



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное автономное

образовательное учреждение высшего образования

«Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет

информационных технологий, механики и оптики»

**Факультет Систем управления и робототехники**

**Лабораторная работа №4**

по дисциплине

«Имитационное моделирование робототехнических систем»

**Выполнил:**

Студент группы R4135с

Дуль Ян Сергеевич

**Преподаватель:**

Ракшин Егор Александрович

Санкт-Петербург  
2025

# СОДЕРЖАНИЕ

1	Введение . . . . .	3
2	Ход работы . . . . .	4
2.1	Модель механизма и основные величины . . . . .	4
2.2	Задача и синтез регулятора . . . . .	5
2.3	Моделирование . . . . .	6
3	Выводы . . . . .	9

# 1 Введение

В данной лабораторной работе будет синтезирован ПД-регулятор для коленного механизма, модель которого была построена в работе №3. С помощью MuJoCo и Python будет проведено моделирование системы и получены графики переходных процессов.

## 2 Ход работы

### 2.1 Модель механизма и основные величины

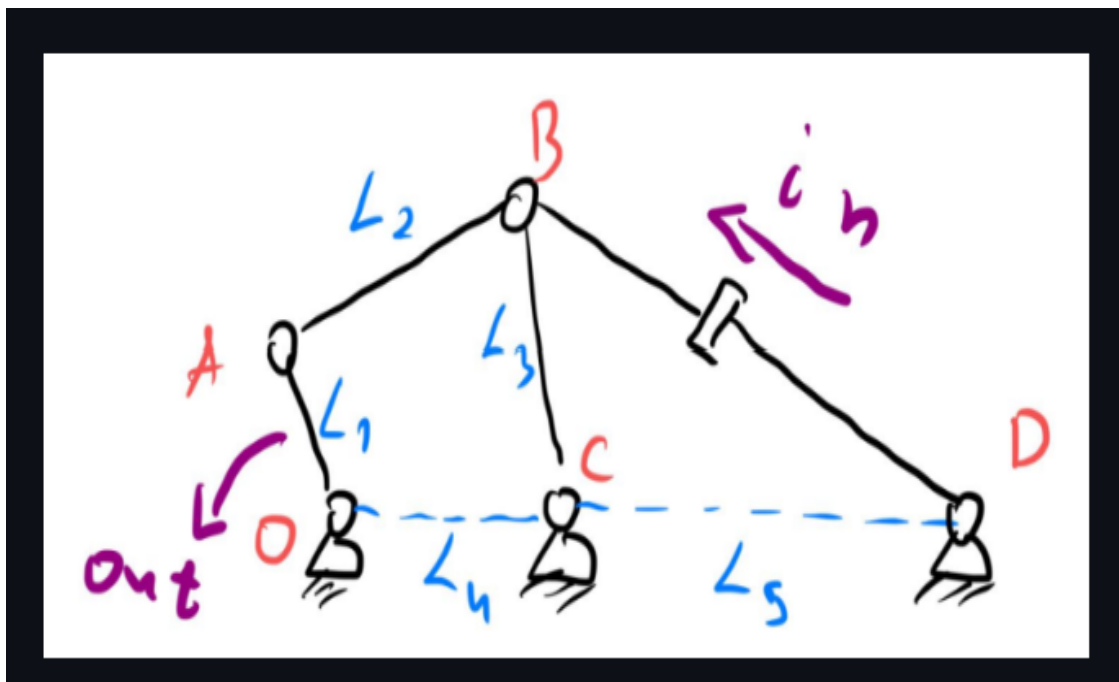


Рисунок 1 — Схема механизма

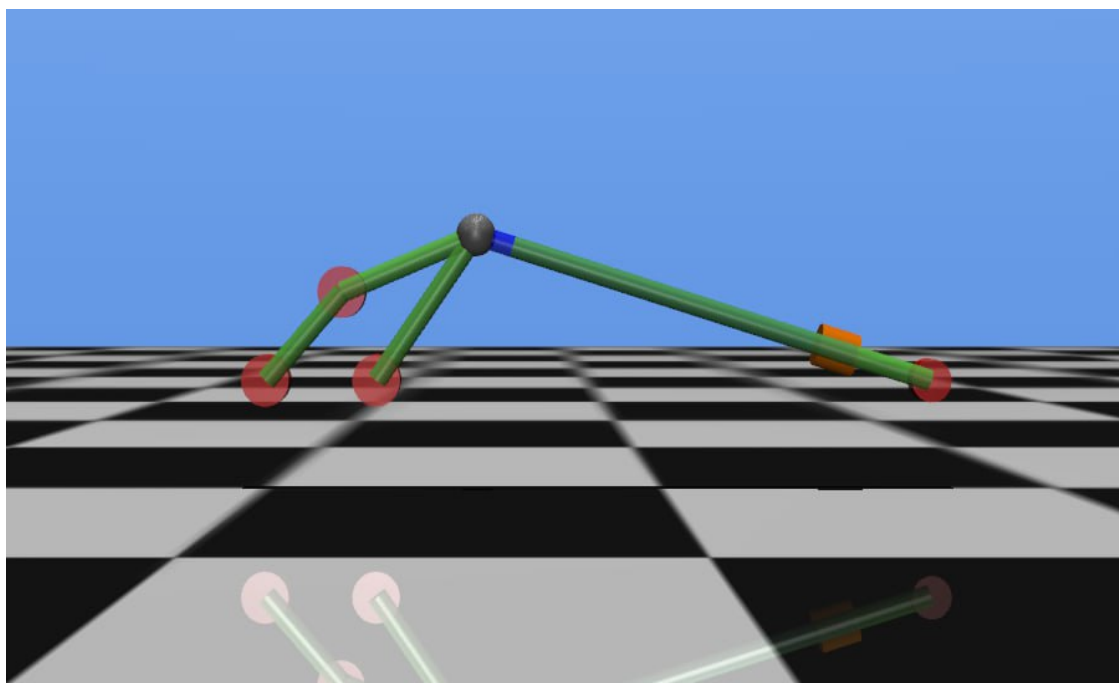


Рисунок 2 — Механизм в среде моделирования MuJoCo

