

«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В.
ЛОМОНОСОВА»

Физический факультет

Кафедра физико-математических методов управления

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОВОРОТОМ ЛУННОГО САМОХОДНОГО АППАРАТА

Выполнил: Гаврилов В. Р.

Руководители: Митришкин Ю. В.

Коньков А. Е.

Группа: 442

Москва

2021

Содержание

1. Объект управления и постановка задачи	2
2. Анализ модели объекта управления	3
2.1. Управляемость и наблюдаемость	3
2.2. Полюса модели объекта и его основные характеристики	3
3. Синтез регулятора	4
3.1. Параметры PID-регулятора	4
3.2. Полюса замкнутой системы управления и её основные характеристики	5
4. Моделирование системы	6
4.1. Без возмущения с ненулевым задающим воздействием	6
4.2. С возмущением и нулевым задающим воздействием	6
5. Итоги работы	7
6. Список литературы	8
7. Дополнение	9
7.1. Модель системы в Simulink	9

1. Объект управления и постановка задачи

В данном задании рассматривается лунный вездеход (Рис. 1), который предназначен для длительных (до 6-ти месяцев) и дальних (до 1000 км) экспедиций по неровной лунной поверхности. От аппарата требуется быстрая настройка угла поворота $Y(s)$ на заданный курс $R(s)$, а также поддержание этого курса при возможных перепадах высот лунной поверхности.

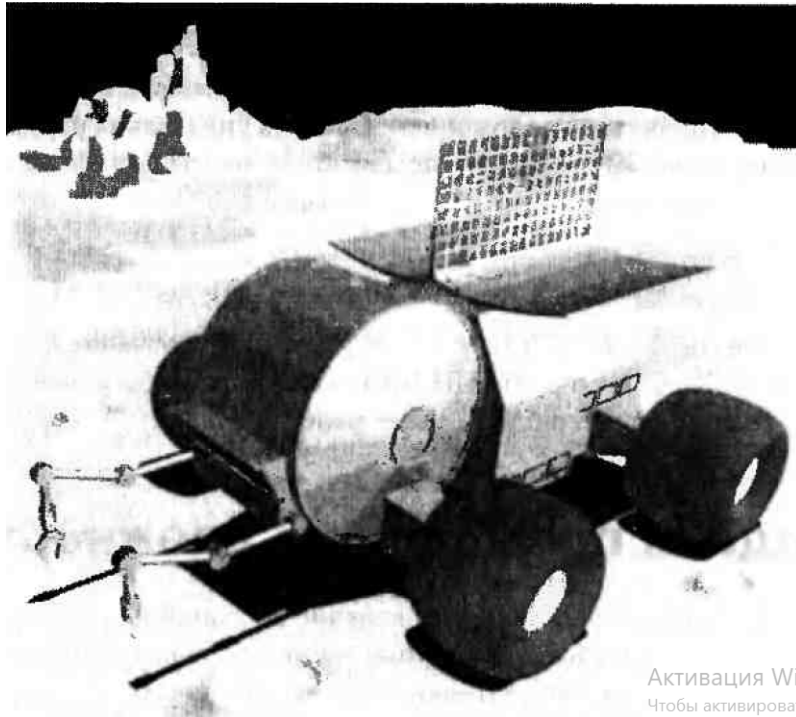


Рис. 1: Лунный вездеход

Задачей является синтез регулятора, способного обеспечить отработку ступенчатого задания на изменение курса с нулевой установившейся ошибкой с перерегулированием не более 20% и временем максимума не менее 0.3 с. Система управления поворотом аппарата выглядит следующим образом (Рис. 2):

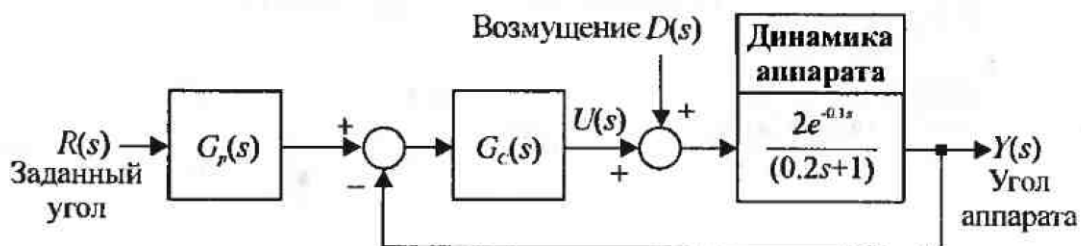


Рис. 2: Схема системы управления

Возмущение $D(s)$ задается ступенчатым воздействием $1/s$ при заданном нулевом направлении $R(s) = 0$. Его можно интерпретировать, как то, что луноход наехал одним из передних

