



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

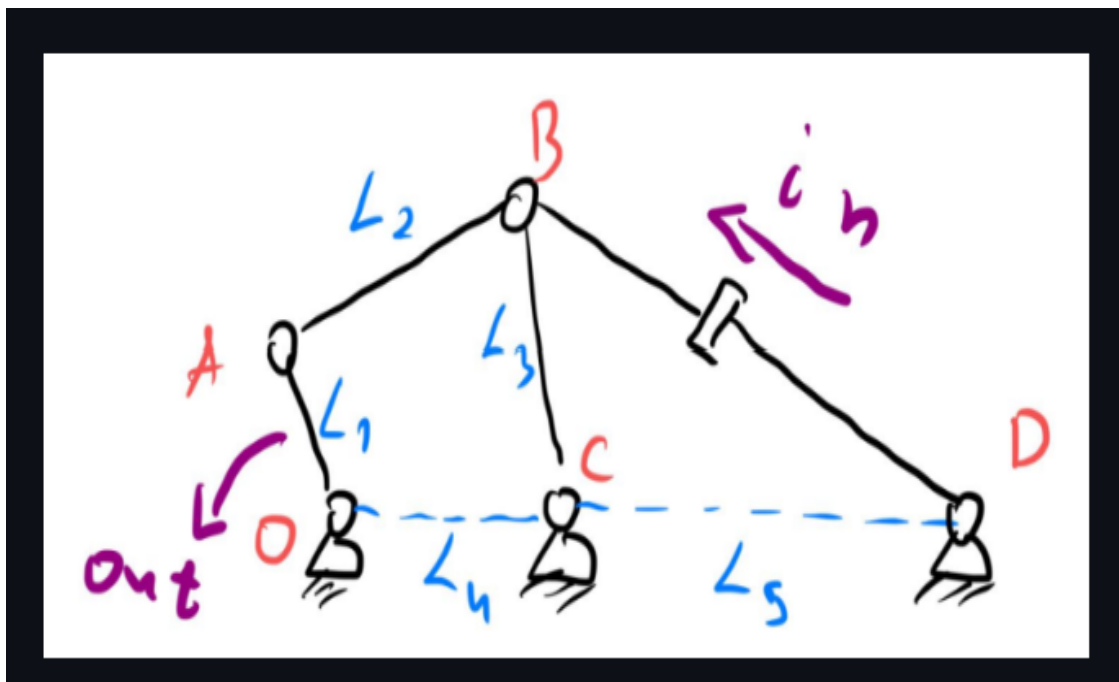


Рисунок 1 — Схема механизма

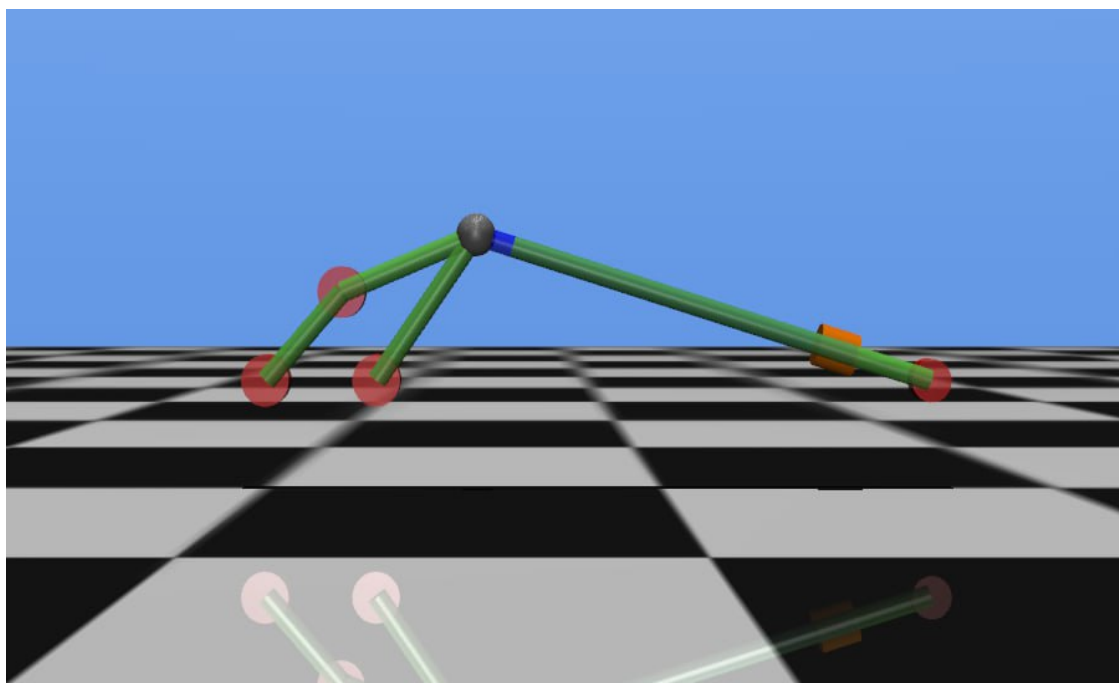


Рисунок 2 — Механизм в среде моделирования MuJoCo