Для управления слайдером в звене DB был добавлен актуатор типа мотор. Также необходимо добавить сенсор угла поворота джоинта O, так

как его угол поворота и является регулируемой величиной. Далее будем называть ее  $q$ .

## 2.2 Задача и синтез регулятора

Необходимо реализовать ПД-регулятор для управления мотором слайдера. Выходом системы является угол  $q$ —угол поворота джоинта О. Желаемый  $q$  должен изменяться по такому закону в соответствии с вариантом:

$$q_{des} = 34.76 \sin 3.84t + 25.4$$

Так как у нас есть возможность измерять угол  $q$ , то ошибка выглядит, как  $e(t) = q_{des} - q$ . Тогда дифференциальная составляющая управления в дискретном виде будет выглядеть так:

$$e_d = \frac{e - e_{prev}}{t_{step}}$$

, где  $t_{step}$ — временной шаг моделирования,  $e_{prev}$ — значение ошибки на предыдущем шаге.

Управление будем формировать в стандартном для ПД-регуляторов виде:

$$u = k_p e + k_d e_d$$

, где  $k_p, k_d$ — коэффициенты.

Задача подбора коэффициентов ПИД-регуляторов является актуальной задачей в теории автоматического управления. Мы же будем подбирать их, исходя из поведения системы при текущей конфигурации.

