

А.Г. Карпов

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ**

**Учебное методическое пособие
по самостоятельной работе, практическим
занятиям и контрольным работам**

Томск 2015

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

**Кафедра компьютерные системы в управлении
и проектировании (КСУП)**

А.Г. Карпов

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

**Учебное методическое пособие
по самостоятельной работе, практическим
занятиям и контрольным работам**

2015

Карпов А.Г.

Современные проблемы теории управления: Учебное методическое пособие по самостоятельной работе, практическим занятиям и контрольным работам. – Томск: 2015. – 15 с.

Приводится содержание курса, рекомендации по самостоятельной работе студентов, по выполнению контрольных и практических работ. Приведены варианты исходных данных к контрольным и самостоятельным работам.

Учебное методическое пособие предназначено для студентов любых форм обучения, в том числе и с применением дистанционных образовательных технологий.

© Карпов Александр Георгиевич, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ	5
2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ.....	6
2.1 Цели и задачи преподавания дисциплины.	6
2.2 Требования к уровню освоения содержания дисциплины.	6
3. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	7
3.1 Основные понятия оптимальных и адаптивных систем управления	7
3.2 Современные методы оптимизации.....	7
3.3 Варианты построения адаптивных систем автоматического управления	7
3.4 Интеллектуальные системы управления.....	7
4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ	8
4.1 Проработка теоретического материала	8
4.2 Контрольные работы	9
4.3. Составление рефератов	12
5. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ	14
6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	15

1. ВВЕДЕНИЕ

В курсе «Современные проблемы теории управления» студенты продолжают углублённое изучение тех разделов теории и практики автоматического управления, которые по тем или иным причинам недостаточно освещены в классических курсах по автоматическому управлению и моделированию различных объектов и процессов.

Для успешного усвоения курса, помимо изучения и проработки теоретического материала по рекомендованным источникам [1 – 3], необходимо проделать ряд контрольных, практических и самостоятельных работ.

Курс «Современные проблемы теории управления» изучается в течение одного семестра.

2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

2.1 Цели и задачи преподавания дисциплины.

Целью данного курса является приобретение студентами необходимых знаний в области современных методов анализа и синтеза систем автоматического управления с учётом их многосвязности, неполной информации в описания объекта и при условии действия возмущений; освоение методов построения оптимальных, адаптивных и робастных систем управления, в том числе на базе современных компьютерных технологий.

Основными задачами курса являются:

- обучение студентов основам построения оптимальных и адаптивных систем автоматического управления,
- привитие навыков, необходимых при проектировании систем автоматического управления в условиях неполной информации об объекте.

2.2 Требования к уровню освоения содержания дисциплины.

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать: основные методы построения оптимальных и адаптивных систем управления, подходы к решению задач анализа и синтеза систем управления с учётом их многомерности и в условиях неопределённости.

Уметь: предлагать варианты реализации структурных схем адаптивных систем, исходя из заданных условий задачи, производить расчёт многомерных систем управления, удовлетворяющих требованиям робастности, применять современные компьютерные технологии и программные средства для анализа и синтеза оптимальных и адаптивных систем.

Владеть: навыками практической реализации методов и алгоритмов оптимального и адаптивного управления.

3. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Основные понятия оптимальных и адаптивных систем управления

Понятие оптимальности. Критерии оптимальности. Классификация оптимальных систем. Основания классификации. Общие понятия об адаптивном и интеллектуальном управлении.

3.2 Современные методы оптимизации

Основные методы оптимизации управления. Классическое вариационное исчисление в оптимальных системах. Постановка задач вариационного исчисления – задачи Лагранжа, Больца и Майера. Минимизация интегрального критерия. Уравнение Эйлера-Лагранжа. Условие трансверсальности. Учет ограничений по методу множителей Лагранжа. Случаи закрепленных и подвижных конечных точек. Метод максимума Понтрягина. Обобщённая задача оптимального управления. Принцип максимума. Уравнения Гамильтона. Динамическое программирование. Многошаговые алгоритмы управления. Принцип оптимальности. Дискретный вариант динамического программирования. Уравнения Беллмана и Гамильтона-Якоби.