колес на небольшую возвышенность и подневольно изменил свой курс, что и требуется отрегулировать. Величина возмущения не будет превосходить 20 градусов, так как остальные случаи можно считать экстремальными.

2. Анализ модели объекта управления

2.1. Управляемость и наблюдаемость

Модель объекта в данной задаче задается передаточной функцией $f(s) = \frac{2e^{-0.3s}}{0.2s+1}$. Согласно критерию Калмана, система с данной передаточной функцией является наблюдаемой и управляемой, что было проверено с помощью реализованной в Matlab функции. Ниже представлена переходная характеристика объекта (Рис. 3).

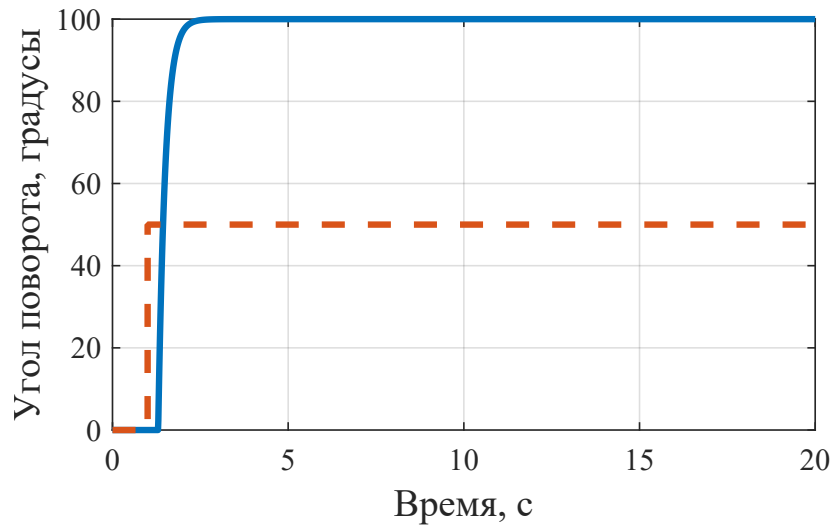


Рис. 3: Переходная характеристика объекта. Синим - выходной, красным - входной сигналы

Как видно, объект не удовлетворяет заданным требованиям по управляемости, поэтому необходим синтез регулятора.

2.2. Полюса модели объекта и его основные характеристики

На следующем графике представлены полюса модели объекта (Рис. 4). Как видно, у системы один действительный отрицательный полюс, что сигнализирует об асимптотической устойчивости системы. Помимо прочего, ближайший к мнимой оси полюс находится в точке $(-5, 0)$, а значит степень устойчивости системы $\eta = 5$ и время переходного процесса $t_s \approx 0.6$ сек. Также система не является колебательной, так как единственный полюс лежит на действительной оси.

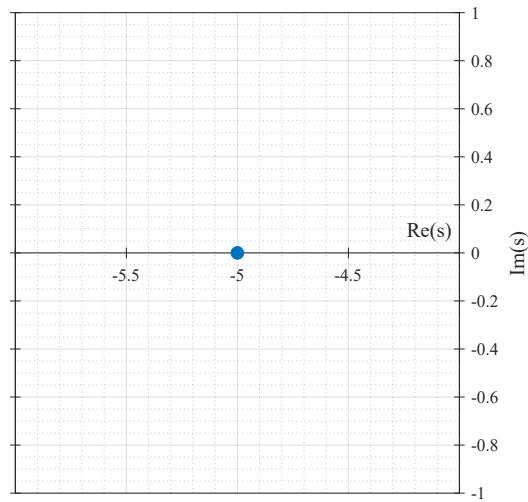


Рис. 4: Полюса модели объекта

3. Синтез регулятора

3.1. Параметры PID-регулятора

Следующим этапом работы было добавление в систему PID-регулятора, который задается передаточной функцией:

$$F_{PID}(s) = P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}}$$

С помощью приложения PID Tuner были найдены такие коэффициенты P, I, D, N , чтобы система управления удовлетворяла всем необходимым требованиям, а именно: $P \approx 0.60, I \approx 0.62, D \approx -0.0014, N \approx 430.10$. Для демонстрации качества системы управления ниже приведен график зависимости ошибки выходного сигнала относительно входного от времени при входном задающем воздействии величиной в 25 град (Рис. 5).