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 $k_p = 20$, $k_d = 4$:

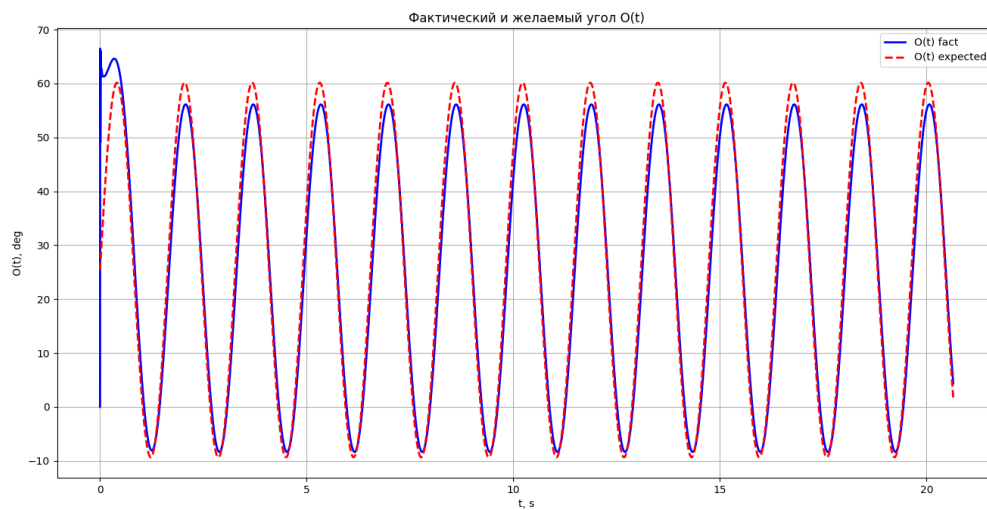


Рисунок 3 — График изменения фактического и ожидаемого угла поворота при $k_p=20$, $k_d=4$

