

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 R4134c

I. Ковылин

Преподаватель:

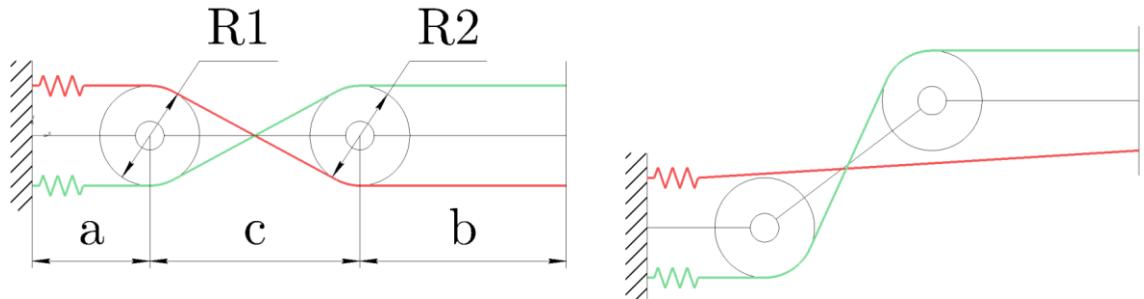
Ассистент

E.A. Ракин

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     def control_callback(model, data):
73
74         # Синусоидальная нагрузка
75         amplitude = 0.06
76         period = 3.0
77         data.ctrl[0] = amplitude * np.sin(2 * np.pi * data.time / period)
78
79         # Обновляем точки касания перед каждым шагом физики
80         update_tendon_sites(model, data)
81
82     if __name__ == "__main__":
83         dir_path = os.path.dirname(os.path.abspath(__file__))
84         model_path = os.path.join(dir_path, "model.xml")
85
86         model = mujoco.MjModel.from_xml_path(model_path)
87         data = mujoco.MjData(model)
88
89         mujoco.set_mjcb_control(control_callback)
90
91         mujoco.set_mjcb_control(control_callback)
92
93         with mujoco.viewer.launch(model, data) as viewer:
94             while viewer.is_running():
95                 viewer.sync()
96                 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

