

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

Практическая работа №3  
по дисциплине  
*«Имитационное моделирование робототехнических систем»*

Студен:

*Группа R4134с*

*И. Ковылин*

Преподаватель:

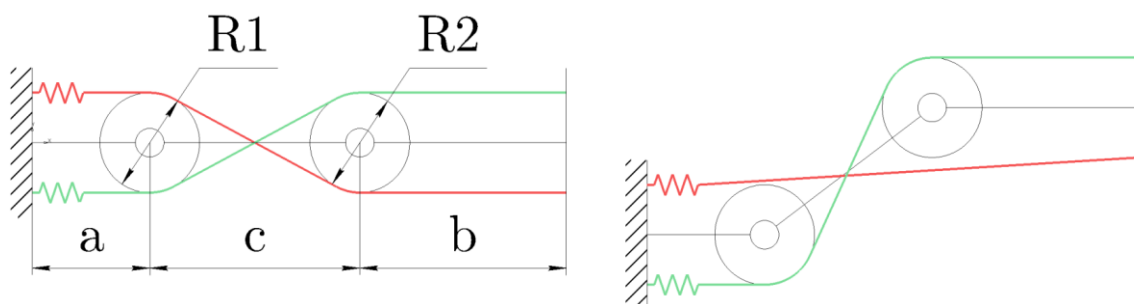
*Ассистент*

*Е.А. Ракишин*

Санкт-Петербург 2025 г.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

- Разработать модели согласно рисунку и реализовать *методы model, data* и *viewer*.



## ЛИСТИНГ ПРОГРАММ

```
1  import mujoco
2  import mujoco.viewer
3  import numpy as np
4  import os
5  import time
6
7  R1 = 0.020      # Радиус первого шкива
8  R2 = 0.014      # Радиус второго шкива
9  a = 0.039       # Расстояние от левой стенки до центра block1
10 b = 0.065        # Расстояние от центра block2 до нагрузки
11 c = 0.077        # Расстояние между центрами шкивов
12
13 def crossed_tangent_points(c1, r1, c2, r2): # Возвращает точки касания двух перекрёстных касательны
14
15     c1, c2 = np.asarray(c1), np.asarray(c2)
16     d_vec = c2 - c1
17     d = np.linalg.norm(d_vec)
18     if d < 1e-8:
19         return None
20
21     # Единичный вектор от c1 к c2 и перпендикуляр
22     u = d_vec / d
23     v = np.array([-u[1], u[0]]) # поворот на 90° против часовой
24
25     # Эффективный радиус второго шкива для внутренних касательных – отрицательный
26     r2_eff = -r2
27     denom = r1 - r2_eff # = r1 + r2
28
29     # Косинус угла между линией центров и направлением на точку касания
30     cos_alpha = denom / d
31     if abs(cos_alpha) > 1.0:
32         return None
33     sin_alpha = np.sqrt(1 - cos_alpha**2)
34
35     points = []
36     for sign in [1, -1]:
37         direction = cos_alpha * u + sign * sin_alpha * v
38         p1 = c1 + r1 * direction
39         p2 = c2 + r2_eff * direction
40         points.append((p1, p2))
41     return points
42
```

