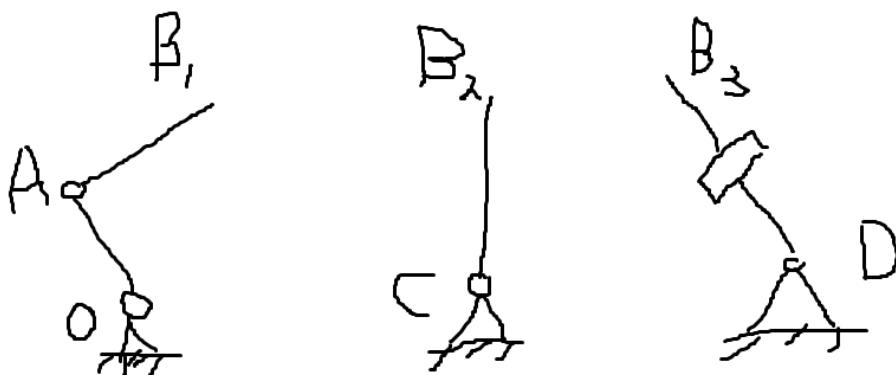


Рис. 2: Исходная конфигурация разомкнутой схемы механизма

2. Программная реализация тел в соответствии с заданными исходными размерами посредством MuJoCo представлена ниже. Для тела DFB3 использовано сочленение типа «slide».

```

1 import mujoco
2 import mujoco_viewer
3 import numpy as np
4 import os
5
6 # XML
7
8 model_xml = """
9 <?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?>
10 <mujoco>
11     <option timestep="1e-3"/>
12     <option gravity="0 0 -9.8"/>
13
14     <asset>
15         <texture type="skybox" builtin="gradient" rgb1="1 1
16             1" rgb2="0.5 0.5 0.5" width="265" height="256"/>
17         <texture name="grid" type="2d" builtin="checker"
18             rgb1="0.1 0.1 0.1" rgb2="0.6 0.6 0.6" width="300"
19             height="300"/>
20         <material name="grid" texture="grid" texrepeat="10
21             10" reflectance="0.2"/>
22     </asset>
23
24     <worldbody>
25
26         <light pos="0 0 10"/>
27         <geom type="plane" size="0.5 0.5 0.1" material="grid"/>
28
29         <body name="OAB1" pos="0 0 1.5" euler="0 0 0">
30
31             <joint name="0" type="hinge" axis="0 -1 0" stiffness
32                 ="0" springref="0" damping="0"/>
33             <geom name="point 0" type="cylinder" pos="0 0 0"
34                 size="0.005 0.005" rgba="0.89 0.14 0.16 0.5"
35                 euler="0 0 0" contype="0"/>
36             <geom name="link OA" type="cylinder" pos="0 0 0.0235
37                 " size="0.005 0.0235" rgba="0.21 0.32 0.82 0.5"
38                 euler="0 0 0" contype="0"/>
39
40             <body name="AB1" pos="0 0 0.047" euler="0 0 0">

```

```

32
33         <joint name="A" type="hinge" axis="0 -1 0"
34             stiffness="0" springref="0" damping="0.1"/>
35         <geom name="point B" type="cylinder" pos="0 0 0"
36             size="0.005 0.005" rgba="0.89 0.14 0.16 0.5"
37             euler="0 0 0" contype="0"/>
38         <geom name="link AB1" type="cylinder" pos="0 0
39             0.03055" size="0.005 0.03055" rgba="0.21 0.32
40             0.82 0.5" euler="0 0 0" contype="0"/>
41         <site name="sC1" size="0.005" pos="0 0 0.0611"/>
42
43     </body>
44
45 </body>
46
47 <body name="CB2" pos="0.047 0 1.5" euler="0 0 0">
48
49     <joint name="C" type="hinge" axis="0 -1 0" stiffness
50         ="0" springref="0" damping="0.1"/>
51     <geom name="point C" type="cylinder" pos="0 0 0"
52         size="0.005 0.005" rgba="0.89 0.14 0.16 0.5"
53         euler="0 0 0" contype="0"/>
54     <geom name="link CB2" type="cylinder" pos="0 0
55         0.03525" size="0.005 0.03525" rgba="0.21 0.32
56         0.82 0.5" euler="0 0 0" contype="0"/>
57     <site name="sC2" size="0.005" pos="0 0 0.0705"/>
58
59 </body>
60
61 <body name="DFB3" pos="0.282 0 1.5" euler="0 0 0">
62
63     <joint name="D" type="hinge" axis="0 -1 0" stiffness
64         ="0" springref="0" damping="0"/>
65     <geom name="point D" type="cylinder" pos="0 0 0"
66         size="0.005 0.005" rgba="0.89 0.14 0.16 0.5"
67         euler="0 0 0" contype="0"/>
68     <geom name="link DB3" type="cylinder" pos="0 0
69         0.0235" size="0.005 0.0235" rgba="0.21 0.32 0.82
70         0.5" euler="0 0 0" contype="0"/>
71
72 <body name="FB3" pos="0 0 0.0235" euler="0 0 0">

