

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 №4
по дисциплине
«Имитационное моделирование робототехнических систем»

Студент:

Группа R4135с

Амансахедов М.М.

Преподаватель:

Ассистент

Е.А. Ракишин

Санкт-Петербург 2025 г.

ХОД РАБОТЫ.

1. Данные по условию задачи параметры (м):

$$L_{AB} = 0.036; L_{AB} = 0.0468; L_{AB} = 0.054; L_{AB} = 0.036; L_{AB} = 0.18$$
$$A = 21.06; f = 1.87 \text{ Hz}; b = 38.5$$

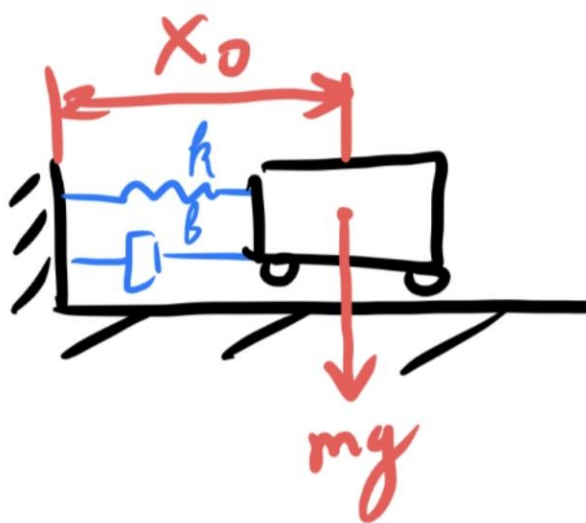


Рисунок 1 – Вариант 2

2. Вид механизма;

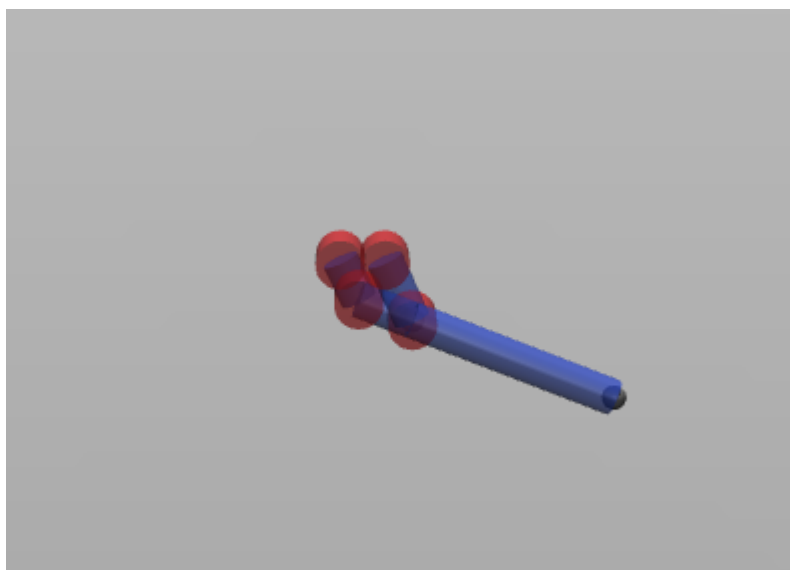


Рисунок 2 - Вид механизма

3. Результаты моделирования.