Рисунок 1.1 – листинг скрипта на python

```

44 def update_tendon_sites(model, data):
45     block1_pos = data.body("body_block1").xpos[:2]
46     block2_pos = data.body("body_block2").xpos[:2]
47
48     tangents = crossed_tangent_points(block1_pos, R1, block2_pos, R2)
49     if tangents is None:
50         return
51
52     # Сортируем по Y на первом шкиве: t1 – верхняя, t2 – нижняя
53     tangents = sorted(tangents, key=lambda t: t[0][1], reverse=True)
54     (t1_b1, t1_b2), (t2_b1, t2_b2) = tangents
55
56     z = 0.0
57     # Преобразуем глобальные координаты в локальные относительно тела
58     def global_to_body(pos_global, body_name):
59         xpos = data.body(body_name).xpos
60         xmat = data.body(body_name).xmat.reshape(3, 3)
61         vec = np.array([pos_global[0], pos_global[1], z]) - xpos
62         return xmat.T @ vec
63
64     # block1
65     data.qpos[model.joint("t1_b1_x").qposadr[0]:model.joint("t1_b1_x").qposadr[0]+2] = global_to_body(t1_b1, "body_block1")[:2]
66     data.qpos[model.joint("t2_b1_x").qposadr[0]:model.joint("t2_b1_x").qposadr[0]+2] = global_to_body(t2_b1, "body_block1")[:2]
67
68     # block2
69     data.qpos[model.joint("t1_b2_x").qposadr[0]:model.joint("t1_b2_x").qposadr[0]+2] = global_to_body(t1_b2, "body_block2")[:2]
70     data.qpos[model.joint("t2_b2_x").qposadr[0]:model.joint("t2_b2_x").qposadr[0]+2] = global_to_body(t2_b2, "body_block2")[:2]
71
72
73 def control_callback(model, data):
74
75     # Синусоидальная нагрузка
76     amplitude = 0.06
77     period = 3.0
78     data.ctrl[0] = amplitude * np.sin(2 * np.pi * data.time / period)
79
80     # Обновляем точки касания перед каждым шагом физики
81     update_tendon_sites(model, data)
82
83 if __name__ == "__main__":
84     dir_path = os.path.dirname(os.path.abspath(__file__))
85     model_path = os.path.join(dir_path, "model.xml")
86
87     model = mujoco.MjModel.from_xml_path(model_path)
88     data = mujoco.MjData(model)
89
90     mujoco.set_mjcb_control(control_callback)
91
92     with mujoco.viewer.launch(model, data) as viewer:
93         while viewer.is_running():
94             viewer.sync()
95             time.sleep(0.001)

```

Рисунок 1.2 – листинг скрипта на python

```

1  <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
2  <mujoco model="2R Crossed Belt Mechanism">
3
4      <option timestep="0.0001" gravity="0 0 -9.81"/>
5
6      <asset>
7          <texture name="grid" type="2d" builtin="checker" rgb1=".1 .1 .1" rgb2=".6 .6 .6" width="300" height="300"/>
8          <material name="grid" texture="grid" texrepeat="8 8" reflectance="0.2"/>
9      </asset>
10
11     <worldbody>
12         <light pos="0 0 5" dir="0 0 -1"/>
13         <geom type="plane" size="2 2 0.1" material="grid"/>
14
15         <body name="base" pos="0 0 0">
16
17             <!-- Левый неподвижный шкив -->
18             <body name="body_block1" pos="0.039 0 0"><!-- a = 0.039 м -->
19                 <geom name="block1" type="cylinder" size="0.020 0.010" rgba="0.2 0.6 1 1"/> <!-- R1 = 0.020 м -->
20
21                 <!-- Двигающиеся точки касания -->
22                 <body name="t1_block1_body" pos="0 0 0">
23                     <joint name="t1_b1_x" type="slide" axis="1 0 0" limited="false"/>
24                     <joint name="t1_b1_y" type="slide" axis="0 1 0" limited="false"/>
25                     <geom type="sphere" size="0.003" rgba="0 1 0 0.8"/>
26                     <site name="t1_block1" size="0.004" group="3"/>
27                 </body>
28                 <body name="t2_block1_body" pos="0 0 0">
29                     <joint name="t2_b1_x" type="slide" axis="1 0 0" limited="false"/>
30                     <joint name="t2_b1_y" type="slide" axis="0 1 0" limited="false"/>
31                     <geom type="sphere" size="0.003" rgba="1 0 0 0.8"/>
32                     <site name="t2_block1" size="0.004" group="3"/>
33                 </body>
34
35                 <site name="s1_b1" pos="0 0.022 0" size="0.003" group="2"/>
36                 <site name="s2_b1" pos="0 -0.022 0" size="0.003" group="2"/>
37             </body>
38
39             <!-- Правый подвижный шкив -->
40             <body name="body_block2" pos="0.116 0 0"><!-- 0.039 + 0.077 -->
41                 <joint name="block2_y" type="slide" axis="0 1 0"
42                     limited="true" range="-0.09 0.09" damping="0.5"/>
43
44                 <geom name="block2" type="cylinder" size="0.014 0.010" rgba="1 0.6 0.2 1"/> <!-- R2 = 0.014 м -->
45
46                 <body name="t1_block2_body" pos="0 0 0">
47                     <joint name="t1_b2_x" type="slide" axis="1 0 0" limited="false"/>
48                     <joint name="t1_b2_y" type="slide" axis="0 1 0" limited="false"/>

