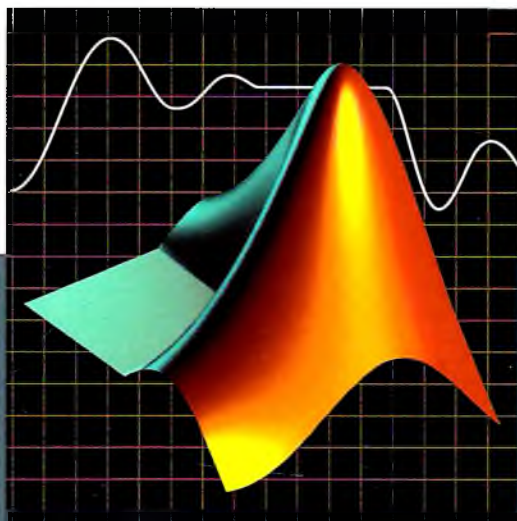


ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

# СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ: ТЕОРИЯ, ПРИМЕНЕНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ В MATLAB



А. Ю. Ощепков



ЛАНЬ

E.LANBOOK.COM

# СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
<i>Лекция 1. От клепсидры до «Термодата» .....</i>	<i>9</i>
1.1. Структура систем автоматического управления .....	9
1.2. Регуляторы прямого действия .....	13
1.3. Регуляторы по отклонению .....	15
1.4. Современные цифровые системы автоматического управления .....	18
<i>Лекция 2. Математическая формулировка задач управления ....</i>	<i>23</i>
2.1. Общие свойства математических моделей .....	23
2.2. Математическая формулировка задач управления поворотом вала электродвигателя .....	27
<i>Лекция 3. Формы представления математических моделей.</i>	
Пространство состояний .....	33
3.1. Математическая модель $RLC$ -цепи .....	33
3.2. Пространство состояний .....	35
3.3. Сигнальные графы .....	38
3.4. Управляемость и наблюдаемость систем .....	39
<i>Лекция 4. Формы представления математических моделей.</i>	
Передаточные функции .....	41
4.1. Определение передаточных функций .....	41
4.2. Переходные характеристики систем управления .....	44
4.3. Структурные схемы .....	46
4.4. Связь между передаточными функциями и уравнениями состояния .....	46
<i>Лекция 5. Примеры построения математических моделей</i>	
линейных стационарных систем .....	50
5.1. Модель двигателя постоянного тока .....	50
5.2. Двигатель, управляемый по цепи возбуждения .....	51
5.3. Двигатель, управляемый по цепи якоря .....	53
<i>Лекция 6. Системы управления с обратной связью .....</i>	<i>57</i>
6.1. Свойства обратной связи .....	57
6.2. Показатели качества .....	61
6.3. Оценки качества .....	65
<i>Лекция 7. Стандартные регуляторы с обратной связью .....</i>	<i>67</i>
7.1. Математические модели ПИД-регуляторов .....	67
7.2. Особенности работы стандартных регуляторов .....	69
7.3. Методы настройки ПИД-регуляторов .....	74

<b>Лекция 8. Устойчивость систем управления.</b>	
<b>Теоремы устойчивости для непрерывных систем</b> . . . .	78
8.1. Понятие устойчивости . . . . .	78
8.2. Математическая устойчивость. Основные определения . .	80
8.3. Теоремы устойчивости . . . . .	84
8.4. Устойчивость вращения твердого тела . . . . .	86
<b>Лекция 9. Устойчивость линейных стационарных систем</b> . . . .	90
9.1. Методы анализа устойчивости ЛСС . . . . .	90
9.2. Анализ устойчивости во временной области . . . . .	92
9.3. Частотные критерии устойчивости . . . . .	97
9.4. Устойчивость систем с неопределенными параметрами . . . . .	101
<b>Лекция 10. Дискретные системы и их устойчивость</b> . . . . .	104
10.1. Структура цифровых систем управления . . . . .	104
10.2. Цифровой ПИ-регулятор . . . . .	107
10.3. Дискретные модели непрерывных систем . . . . .	110
10.4. Передаточные функции дискретных систем . . . . .	114
10.5. Устойчивость дискретных систем . . . . .	116
<b>Лекция 11. Разомкнутые системы оптимального управления</b> . . . .	118
11.1. Постановка и классификация задач оптимального управления . . . . .	118
11.2. Вариационный метод для скалярного случая . . . . .	122
11.3. Гамильтонова формулировка условия оптимальности . . . . .	125
11.4. Построение оптимального управления . . . . .	127
<b>Лекция 12. Оптимальное управление линейными системами</b> . . . .	130
12.1. Оптимальное управление линейными системами с квадратичным функционалом . . . . .	130
12.2. Линейно-квадратичная задача для скалярного случая . . . . .	133
12.3. Управление на неограниченном интервале времени . . . . .	136
<b>Лекция 13. Оптимальное управление при ограничениях на управляющие воздействия</b> . . . .	140
13.1. Принцип максимума Понтрягина . . . . .	140
13.1.1. Формулировка принципа максимума . . . . .	140
13.1.2. Пример: поворот вала электродвигателя на максимальный угол . . . .	142
13.2. Метод динамического программирования . . . . .	146
13.2.1. Уравнение Беллмана . . . . .	146
13.2.2. Пример: задача об успокоении твердого тела . . . .	149
<b>Лекция 14. Управление в условиях неопределенности.</b>	
<b>Робастность систем с обратной связью</b> . . . . .	153
14.1. Неопределенности объектов управления . . . . .	153
14.2. Понятие грубости и робастности систем управления . . . .	156
14.3. Робастность систем управления с обратной связью . . .	158
14.4. Метод скоростного градиента . . . . .	161
<b>Лекция 15. Адаптивные системы управления</b> . . . . .	164
15.1. Структура адаптивных систем управления . . . . .	164
15.2. Классификация адаптивных систем управления . . . .	165
15.3. Адаптивное управление с эталонной моделью объектом	

<b>Лекция 16. Робастные и адаптивные алгоритмы</b>	
<b>управления дискретными системами</b> .....	173
16.1. Градиентный метод .....	173
16.2. Быстрые алгоритмы для объектов	
1-го и 2-го порядков .....	176
16.3. Идентификационное адаптивное	
управление объектом 1-го порядка	
на основе методов линейной регрессии .....	180
<b>Заключение</b> .....	184
<b>Приложение 1. Использование функций MATLAB</b>	
<b>для анализа свойств линейных систем</b> .....	188
<b>Приложение 2. Моделирование и настройка</b>	
<b>ПИД-регуляторов в пакете Simulink</b> .....	195
<b>Приложение 3. Моделирование адаптивных</b>	
<b>систем управления</b> .....	200
<b>Литература</b> .....	205