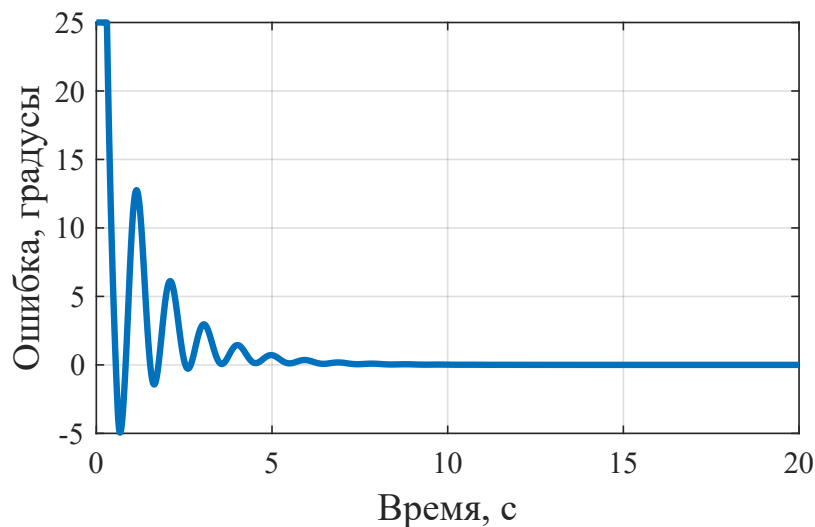


Рис. 5: Зависимость ошибки от времени

Как видно из графика, перерегулирование составляет не более 20% от входного воздействия, а время максимума не превышает 0.3 сек.

3.2. Полюса замкнутой системы управления и её основные характеристики

Так как система обладает запаздыванием, то уравнение для нахождения полюсов получится трансцендентным. Для разрешения этой проблемы было принято решение воспользоваться аппроксимацией Паде, которая для экспоненты выглядит следующим образом:

$$e^x \approx \frac{2+x}{2-x}$$

Тогда для передаточной функции объекта будет справедливо следующее:

$$F_{obj}(s) = \frac{2e^{-0.3s}}{0.2s+1} \approx \frac{2-0.3s}{(2+0.3s)(0.2s+1)}$$

На следующем графике представлены полюса замкнутой системы управления с учетом аппроксимации Паде (Рис. 6):

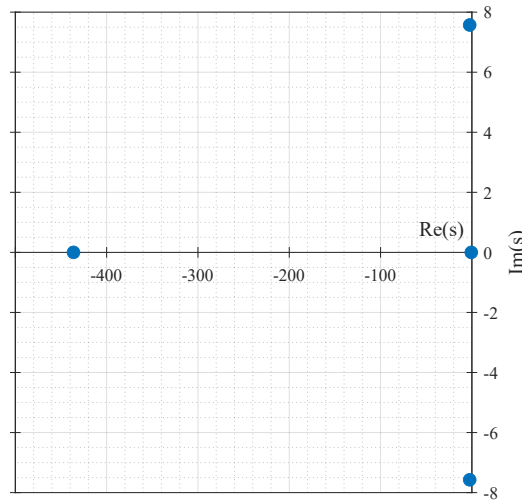


Рис. 6: Полюса замкнутой системы управления

Все полюса системы обладают отрицательной действительной частью, а значит она асимптотически устойчивая. Ближайший к мнимой оси полюс имеет координаты $(-0.65, 0)$, а значит степень устойчивости системы $\eta \approx 0.65$ и время переходного процесса $t_s \approx 4.62$ сек. Система обладает полюсами с ненулевой мнимой частью, а значит является колебательной. Паре данных полюсов соответствуют координаты $(-2.41, -7.57)$ и $(-2.41, 7.57)$, поэтому колебательность системы $\mu = \left| \frac{\beta}{\alpha} \right| \approx 3.14$.