## 2.3 Моделирование

Промоделируем систему при  $k_p = 20$ ,  $k_d = 4$ :

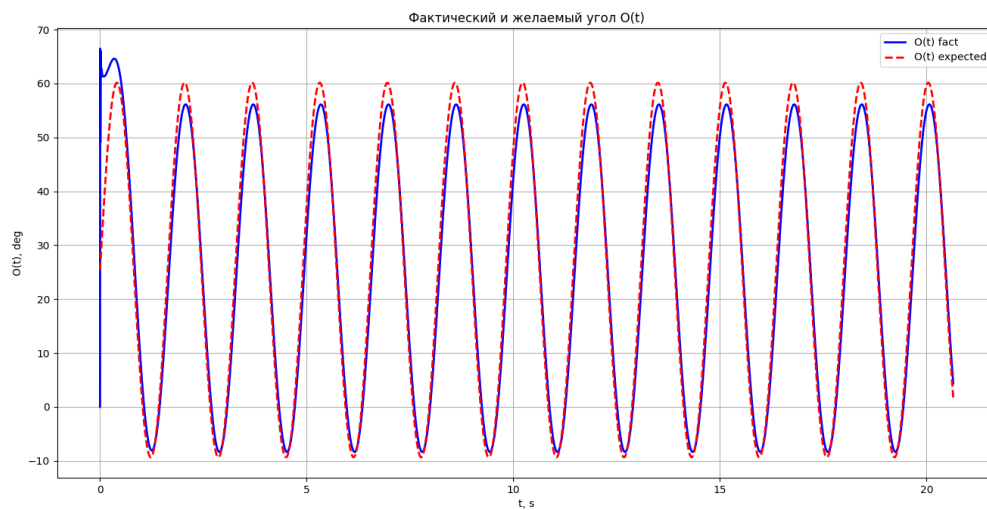


Рисунок 3 — График изменения фактического и ожидаемого угла поворота при  $k_p=20$ ,  $k_d=4$

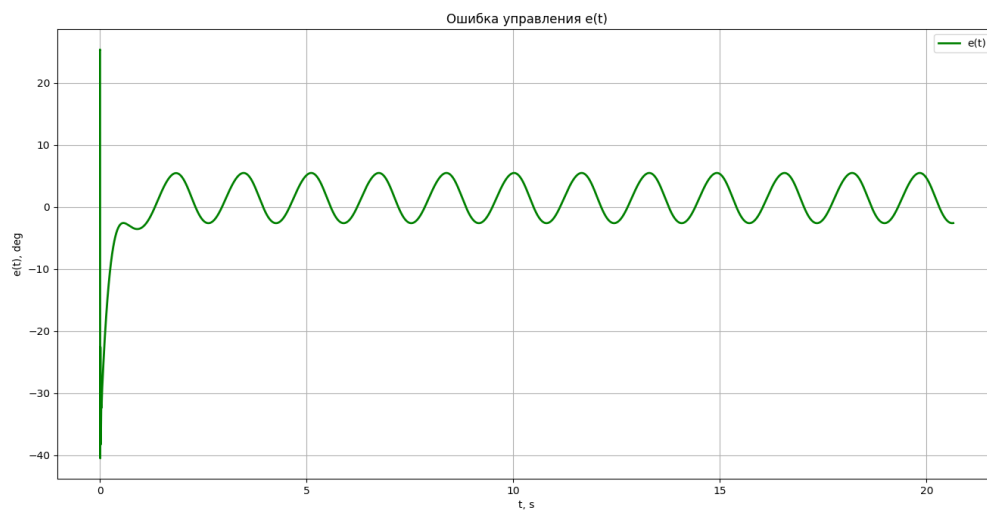


Рисунок 4 — График ошибки при  $k_p=20$ ,  $k_d=4$

Подберем более подходящие к данной системе коэффициенты  $k_p = 60$ ,  $k_d = 40$ :