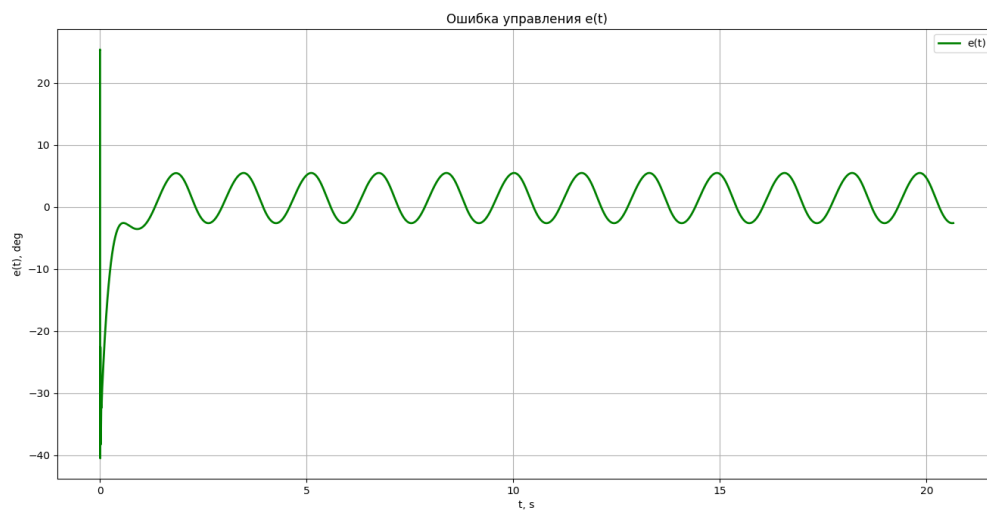


Рисунок 4 — График ошибки при $k_p=20$, $k_d=4$

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

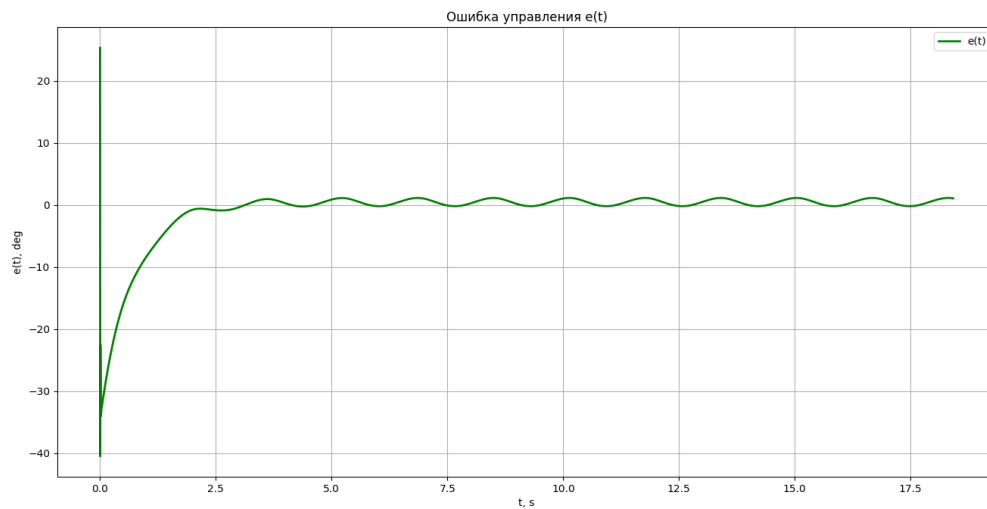


Рисунок 5 — График изменения фактического и ожидаемого угла поворота при $k_p=60$, $k_d=40$

