

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  
по практическому заданию №3

по дисциплине:  
Имитационное моделирование робототехнических систем

Студент:  
*Группа № R4134с*

*К.С. Хитушкин*

Предподаватель:  
*Ассистент ФСУиР*

*Е.А. Ракин*

Санкт-Петербург  
2025

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1   ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ .....	4
1.1   Построение модели.....	4
1.2   Проверка работы модели .....	6
ВЫВОД.....	7

## ВВЕДЕНИЕ

### Цель работы:

Освоить моделирование плоских механизмов в среде MuJoCo.

### Задание:

В рамках практического задания необходимо:

1. Реализовать модель заданного механизма в xml.
2. Проверить модель на корректность работы в симуляции.

Заданная система представлена на рисунке 1.

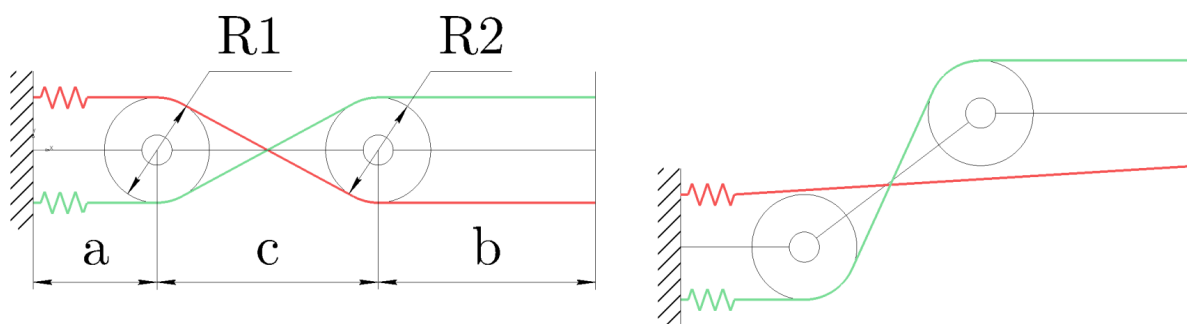


Рисунок 1 — Заданная система

Заданные параметры механизма:

$$R_1 = 0.025 \text{ м}, \quad R_2 = 0.049 \text{ м}, \quad a = 0.068 \text{ м}, \quad b = 0.056 \text{ м}, \quad c = 0.091 \text{ м}.$$

# 1 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

## 1.1 Построение модели

В файле `tendon.py` реализована функция `generate_tendon_xml`, которая формирует параметризованную XML-строку, описывающую модель механизма. Эта функция принимает геометрические параметры и возвращает документ XML.

Каждое тело модели определяется с указанием позиции, ориентации и вложенной геометрии. Основная часть механизма определяется следующим образом:

```
<body name="link1" pos="0 0 0" euler="0 0 0">
  ...
  <body name="link2" pos="{a} 0 0" euler="0 0 0">
    ...
    <body name="link3" pos="{c} 0 0" euler="0 0 0">
      ...
    </body>
  </body>
</body>
```

Тросы определяются с помощью элемента `spatial` и соединяют соответствующие узлы. Пример одного из тросов:

```
<tendon>
  <spatial name="tendon1_1" width="0.001"
    stiffness="{stiffness}" damping="10"
    springlength="0.005">
    <site site="t1_wall"/>
    <geom geom="pulley1" sidesite="side_r1_t1"/>
    <site site="t1_mid"/>
    <geom geom="pulley2" sidesite="side_r2_t1"/>
    <site site="t1_end"/>
  </spatial>
```

</tendon>

Для соединения тросов между двух шкивов используются промежуточные тела с минимальной массой, чтобы они не вносили существенного влияния на динамику, при этом обеспечивая корректную передачу сил. Например, тело `mid_body_t1` задаётся так:

```
<body name="mid_body_t1" pos="{a + c / 2} 0 0">
  <site name="t1_mid" pos="0 0 0" type="sphere" size="0.001"/>
  <joint name="mid_joint_x_t1" type="slide" axis="1 0 0"/>
  <joint name="mid_joint_y_t1" type="slide" axis="0 0 1"/>
  <geom type="sphere" size="0.002" mass="0.0001"
    rgba="0.86 0.43 0.54 0.5" contype="0"/>
</body>
```

Чтобы промежуточные тела не смещались к краям пружин, что может нарушить работу со шкивами, добавлены следующие ограничения, которые удерживают их между шкивами:

```
<equality>
  <connect site1="t1_mid" site2="pulley1_side"/>
  <connect site1="t1_mid" site2="pulley2_side"/>
</equality>
```

Для эффектора используется ограничение типа `weld`, фиксирующее его к вспомогательному телу `effector_world`, которое удерживает последнее звено в горизонтальном положении:

```
<equality>
  <weld site1="effector" site2="effector_world" torquescale="100"/>
</equality>
```

Вид итоговой модели механизма в MuJoCo представлен на рисунке 2.