```

```

58
59      <joint name="slider" type="slide" axis="0 0 1"
60          limited="true" range="-0.2 0.2" stiffness="0"
61          springref="0" damping="0"/>
62      <geom name="point B3" type="cylinder" pos="0 0 0
63          " size="0.005 0.005" rgba="0.89 0.14 0.16 0.5
64          " euler="0 0 0" contype="0"/>
65      <geom name="link FB3" type="cylinder" pos="0 0
66          0.1175" size="0.005 0.1175" rgba="0.21 0.32
67          0.82 0.5" euler="0 0 0" contype="0"/>
68      <site name="sC3" size="0.005" pos="0 0 0.235"/>
69
70    </body>
71
72  </body>
73
74</worldbody>
75
76
77<actuator>
78    <motor name="motor_O" joint="O" gear="1"/>
79    <motor name="motor_A" joint="A" gear="1"/>
80    <motor name="motor_C" joint="C" gear="1"/>
81    <motor name="motor_slider" joint="slider" gear="1"/>
82</actuator>
83
84
85<equality>
86    <connect site1="sC1" site2="sC2"/>
87    <connect site1="sC1" site2="sC3"/>
88</equality>
89
90</mujoco>
91
92"""
93
94#
95
96with open('knee_mechanism.xml', 'w') as f:
97    f.write(model_xml)
98
99#
100model = mujoco.MjModel.from_xml_path('knee_mechanism.xml')
101data = mujoco.MjData(model)

```

```

92
93 #           viewer                         GUI
94 viewer = mujoco_viewer.MujocoViewer(model, data)
95
96 #
97 data.qpos[0] = 0.3  #
98             0
99 #
100 time_counter = 0
101
102 #
103 try:
104     while viewer.is_alive:
105         # #
106
107         # time_counter += 1
108         # data.ctrl[0] = 0.05 * np.sin(0.02 * time_counter)
109             #                                     0
110
111         # #
112
113         # if np.random.random() < 0.02:
114             #       data.ctrl[1] = np.random.uniform(-0.02, 0.02)
115                 #                                     A
116             # if np.random.random() < 0.02:
117                 #       data.ctrl[2] = np.random.uniform(-0.02, 0.02)
118                     #                                     C
119
120         #
121         mujoco.mj_step(model, data)
122
123         #
124         viewer.render()
125
126 finally:
127     viewer.close()

```

```

123  #
124  if os.path.exists('knee_mechanism.xml'):
125      os.remove('knee_mechanism.xml')

```

3. Результаты работы программы представлены на рисунках ниже.