```

Рисунок 2.1 – листинг xml файла

```

49     <geom type="sphere" size="0.003" rgba="0 0 1 0.8"/>
50     <site name="t1_block2" size="0.004" group="3"/>
51   </body>
52   <body name="t2_block2_body" pos="0 0 0">
53     <joint name="t2_b2_x" type="slide" axis="1 0 0" limited="false"/>
54     <joint name="t2_b2_y" type="slide" axis="0 1 0" limited="false"/>
55     <geom type="sphere" size="0.003" rgba="1 1 0 0.8"/>
56     <site name="t2_block2" size="0.004" group="3"/>
57   </body>
58
59   <site name="s1_b2" pos="0 -0.016 0" size="0.003" group="2"/>
60   <site name="s2_b2" pos="0 0.016 0" size="0.003" group="2"/>
61
62   <!-- Нагрузка -->
63   <body name="load" pos="0.065 0 0"><!-- b = 0.065 м -->
64     <geom type="box" size="0.005 0.04 0.025" rgba="0.7 0.7 0.7 1"/>
65     <site name="s1_load" pos="0 -0.03 0" size="0.004" group="2"/>
66     <site name="s2_load" pos="0 0.03 0" size="0.004" group="2"/>
67   </body>
68 </body>
69
70 <!-- Левая стенка -->
71 <body name="left_wall" pos="-0.005 0 0">
72   <geom type="box" size="0.005 0.05 0.03" rgba="0.7 0.7 0.7 1"/>
73   <site name="s1_base" pos="0 0.042 0" size="0.004" group="2"/>
74   <site name="s2_base" pos="0 -0.042 0" size="0.004" group="2"/>
75 </body>
76 </body>
77 </worldbody>
78
79 <tendon>
80   <spatial limited="false" width="0.003" rgba="0 1 0 1">
81     <site site="s1_base"/>
82     <geom geom="block1" sidesite="s1_b1"/>
83     <site site="t1_block1"/>
84     <site site="t1_block2"/>
85     <geom geom="block2" sidesite="s1_b2"/>
86     <site site="s1_load"/>
87   </spatial>
88
89   <spatial limited="false" width="0.003" rgba="1 0 0 1">
90     <site site="s2_base"/>
91     <geom geom="block1" sidesite="s2_b1"/>
92     <site site="t2_block1"/>
93     <site site="t2_block2"/>
94     <geom geom="block2" sidesite="s2_b2"/>
95     <site site="s2_load"/>
96   </spatial>
97 </tendon>
98
99 <actuator>
100   <position joint="block2_y" kp="5" name="load_actuator"/>
101 </actuator>
102 </mujoco>