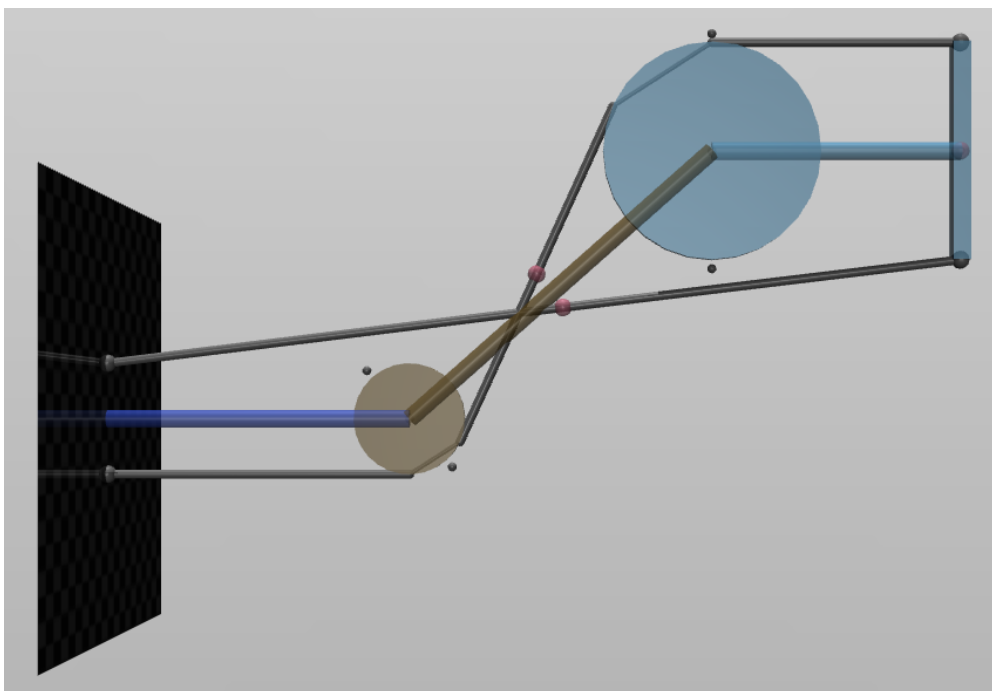


Рисунок 2 — Вид разработанной модели механизма в произвольном положении

## 1.2 Проверка работы модели

Для тестов на тросы были добавлены моторы и подан управляющий сигнал в виде функции синуса. Траектория движения эффектора представлена на рисунке 3 и соответствует ожидаемому поведению.

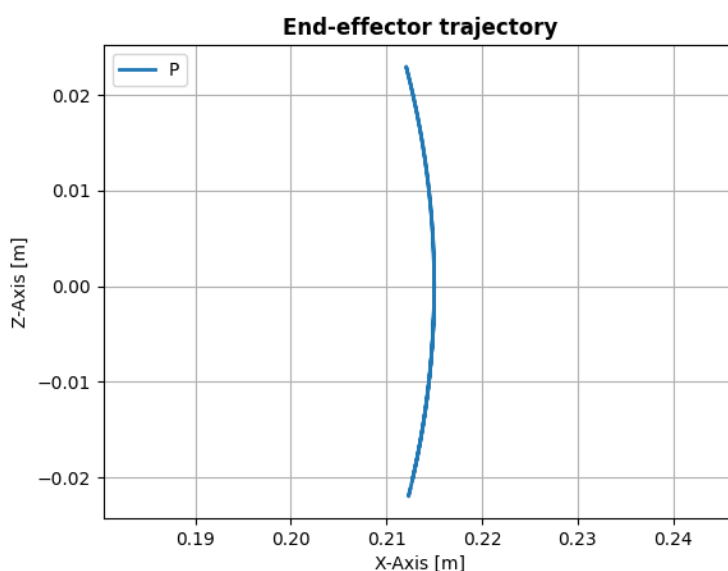


Рисунок 3 — Траектория эффектора механизма для произвольного управляющего сигнала

## **ВЫВОД**

В ходе работы была разработана модель планарного тросового механизма в среде MuJoCo. Проведено построение тел и тросов с учётом промежуточных звеньев и ограничений, обеспечивающих корректную передачу сил и фиксацию ориентации эффектора. Тестирование модели с управляющими сигналами показало, что траектория эффектора соответствует ожидаемой, подтверждая корректность построения модели.