3.3 Варианты построения адаптивных систем автоматического управления

Итеративные алгоритмы управления. Вероятностные итеративные алгоритмы. Дуальное управление. Поисковые адаптивные алгоритмы управления. Беспoisковые адаптивные алгоритмы. Функции чувствительности и модели чувствительности. Экстремальные системы.

3.4 Интеллектуальные системы управления

Структура интеллектуальной системы управления. Принципы построения интеллектуальных систем. Интеллектуальность в «большом» и «малом». Интеллектуальное управление с экспертной системой.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ

4.1 Проработка теоретического материала

При изучении разделов дисциплины целесообразно устно ответить на ряд вопросов.

По разделу 3.1:

1. Понятие об оптимальных системах автоматического управления.
2. Основные задачи синтеза оптимальных систем и их особенности.
3. Классификация оптимальных систем автоматического управления.
4. Основные методы оптимизации.
5. Критерии оптимизации.

По разделу 3.2:

1. Вариационное исчисление. Основные понятия и определения.
2. Задачи Лагранжа, Больца и Майера. Связь между ними.
3. Необходимые условия экстремума функционала. Уравнение Эйлера-Лагранжа.

4. Постановка задач синтеза систем автоматического управления:

- оптимальных по быстродействию,
- оптимальных по расходу ресурсов,
- оптимальных по расходу энергии на управление,
- оптимальных по потерям от управления.

5. Для чего вводят множители Лагранжа?
6. Сформулируйте принцип максимума Понтрягина.
7. Изложите физический смысл функции Гамильтона.
8. В чем состоит принцип оптимальности?
9. Сформулируйте обобщенную задачу оптимального управления.
10. В чем смысл динамического программирования Беллмана?
11. Достоинства метода динамического программирования.

По разделу 3.3:

1. Суть понятий «детерминизм», «адаптация», «интеллектуальность».
2. Итеративные алгоритмы адаптации.

3. Вероятностные итеративные алгоритмы адаптации.
4. Дуальное управление. Алгоритмы дуального управления.
5. Поисковые адаптивные системы автоматического управления.
6. Беспойсковые адаптивные системы автоматического управления.
7. Модели чувствительности.
8. Понятие об экстремальных системах.

По разделу 3.4:

1. Структура интеллектуальной системы.
2. Принципы построения интеллектуальной системы управления.
3. Интеллектуальность в «большом» и «малом».
4. Типовая структурная схема экспертной системы.

4.2 Контрольные работы

Рабочая программа по курсу «Современные проблемы теории управления» предусматривает самостоятельное выполнение студентом в процессе обучения двух контрольных работ.

Контрольная работа № 1. Синтез оптимального управления в линейной системе методом вариационного исчисления

Уравнения динамики объекта являются линейными и записываются в матричном виде

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}u(t),$$

где $\mathbf{x} = [x_1 \quad x_2]^T$ – 2-мерный вектор состояния объекта, u – скалярное управление, а \mathbf{A} и \mathbf{B} – матрицы соответствующих размерностей.

Требуется за время T перевести объект из заданного начального состояния $\mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0$ в конечное состояние $\mathbf{x}(T) = 0$, т.е. решается задача терминального управления.

Необходимо найти вектор оптимального управления $u^\circ(t)$, доставляющий минимум интегрального квадратичного критерия

$$I(u) = \frac{1}{2} \int_0^T u^2 dt.$$

Исходные данные приведены ниже.

Вариант № 1

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -3 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}(0) = \begin{bmatrix} 5 & 2 \end{bmatrix}, \quad T = 2.$$

Вариант № 2

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & -3 \\ -2 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}(0) = \begin{bmatrix} 4 & 4 \end{bmatrix}, \quad T = 5.$$

Вариант № 3

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -5 & -6 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}(0) = \begin{bmatrix} -2 & 4 \end{bmatrix}, \quad T = 3.$$

Вариант № 4

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -2 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}(0) = \begin{bmatrix} -7 & -2 \end{bmatrix}, \quad T = 6.$$

Вариант № 5

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -2 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}(0) = \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix}, \quad T = 4.$$