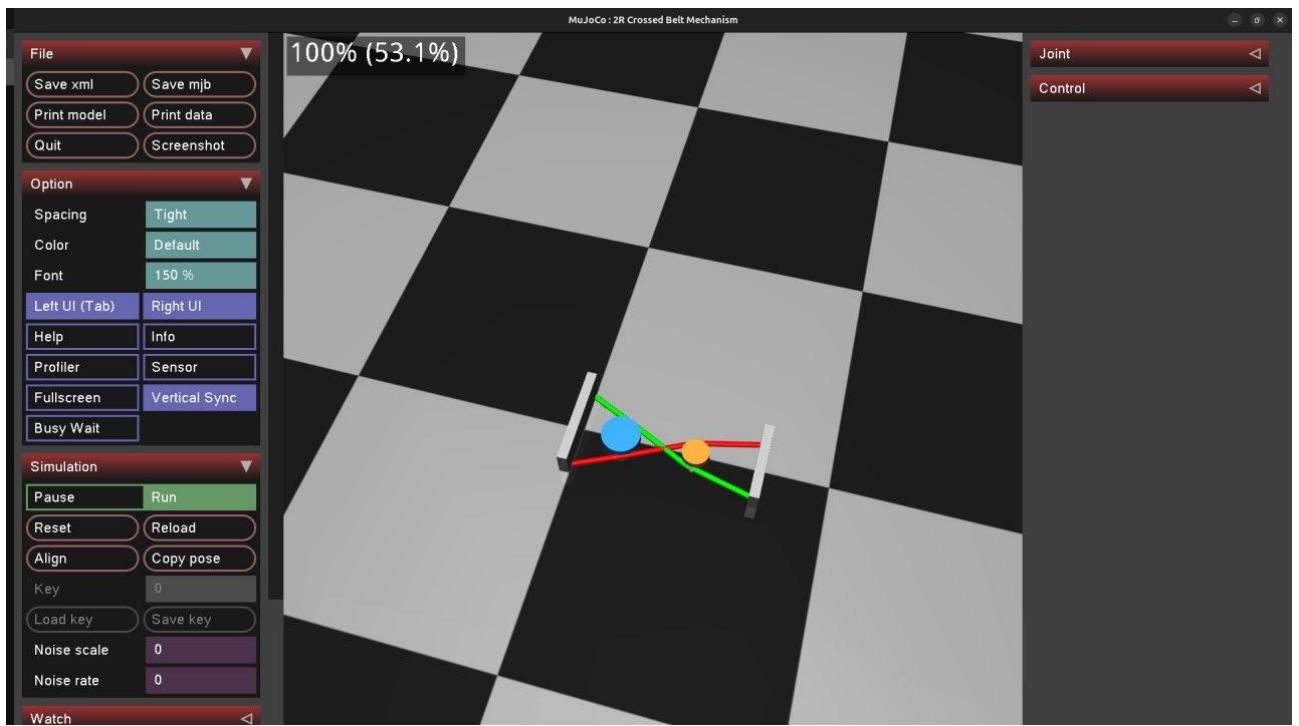


Рисунок 3.1 – внешний вид модели

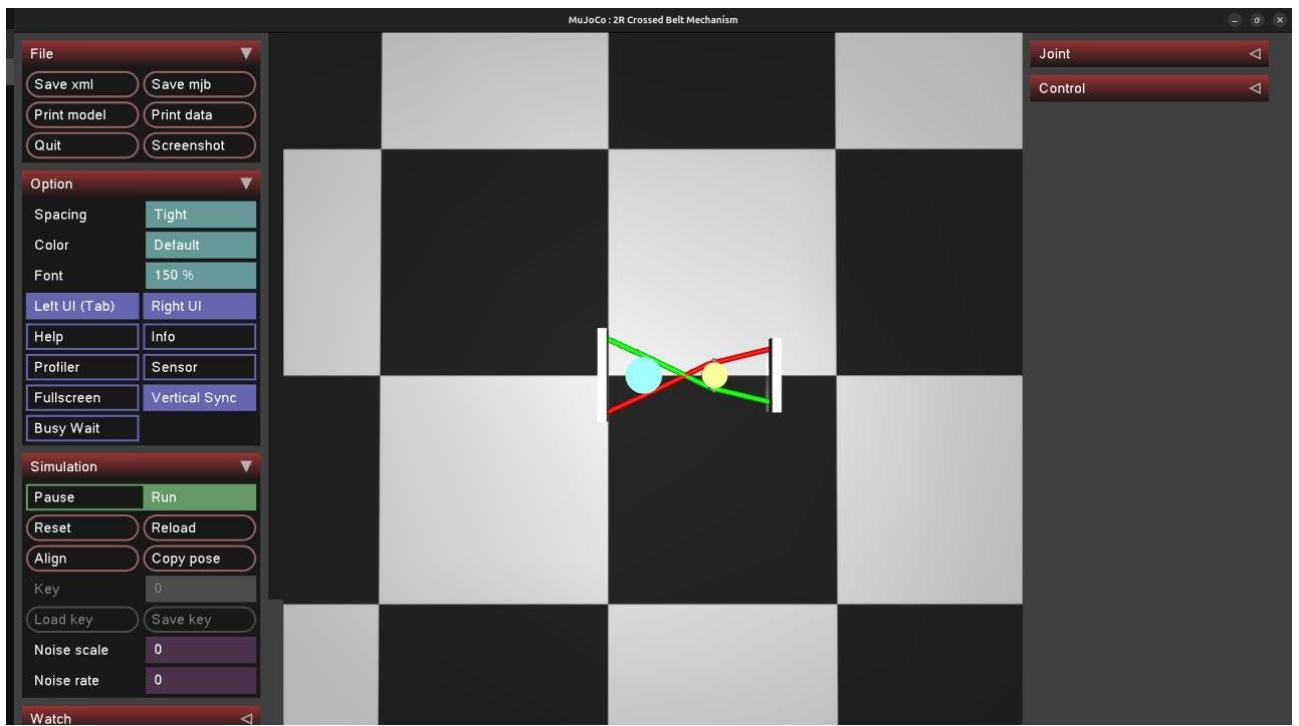


Рисунок 3.2 – внешний вид модели

ВЫВОД.

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