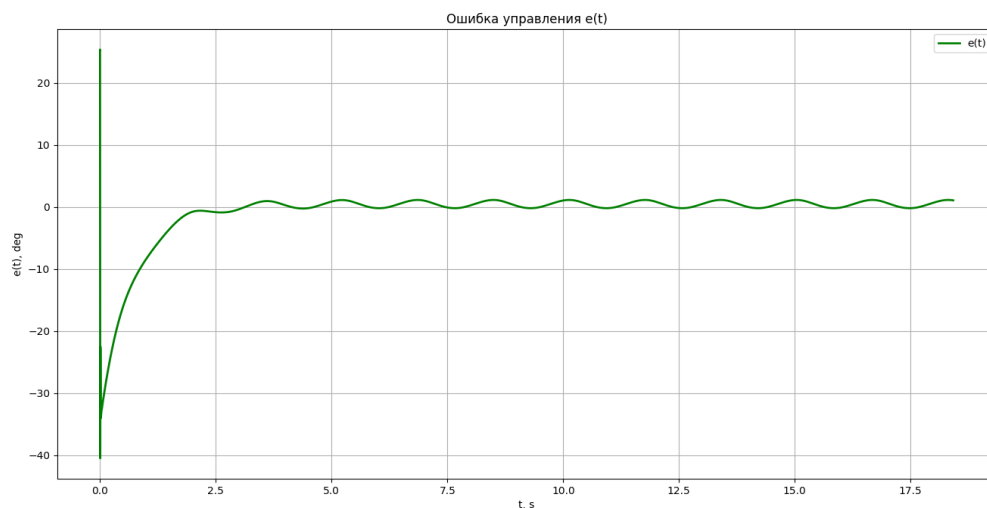


Рисунок 6 — График ошибки при $k_p=60$, $k_d=40$

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

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

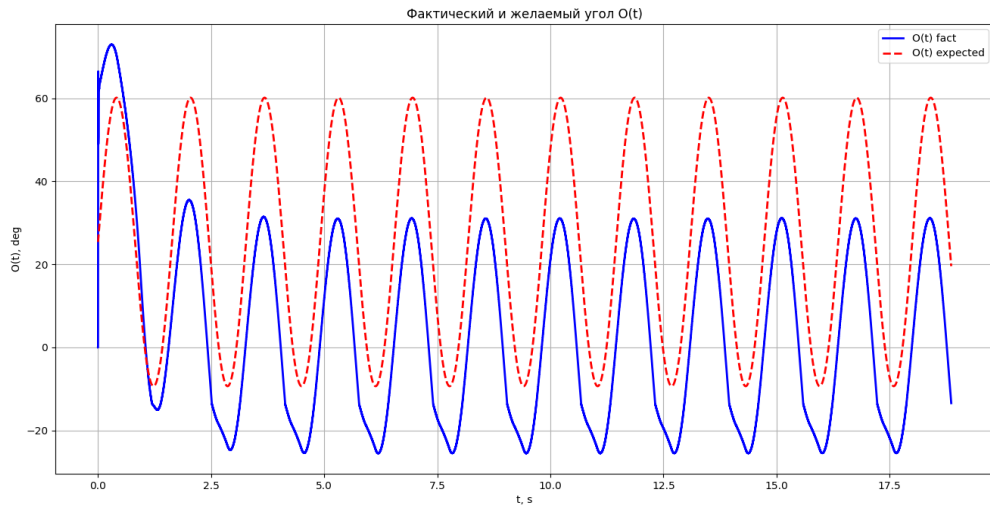


Рисунок 7 — График изменения фактического и ожидаемого угла поворота при $k_p=100$, $k_d=80$

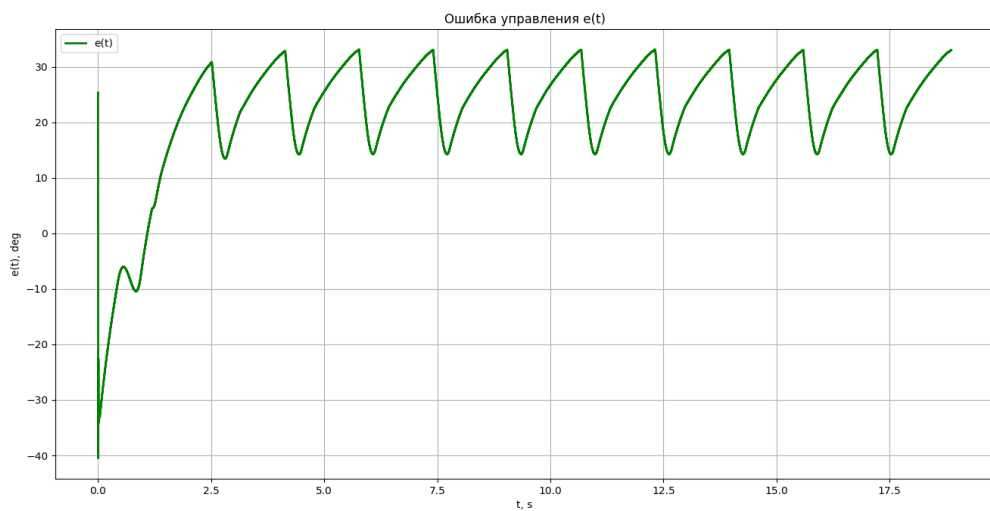


Рисунок 8 — График ошибки при $k_p=100$, $k_d=80$

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.