

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

ОТЧЕТ ПО ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ  
по дисциплине  
*«Имитационное моделирование робототехнических систем»*

по теме:  
УПРАВЛЕНИЕ МЕХАНИЗМАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MUJOCO

Студент:  
*Группа R4134с*

*Шилов В.И.*

Предподаватель:  
*Ассистент*

*Ракишин Е.А.*

г. Санкт-Петербург, 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

1	ОПИСАНИЕ РАБОТЫ .....	3
1.1	Цель работы .....	3
1.2	Задачи .....	3
1.3	Индивидуальное задание .....	3
2	ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ .....	4
2.1	Добавление приводов и сенсоров.....	4
2.2	Реализация PD-регулятора.....	5
2.3	Демонстрация симуляции .....	5
3	ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	7

# 1 ОПИСАНИЕ РАБОТЫ

## 1.1 Цель работы

Освоение методов динамического управления моделями механических систем с использованием физического движка MuJoCo.

## 1.2 Задачи

1. Добавить управление в модель двухзвенного механизма согласно варианту
2. Настроить ПД-регулятор
3. Провести визуализацию работы механизма

## 1.3 Индивидуальное задание

Таблица 1 — Заданные параметры движения

Параметр	$AMP_1$	$FREQ_1$	$BIAS_1$	$AMP_2$	$FREQ_2$	$BIAS_2$
Значение	49.91	3.47	2.4	49.62	3.66	28.9

Согласно варианту, необходимо настроить управление моделью двухзвенного механизма с тросовой передачей.

## 2 ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Для реализации двухзвенного механизма в MuJoCo был спроектирован файл конфигурации симуляции `model.xml`. Файл строится таким образом, что звенья механизма организованы в древовидную структуру, где каждое последующее тело присоединено к предыдущему через шарнирное соединение. Для наглядности связывающие звенья сухожилия отмечены красным и зелёным цветом.

В силу ограничений MuJoCo, потребовалось создать фиктивные тела, чтобы обеспечить соединение звеньев с помощью сухожилий. Также для ограничения движения каретки строго по горизонтальной траектории были добавлены фиктивная точка направляющей и соединения типа `weld`. Разработанный `model.xml` файл представлен в репозитории.

### 2.1 Добавление приводов и сенсоров

Для управления механизмом в модель были добавлены приводы и сенсоры. В соответствии с вариантом задания, для `tendon` механизма предусмотрено два привода (`q1` и `q2`). В контейнер `<actuator>` добавлены моторы для управления суставами:

```
<actuator>
  <motor name="q1_motor" joint="first_joint" gear="50" ctrlrange="-
  <motor name="q2_motor" joint="second_joint" gear="50" ctrlrange="
</actuator>
```

Для отслеживания состояния системы в контейнер `<sensor>` добавлены датчики положений и скоростей суставов:

```
<sensor>
  <jointpos joint="first_joint" name="q1"/>
  <jointvel joint="first_joint" name="dq1"/>
  <jointpos joint="second_joint" name="q2"/>
  <jointvel joint="second_joint" name="dq2"/>
  <framepos objtype="site" objname="endef_traj"/>
```

</sensor>

## 2.2 Реализация PD-регулятора

Для управления механизмом был реализован PD-регулятор с заданной траекторией движения:

$$q^{des} = AMP \cdot \sin(FREQ \cdot t) + BIAS$$

## 2.3 Демонстрация симуляции

На рисунке 1 представлен симулируемый механизм в его начальном положении. Видны все основные компоненты системы: три звена механизма, два шкива (R1 и R2) белого цвета, система сухожилий (красного и зелёного цветов), а также каретка в крайнем положении.