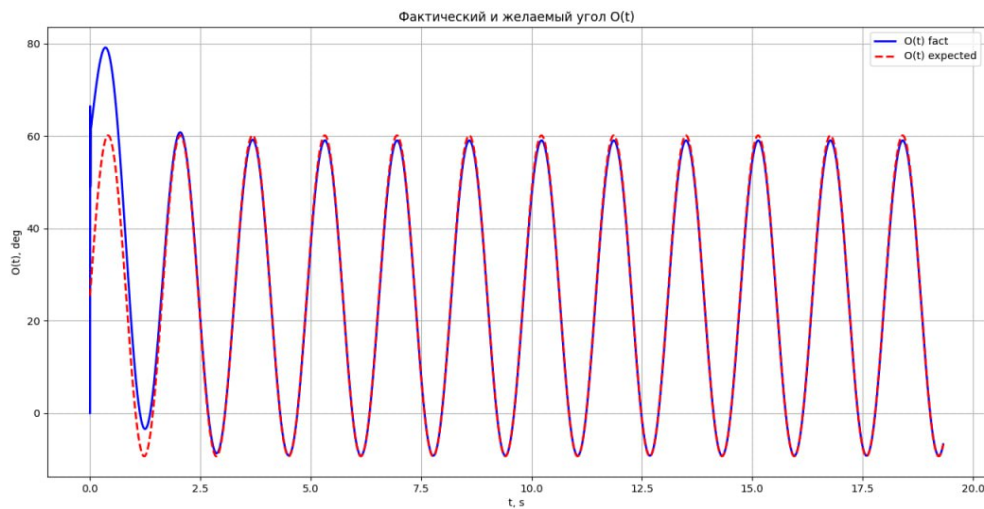


Рисунок 5 — График изменения фактического и ожидаемого угла поворота при  $k_p=60$ ,  $k_d=40$

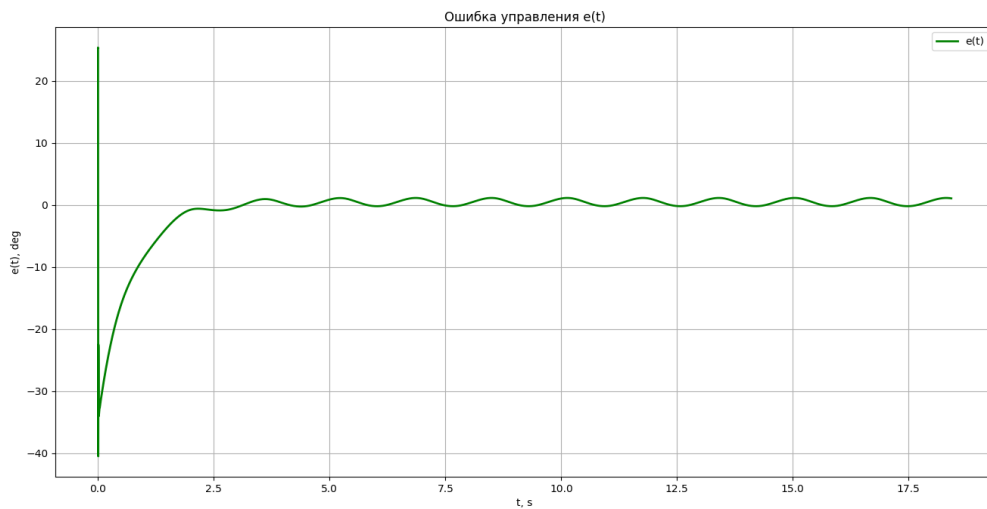


Рисунок 6 — График ошибки при  $k_p=60$ ,  $k_d=40$

Можно заметить, что перерегулирование уменьшилось, а установившиеся значения ошибки стали еще сильнее ограничены.

Теперь покажем, что у коэффициентов есть оптимальное значение и увеличение не является решением, увеличив  $k_p = 100$ ,  $k_d = 80$ :