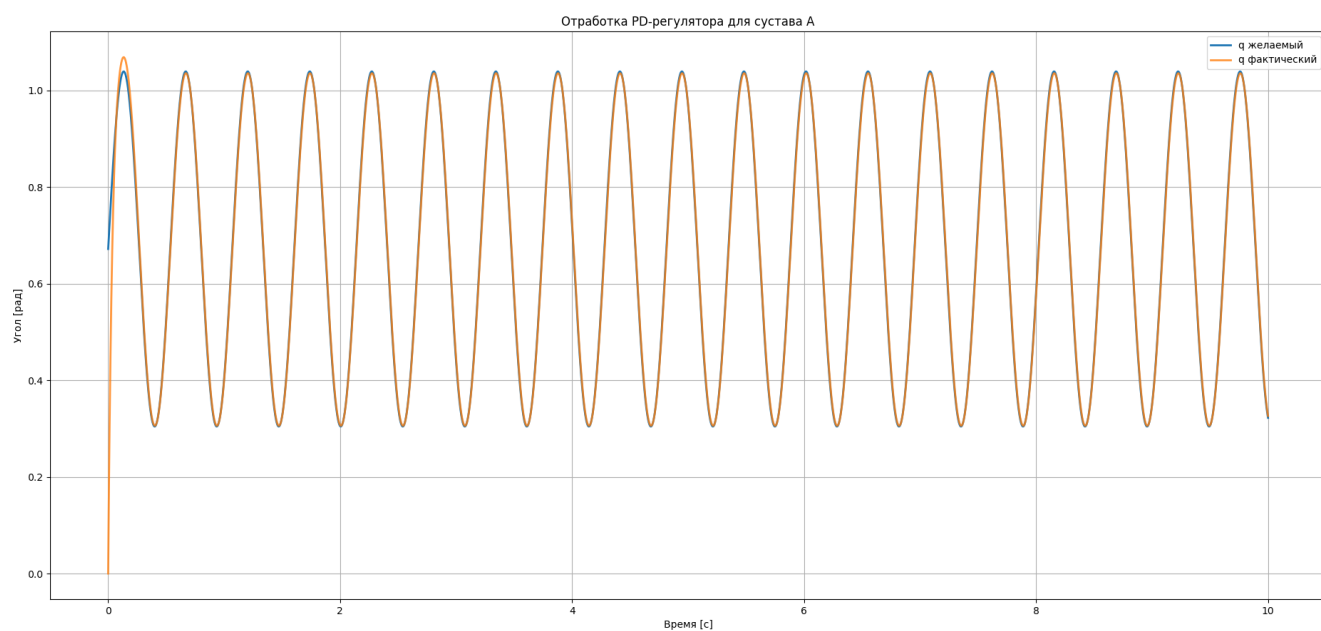


График q желательное, q фактическое

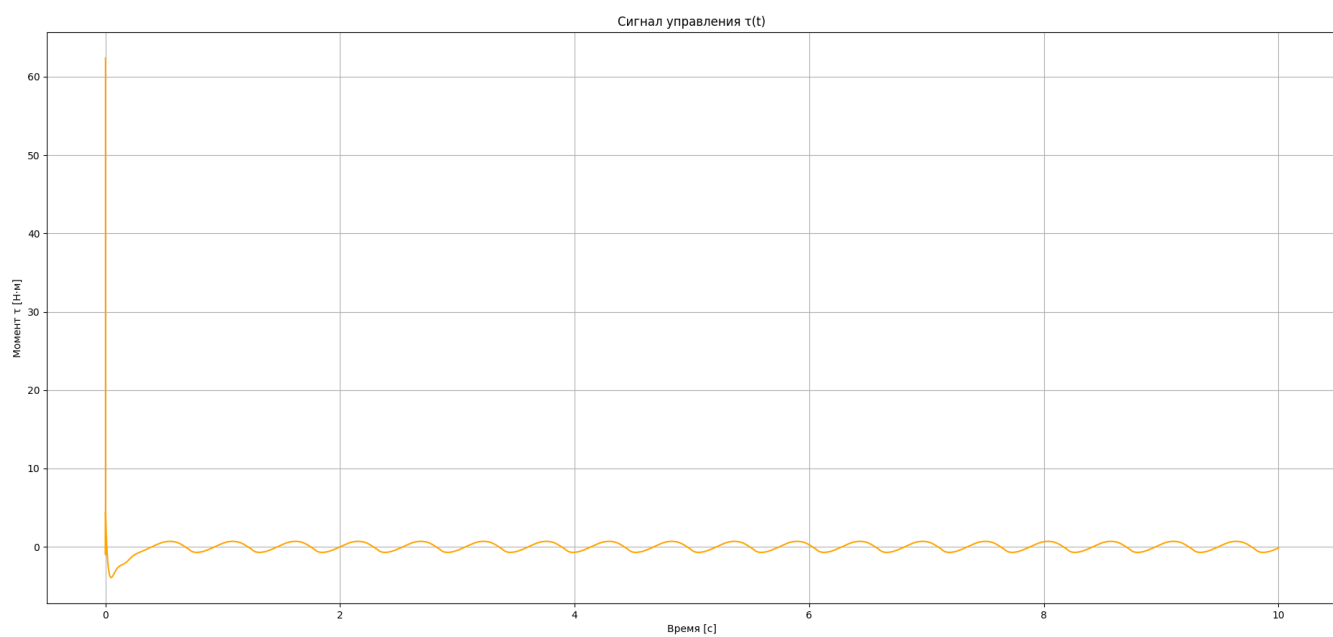


График сигнала управления

Вывод.

В ходе работы была модернизирована модель коленного механизма Optimus, созданная в предыдущем задании. Полученные графики изменения положения сустава и управляющего момента подтверждают, что выбранные коэффициенты ПД-регулятора обеспечивают устойчивое и качественное управление механизмом. Таким образом, поставленные цели работы достигнуты — модель оптимуса была успешно активирована, механизм демонстрирует корректное поведение под действием управления, а синусоидальная траектория уверенно отслеживается.

Приложение

.py файл

```
import numpy as np
import mujoco
import mujoco.viewer
import matplotlib.pyplot as plt

AMP_deg = 21.06
FREQ_hz = 1.87
BIAS_deg = 38.5

AMP = np.deg2rad(AMP_deg)
BIAS = np.deg2rad(BIAS_deg)
omega = 2 * np.pi * FREQ_hz

Kp = 80.0
Kd = 2.0

SIM_TIME = 10.0

xml_path = "4bar.xml"
model = mujoco.MjModel.from_xml_path(xml_path)
data = mujoco.MjData(model)

joint_name = "A"
joint_id = mujoco.mj_name2id(model, mujoco.mjtObj.mjOBJ_JOINT, joint_name)
if joint_id < 0:
    raise ValueError(f"Joint '{joint_name}' not found in model")

q_adr = model.jnt_qposadr[joint_id]
qd_adr = model.jnt_dofadr[joint_id]

if model.nu < 1:
    raise ValueError("No actuators in the model. Добавьте <motor ...> в XML.")
actuator_id = 0

time_log = []
q_log = []
q_des_log = []
tau_log = []
with mujoco.viewer.launch_passive(model, data) as viewer:

    mujoco.mj_forward(model, data)

    try:
        site_id = mujoco.mj_name2id(model, mujoco.mjtObj.mjOBJ_SITE, "sP")
        if site_id >= 0:
            viewer.cam.lookat[:] = data.site_xpos[site_id]
    except Exception:
        pass
```

```

viewer.cam.distance = 0.4
viewer.cam.elevation = -20
viewer.cam.azimuth = 90

while viewer.is_running() and data.time < SIM_TIME:
    t = data.time

    q_des = AMP * np.sin(omega * t) + BIAS
    qd_des = AMP * omega * np.cos(omega * t)

    q = float(data.qpos[q_adr])
    qd = float(data.qvel[qd_adr])

    tau = Kp * (q_des - q) + Kd * (qd_des - qd)

    data.ctrl[actuator_id] = tau

    time_log.append(t)
    q_log.append(q)
    q_des_log.append(q_des)
    tau_log.append(tau)

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

print("Simulation finished, building plots...")

time_log = np.array(time_log)
q_log = np.array(q_log)
q_des_log = np.array(q_des_log)
tau_log = np.array(tau_log)

plt.figure(figsize=(12, 5))
plt.plot(time_log, q_des_log, label="q желаемый", linewidth=2)
plt.plot(time_log, q_log, label="q фактический", linewidth=2, alpha=0.8)
plt.grid(True)
plt.title("Обработка PD-регулятора для сустава A")
plt.xlabel("Время [с]")
plt.ylabel("Угол [рад]")
plt.legend()
plt.tight_layout()
plt.savefig("pd_tracking.png", dpi=300)

plt.figure(figsize=(12, 5))
plt.plot(time_log, tau_log, color="orange", linewidth=1.5)
plt.grid(True)
plt.title("Сигнал управления  $\tau(t)$ ")
plt.xlabel("Время [с]")
plt.ylabel("Момент  $\tau$  [Н·м]")
plt.tight_layout()

