

## Домашнее задание 4. Астатический MPC-регулятор. Астатический регулятор с ограничениями

### Часть 1. Прогноз

1. На основе своей исходной модели построить дискретную модель в пространстве состояния в приращениях – матрицы  $A$ ,  $B$ ,  $C$  с чертой.
2. Построить реакцию на единичный скачок модели в приращениях по формуле
$$\bar{z} = Lp_k + M\bar{v}$$
  - a. обратите внимание, что единичный скачок в приращениях будет выглядеть иначе
  - b. обратите внимание на формирование вектора начальных условий  $p_k$
3. Взять из предыдущего задания прогнозную реакцию на скачок по исходной модели  $\bar{y} = Lx_k + M\bar{u}$  и сравнить его с  $\bar{z}$ . **Исправить ошибки, если совпадения не получилось.**

### Часть 2. Астатическое управление без ограничений

1. Смоделировать работу замкнутой системы с астатическим MPC-регулятором.  
**Модель процесса оставить исходную, а в качестве прогнозной модели MPC-регулятора использовать модель в приращениях.**
2. Для расчета оптимального управления в приращениях использовать функцию `mrc_controller` из предыдущего ДЗ.
3. Принять, что на каждом шаге текущее состояние объекта  $x_k$  известно (на каждом шаге брать его из модели процесса). Продумать, какая нужна информация, чтобы по  $x_k$  формировать  $p_k$ .
4. Убедиться, что в замкнутой системе отсутствует статическая ошибка.
5. Изучить компромисс между штрафом за управление и штрафом за отклонение от уставки, изменяя диагональные элементы матриц  $Q$ ,  $R$ .

### Часть 3. Астатическое управление с ограничениями

1. Для отладки реализовать функцию `mrc_quadprog`, которая решает задачу квадратичного программирования с помощью функции Матлаба `quadprog`, **но без ограничений**. В итоге получится полный эквивалент `mrc_controller`, на котором можно проверить расчет матрицы  $H$  и вектора  $f$ .
2. Закомментировать в предыдущей части задания код, вызывающий `mrc_controller` и вставить вызов `mrc_quadprog`. Убедиться, что переходные процессы полностью совпадают.
3. Написать функцию `mrc_constrained`, которая решает задачу с ограничениями на управляющее воздействие, его приращение и регулируемую величину. Рекомендуется добавлять ограничения поочередно и проверять
4. Подобрать начальные условия и/или матрицы  $Q$ ,  $R$  так, чтобы проиллюстрировать учет ограничений в переходном процессе в замкнутой системе.

### Вопросы к защите

1. Астатический MPC-регулятор
  - a. Функционал качества с приращениями управляющих воздействий.
  - b. В чем разница по сравнению с базовым регулятором с точки зрения поставленной задачи управления? Графическая интерпретация критерия
    - i. Для траектории регулируемой величины.
    - ii. Для траектории управления.
  - c. Пояснить смысл матриц  $R$ ,  $Q$  в новом функционале качества.
  - d. Какие значения принимают слагаемые критерия управления по окончании переходного процесса для «нового» и «старого» критерия?
  - e. Перевод прогнозирующей модели к форме в приращениях. Зачем нужно переходить к модели в приращениях управления? Уравнение системы для нового вектора состояния.

Почему нужно вводить новый вектор состояния? Вывод размерностей векторов и матриц новой модели.

- f. Решение оптимальной задачи. Как на практике воспользоваться решением оптимальной задачи управления, т.е. что в итоге подать на вход объекта управления?
  - g. Оптимальное управление астатической задачи зависит от текущего значения вектора состояния нового вида  $p_k$ . Как по данным измерения оценивать текущее значение вектора состояния нового вида?
2. MPC-регулятор с ограничениями
- a. Формальная постановка задачи квадратичного программирования.
  - b. Задача восстановления регрессии с ограничениями (ММНК с ограничениями). Оптимальное и субоптимальное решение.
  - c. Функционал качества MPC с ограничениями.
    - i. Виды ограничений.
    - ii. В чем разница между ограничениями и штрафами?
  - d. Сведение задачи оптимального управления к задаче квадратичного программирования
    - i. Запись функционала
    - ii. Запись ограничений всех типов
  - e. Какие значения принимают слагаемые критерия управления по окончании переходного процесса? Как на эти значения могут повлиять ограничения?