4. Моделирование системы

4.1. Без возмущения с ненулевым задающим воздействием

На следующем графике приведена переходная характеристика замкнутой системы управления (Рис. 7).

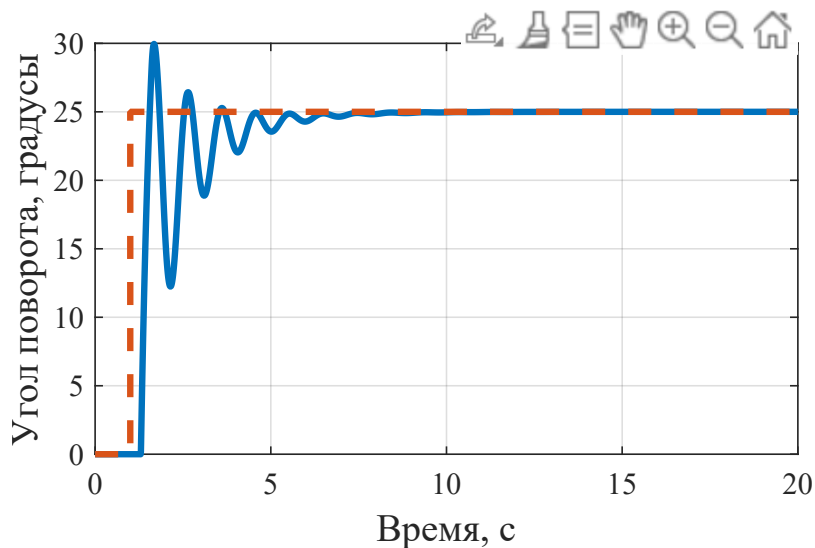


Рис. 7: Переходная характеристика системы управления. Синим - выходной, красным - входной сигналы

4.2. С возмущением и нулевым задающим воздействием

Далее исследуется реакция системы на внешнее возмущение. На следующем графике приведен выходной сигнал системы при заданном курсе в 0 градусов и возникающем возмущении величиной 20 градусов в момент времени 5 секунд (Рис. 8).

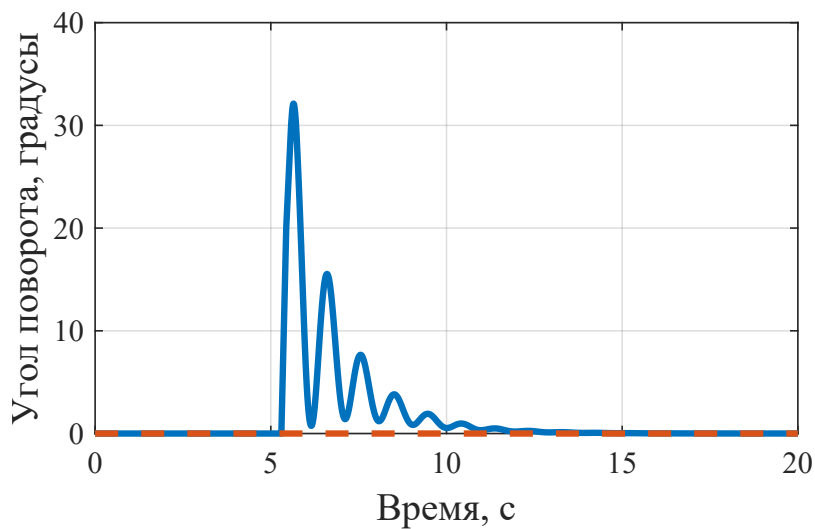


Рис. 8: Реакция системы управления на возмущение. Синим - выходной, красным - входной сигналы

Как видно, система успешно обрабатывает внешние возмущения и возвращает угол поворота лунохода к исходному значению.

На следующем графике изображено данное возмущение (Рис. 9).