```

```
plt.savefig("pd_control.png", dpi=300)

plt.show()

err = q_des_log - q_log
print(f"Максимальная ошибка: {np.max(np.abs(err)):.4f} рад")
print(f"RMS ошибка: {np.sqrt(np.mean(err**2)):.4f} рад")
print(f"MAE ошибка: {np.mean(np.abs(err)):.4f} рад")
```

.xml файл

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

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

  <asset>
    <texture type="skybox" builtin="gradient" rgb1="1 1 1" rgb2="0.5 0.5 0.5"
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"/>
  </asset>

  <worldbody>
    <light pos="0 0 10"/>
    <geom type="plane" size="0.5 0.5 0.1" material="grid"/>
    <camera name="side view" pos="0.1 -1.5 1.0" euler="90 0 0" fovy="60"/>
    <camera name="upper view" pos="0 0 1.5" euler="0 0 0"/>
    <body name="ABC1P" pos="0 0 1.5" euler="90 0 0">
      <joint name="A" type="hinge" axis="0 0 1" stiffness="0" springref="0"
damping="0"/>
      <geom name="point A" type="cylinder" pos="0 0 0" size="0.02 0.02"
      rgba="0.89 0.14 0.16 0.5" euler="0 0 0" contype="0"/>
      <geom name="link AB" type="cylinder" pos="0 -0.018 0" size="0.015
0.018"
      rgba="0.21 0.32 0.82 0.5" euler="90 0 0" contype="0"/>
      <body name="BC1P" pos="0 -0.036 0" euler="0 0 0">
        <joint name="B" type="hinge" axis="0 0 1" stiffness="0"
springref="0" damping="0.1"/>
        <geom name="point B" type="cylinder" pos="0 0 0" size="0.02 0.02"
        rgba="0.89 0.14 0.16 0.5" euler="0 0 0" contype="0"/>
        <geom name="link BC" type="cylinder" pos="0 -0.0234 0" size="0.015
0.0234"
        rgba="0.21 0.32 0.82 0.5" euler="90 0 0" contype="0"/>

        <site name="sC1" size="0.01" pos="0 -0.0468 0"/>
      </body>
    </body>
  </worldbody>
</мужосо>
```

```

        <body name="CP" pos="0 -0.0468 0" euler="0 0 0">

            <geom name="point C1" type="cylinder" pos="0 0 0" size="0.02
0.02"
                rgba="0.89 0.14 0.16 0.5" euler="0 0 0" contype="0"/>

            <geom name="link CP" type="cylinder" pos="0 -0.09 0"
size="0.015 0.09"
                rgba="0.21 0.32 0.82 0.5" euler="90 0 0" contype="0"/>

            <site name="sP" size="0.01" pos="0 -0.18 0"/>

        </body>

    </body>

</body>

    <body name="DC2" pos="0.036 0 1.5" euler="90 0 0">

        <joint name="D" type="hinge" axis="0 0 1" stiffness="0" springref="0"
damping="0.1"/>
        <geom name="point D" type="cylinder" pos="0 0 0" size="0.02 0.02"
            rgba="0.89 0.14 0.16 0.5" euler="0 0 0" contype="0"/>

        <geom name="link DC" type="cylinder" pos="0 -0.027 0" size="0.015
0.027"
            rgba="0.21 0.32 0.82 0.5" euler="90 0 0" contype="0"/>

        <site name="sC2" size="0.01" pos="0 -0.054 0"/>

    </body>

</worldbody>

<equality>
    <connect site1="sC1" site2="sC2"/>
</equality>

<actuator>
    <motor name="q1_motor" joint="A" gear="1"/>
</actuator>

<sensor>
    <framepos objtype="site" objname="sP"/>
    <jointpos name="q1_pos" joint="A"/>
    <jointvel name="q1_vel" joint="A"/>
</sensor>

```



```
</mujoco>
```