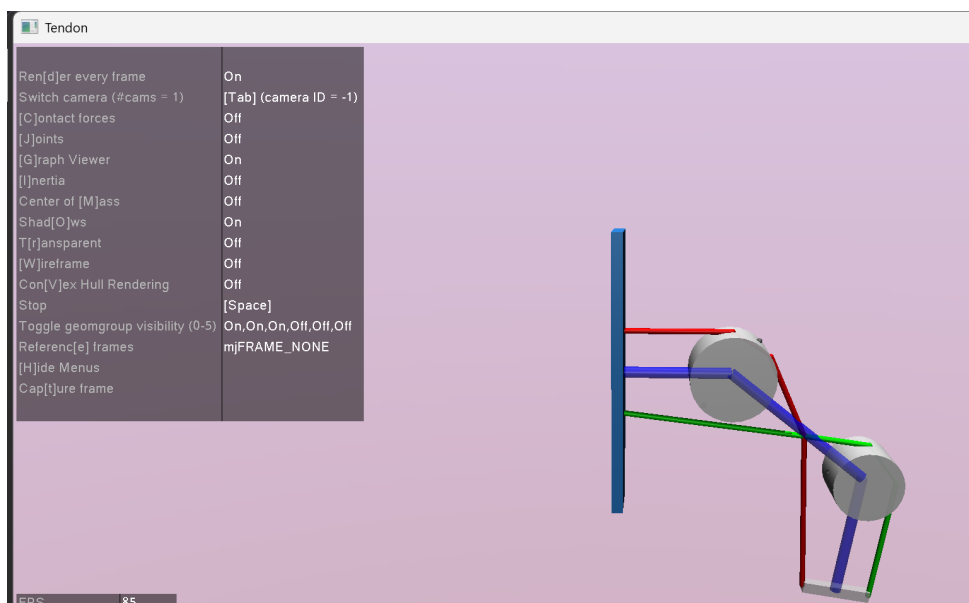


Рисунок 1 — Общий вид механизма

На рисунке 2 показано состояние механизма после продолжительного моделирования с шагом интегрирования 0.001 с. Также на рисунке в левом верхнем углу присутствует меню для управления симуляцией. Наблюдается изменение конфигурации системы: звенья заняли новое положение под действием управляющих моментов, сухожилия перераспределили натяжение, а каретка переместилась вдоль направляющей.

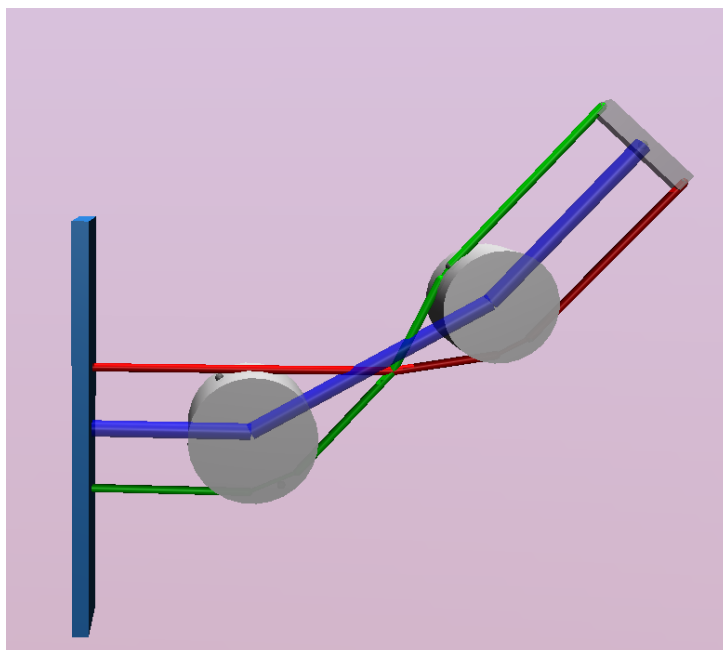


Рисунок 2 — Конфигурация механизма после длительного моделирования

На рисунке 3 представлен график перемещения каретки (endeffector) во времени при работе PD-регулятора. На графике видно колебательное движение каретки, соответствующее заданной синусоидальной траектории. Характер движения демонстрирует работу регулятора - система успешно отслеживает заданную траекторию.

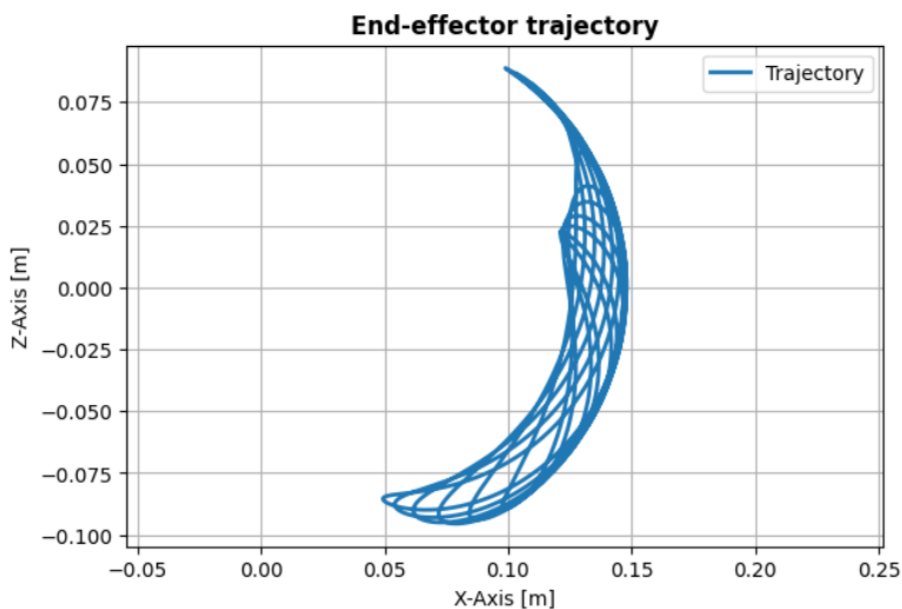


Рисунок 3 — График перемещения endeffector'a (каретки) по координате Y

### 3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы успешно было добавлено управление для модели двухзвенного механизма в среде MuJoCo. PD-регулятор продемонстрировал эффективное отслеживание заданной синусоидальной траектории для обоих суставов, что подтверждает корректность математической модели и выбранных параметров управления. Полученные результаты верифицируют работоспособность разработанной системы и соответствие её поведения теоретическим ожиданиям.