

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО»

**ФАКУЛЬТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РОБОТОТЕХНИКИ**

**ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №5**  
по дисциплине  
**«НЕЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ»**  
на тему  
**«СИНТЕЗ РАЗРЫВНОГО И НЕПРЕРЫВНОГО  
СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ РЕГУЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ  
СКОЛЬЗЯЩИХ РЕЖИМОВ»**

Выполнили: студенты  
Румянцев А. А., Р3441  
Дьячихин Д. Н., Р3480

Проверил: преподаватель  
Зименко К. А.

Санкт-Петербург  
2025

## **Содержание**

<b>1 Задание 1</b>	<b>3</b>
1.1 Условие . . . . .	3
1.2 Выполнение . . . . .	3
<b>2 Задание 2</b>	<b>4</b>
2.1 Условие . . . . .	4
2.2 Выполнение . . . . .	4
<b>3 Задание 3</b>	<b>4</b>
3.1 Условие . . . . .	4
3.2 Выполнение . . . . .	5
<b>4 Вывод</b>	<b>5</b>

## 1. Задание 1

### 1.1. Условие

Рассмотрим систему:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 + \sin x_1, \\ \dot{x}_2 = \theta_1 x_1^2 + (2 + \theta_2) u, \end{cases}$$

где  $|\theta_1| \leq 1$ ,  $|\theta_2| \leq 1$ . Весь вектор состояния измерим. Необходимо:

1. синтезировать стабилизирующий разрывный регулятор на основе скользящих режимов;
2. синтезировать стабилизирующий непрерывный регулятор на основе скользящих режимов;
3. провести соответствующий анализ устойчивости;
4. провести математическое моделирование.

### 1.2. Выполнение

Выберем скользящую поверхность, на которой упростим динамику системы и зададим ей желаемые свойства:

$$s = ax_1 + x_2 = 0, \quad a > 0$$

На поверхности  $s = 0$ :

$$x_2 = -ax_1, \quad x_2 = \dot{x}_1 - \sin x_1 \Rightarrow \dot{x}_1 = -ax_1 + \sin x_1$$

При малых  $x_1$  получаем  $\sin x_1 \sim x_1$ :

$$\dot{x}_1 \approx -(a - 1)x_1$$

Для асимптотической устойчивости  $a > 1 \Rightarrow \lim_{t \rightarrow \infty} x_1(t) = 0$ .

Динамика скользящей переменной:

$$s = ax_1 + x_2 \Rightarrow \dot{s} = a\dot{x}_1 + \dot{x}_2$$

Подставим  $\dot{x}_1, \dot{x}_2$ :

$$\dot{s} = a(x_2 + \sin x_1) + \theta_1 x_1^2 + (2 + \theta_2) u$$

## 2. Задание 2

### 2.1. Условие

Рассмотрим систему:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 + a_1 x_1 \sin x_1, \\ \dot{x}_2 = a_2 x_1 x_2 + 3u, \end{cases}$$

где  $a_1, a_2$  – неизвестные параметры,  $|a_1 - 1| \leq 1, |a_2 - 1| \leq 1$ . Весь вектор состояния измерим. Необходимо синтезировать стабилизирующий регулятор на основе скользящих режимов, провести соответствующий анализ устойчивости и провести математическое моделирование.

### 2.2. Выполнение

...

## 3. Задание 3

### 3.1. Условие

Рассмотрим уравнение движения для маятника в виде:

$$ml\ddot{\theta} + mg \sin \theta + kl\dot{\theta} = \frac{T}{l} + mh(t) \cos \theta,$$

где  $h$  – горизонтальное ускорение,  $T$  – управляющий момент.

Предположим, что:

$$0.8 \leq l \leq 1, 0.5 \leq m \leq 1, 0.1 \leq k \leq 0.2, |h(t)| \leq 0.5$$

и  $g = 9.81$ . Требуется стабилизировать маятник при  $\theta = 0$  для произвольных начальных условий. Необходимо разработать непрерывный регулятор на основе скользящего режима с обратной связью по состоянию.

### **3.2. Выполнение**

...

### **4. Вывод**

...