Вариант № 6

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -4 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}(0) = \begin{bmatrix} 3 & -1 \end{bmatrix}, \quad T = 5.$$

Вариант № 7

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -4 & -4 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}(0) = \begin{bmatrix} -3 & 4 \end{bmatrix}, \quad T = 3.$$

Вариант № 8

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & -3 \\ 1 & -2 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}(0) = \begin{bmatrix} -5 & 5 \end{bmatrix}, \quad T = 2.$$

Вариант № 9

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}(0) = \begin{bmatrix} 2 & 2 \end{bmatrix}, \quad T = 2.$$

Вариант № 10

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & -4 \\ 1 & -4 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}(0) = \begin{bmatrix} -3 & 2 \end{bmatrix}, \quad T = 6.$$

В отчете по контрольной работе №1 необходимо привести

- расчет (включая промежуточные результаты) оптимального управления,
- аналитическое выражение для оптимального управления $u(t)$,
- траекторию движения системы в плоскости состояний.

Контрольная работа № 2. Синтез оптимального управления по методу максимума Понтрягина

Стоит задача определения оптимального управления линейным объектом первого порядка

$$\dot{x} = -ax + bu.$$

Критерий качества квадратичный

$$I(u) = \int_0^T x^2(u, t) dt.$$

На управление $u(t)$ наложено ограничение $|u| \leq M$.

Варианты исходных данных сведены в таблицу.

№ варианта	a	b	T	$x(0)$	M
1	1	3	7	3	9
2	5	2	8	5	20
3	3	1	5	16	4
4	2	5	10	12	8
5	6	4	4	-3	7
6	4	7	9	-6	11
7	8	6	12	-2	4
8	9	8	6	-4	10
9	7	9	3	-9	2
10	3	2	15	6	5

В отчете по контрольной работе №2 необходимо привести результаты моделирования уравнений для получения оптимального управления в виде

- графика зависимости оптимального управления от переменной состояния $u(x)$,
- графика зависимости оптимального управления от времени $u(t)$,
- графика зависимости переменной состояния при оптимальном управлении от времени $x(t)$.

4.3. Составление рефератов

По отдельным темам курса предусмотрено выполнение рефератов. Примерные темы для рефератов приведены ниже.

Основные понятия оптимальных и адаптивных систем управления.

1. Автоматическое управление автомобилем.
2. Современные системы автопилотирования.
3. Автоматические системы фотовидеофиксации нарушений ПДД.
4. Проблемы внедрения автоматических систем управления предприятием.

Современные методы оптимизации.

1. Оптимальное линейное управление.

Современные методы оптимизации.

1. Уравнения Беллмана и их решение.
2. Дискретный вариант уравнений Беллмана.

3. Учет ограничений. Условия трансверсальности.

4. Обобщённая задача оптимального управления.

5. Дискретный вариант уравнений Беллмана.

Варианты построения адаптивных систем автоматического управления.

1. Структурная адаптация.

Рефераты представляются в виде презентаций и докладываются на аудиторных занятиях.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

На практических занятиях решаются задачи по соответствующим разделам дисциплины. Задачи выбираются из сборника задач [4] (разделы 14.1 -14.4).

6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шурыгин Ю.А., Карпов А.Г., Зайченко Т.Н. Целебровский И.В., Кочубинский В.П. Теория и элементы систем автоматики. Томск: Изд-во Томского университета, 2015. – 365 с., с ил. ISBN 978-5-7511-2308-6.
2. Карпов А.Г. Математические основы теории систем. Учебное пособие. - Томск: ТМЛ-Пресс, 2013. – 316 с., с ил.
3. Карпов А.Г. Теория автоматического управления. Учебное пособие. - Ч. 2. - Томск: – ТМЛ-Пресс, 2012. – 264 с. : ил. – Библиогр.: с. 261. ISBN 978-5-9130-2136-6.
4. Малышенко А.М., Вадутов О.С. Сборник тестовых задач по теории автоматического управления. Учебное пособие для вузов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 368 с. : ил. ISBN 5-98-298-103-6.