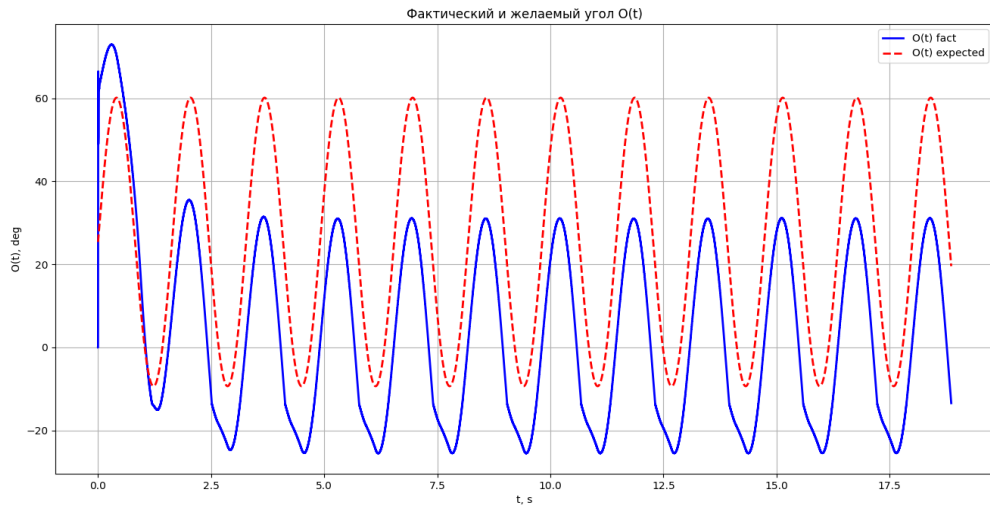


Рисунок 7 — График изменения фактического и ожидаемого угла поворота при  $k_p=100$ ,  $k_d=80$

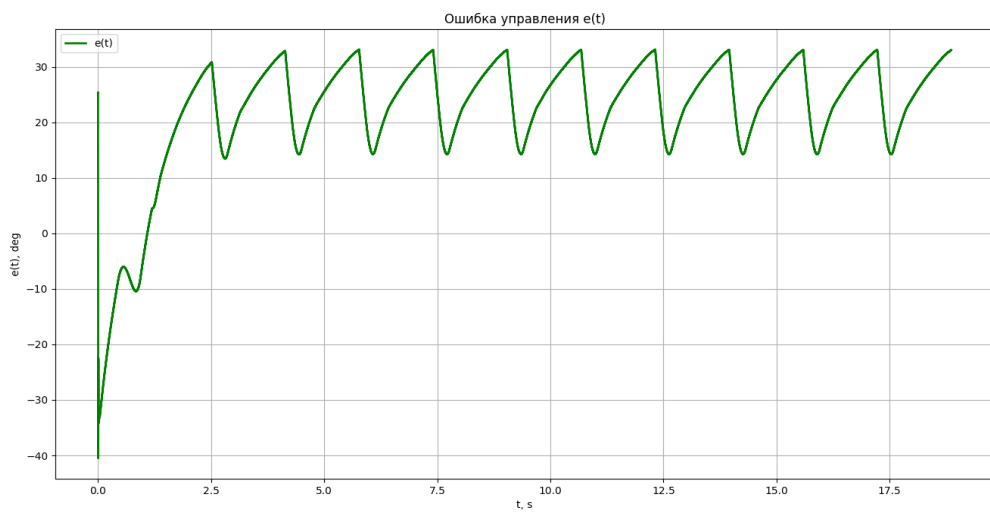


Рисунок 8 — График ошибки при  $k_p=100$ ,  $k_d=80$

Видно, что система сильно ухудшила свою работу при таких коэффициентах.



### 3 Выводы

У нас удалось синтезировать довольно успешный ПД-регулятор для слежения за гармоническим сигналом. Лучшее управление наблюдалось при  $k_p = 60, k_d = 40$ . При относительно небольшом времени переходного процесса он приводит ошибку к значениям  $[-1, 2]$  градуса. Изменение  $k_p$  позволило ускорить реакцию системы на текущую ошибку, а изменение  $k_d$  привело к уменьшению перегулирования. Однако увеличение значений коэффициентов не всегда является решением задачи синтеза ПИД-регулятора, потому что большие значения влекут за собой ряд проблем. Это было продемонстрировано на графиках 7-8. Система испортила свои показатели при таком изменении. Коэффициенты должны быть подобраны оптимально. Также всегда необходимо следить за значениями управления и контролировать его при выбросах.