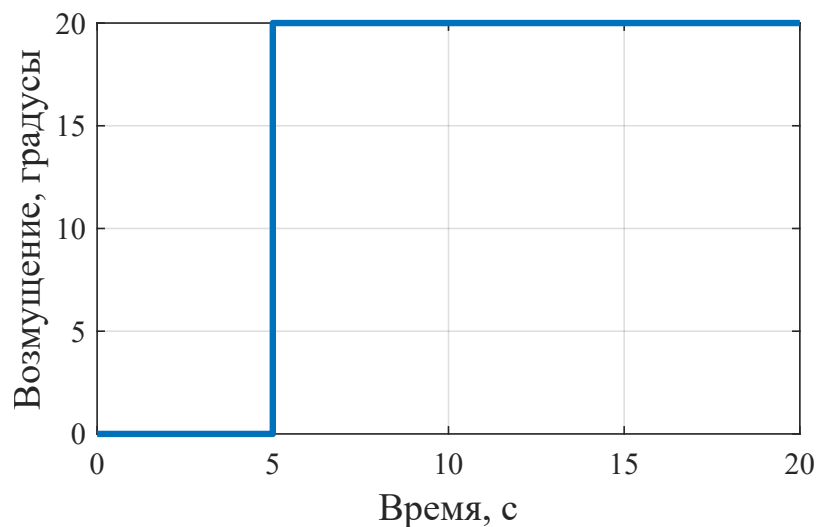


Рис. 9: Возмущение

5. Итоги работы

В качестве учебного задания в Matlab Simulink была создана модель управления лунным самоходом. Синтезирован PID-регулятор, осуществляющий быстрое и надежное (перерегулирование не более 20% и время нарастания не более 0.3 секунд) управление углом поворота аппарата. Система также способна обрабатывать внешние возмущения, в качестве которых выступают неровности лунной поверхности.

6. Список литературы

[1] Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. М.: Лаборатория базовых знаний, Юнимедиасти́л, 2002.

[2] Ю.В. Митришкин, А.Е. Коньков. Метод линейных матричных неравенств в системах управления. М.: 2018. 91 с.

7. Дополнение

7.1. Модель системы в Simulink

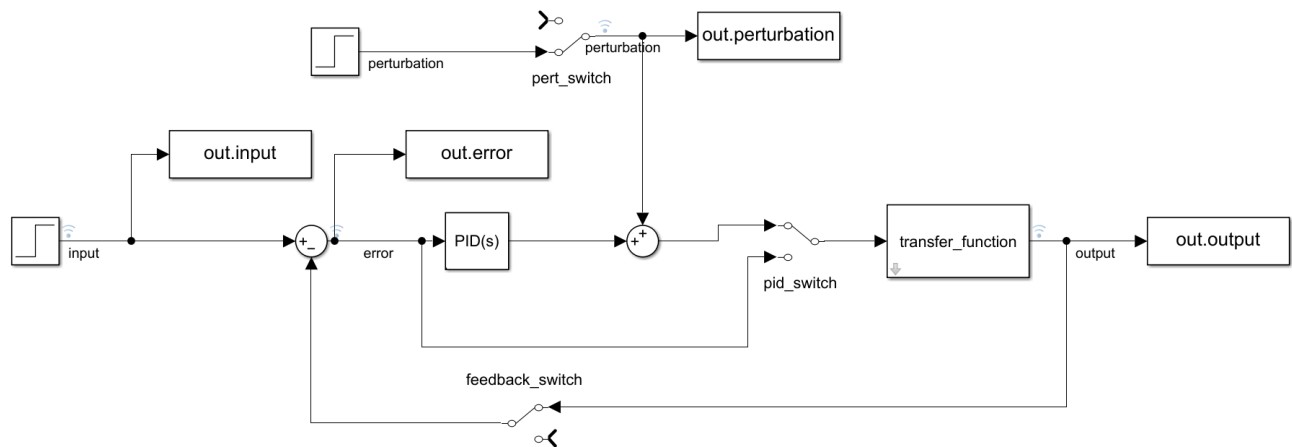


Рис. 10: Модель системы в Simulink

Для работы модели в режиме:

- 1) модели объекта, необходимо установить переключатель `pert_switch` в верхнее положение, а переключатели `pid_switch` и `feedback_switch` в нижнее.
- 2) замкнутой системы управления без возмущений, необходимо установить все переключатели в верхнее положение.
- 3) замкнутой системы управления с возмущением, необходимо установить переключатель `pert_switch` в нижнее положение, а переключатели `pid_switch` и `feedback_switch` в верхнее.