```

Рисунок 2.2 – листинг xml файла

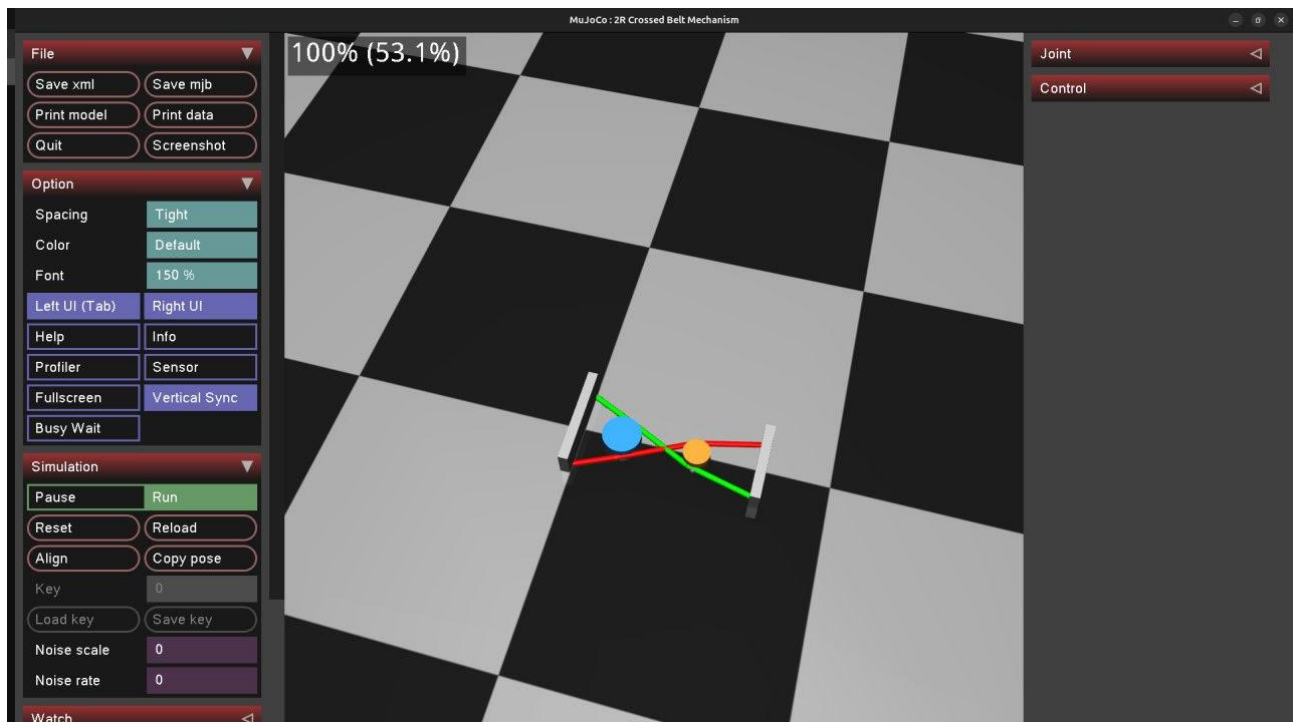


Рисунок 3.1 – внешний вид модели

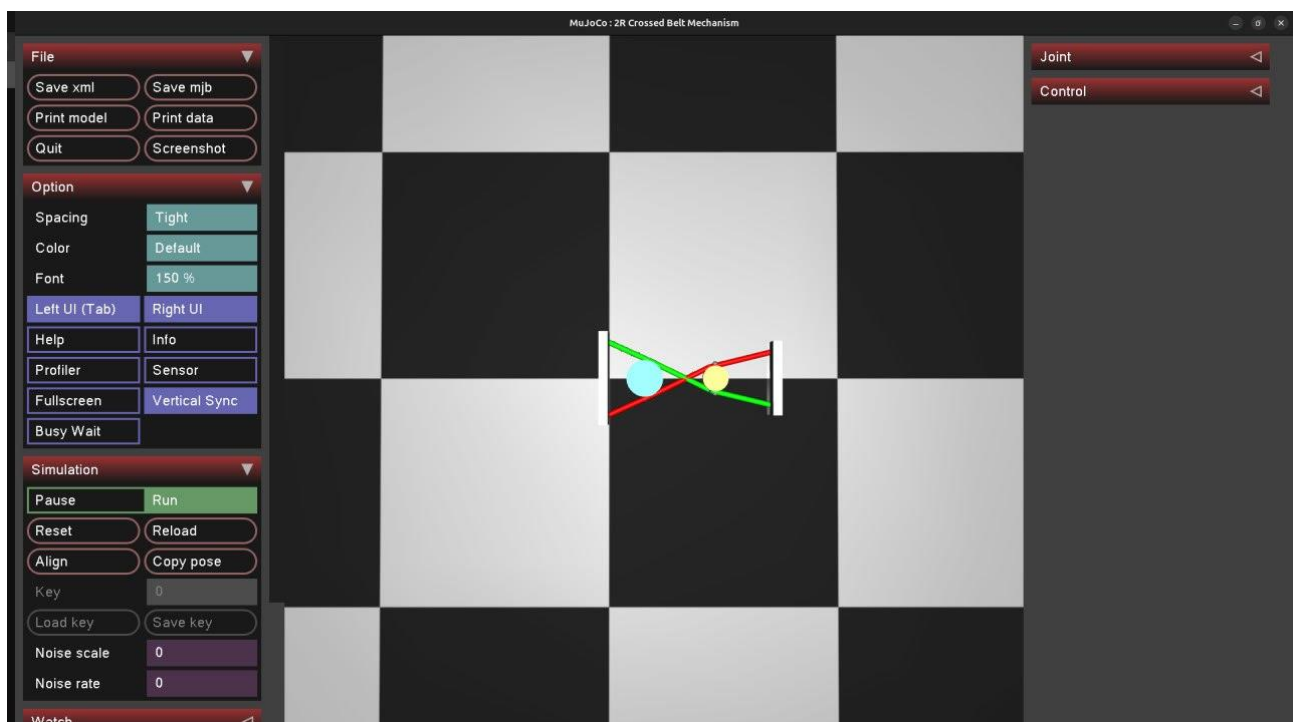


Рисунок 3.2 – внешний вид модели

## ВЫВОД.

В данной работе была разработана модель сухожильно-связанного 2R плоского механизма с помощью библиотеки MuJoCo.