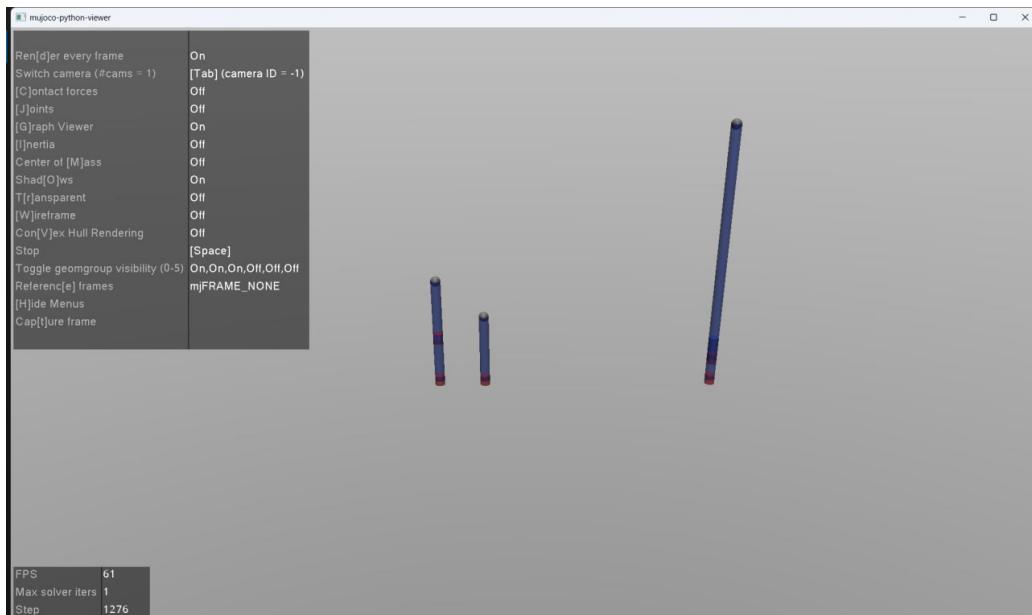


Рис. 3: Конфигурация разомкнутого механизма

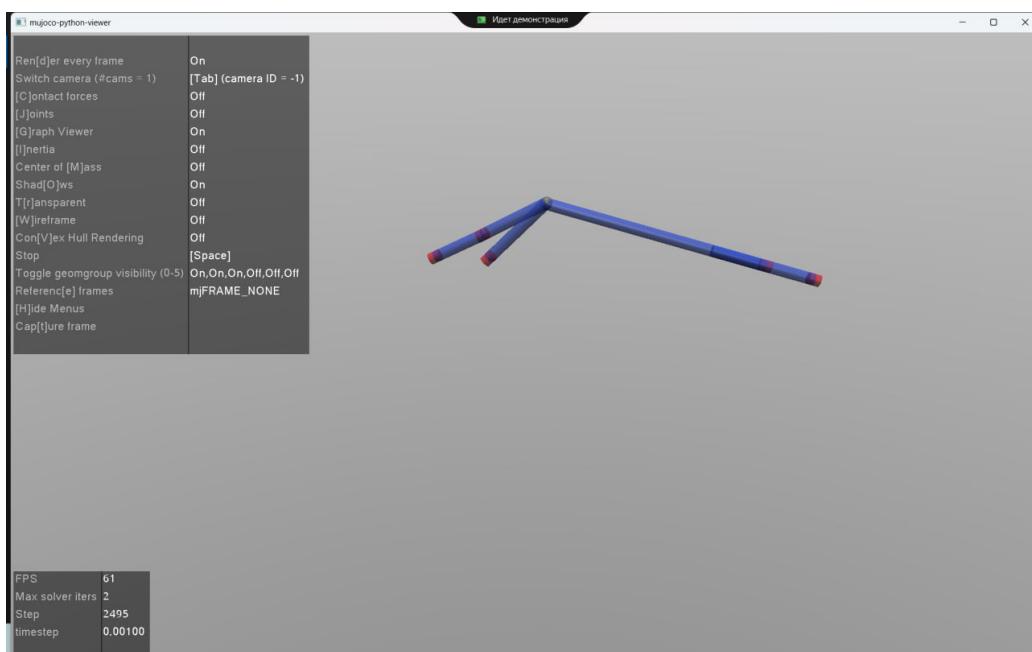


Рис. 4: Конфигурация замкнутого механизма

## **Вывод**

В результате выполнения практической работы №3 был успешно реализован имитационный механизм замкнутой кинематической цепи колена робота Оптимуса с использованием библиотеки MuJoCo. Проведен анализ исходной кинематической схемы, построена конфигурация механизма, что позволило определить взаимосвязи между звеньями и сочленениями. Таким образом, в ходе работы были получены практические навыки моделирования сложных кинематических систем средствами MuJoCo, что составляет основу для дальнейшей работы в области проектирования и анализа робототехнических устройств.