

ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ  
КАФЕДРА ИНФОРМАТИКИ И ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ

ОДОБРЕНО

НТС ЛАПЛАЗ Протокол №1/04-577 от 27.04.2023 г.

УМС ИИКС Протокол №4/1/2023 от 25.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 01.03.02 Прикладная математика и  
информатика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
7	4	144	32	16	16		35-44	0	Э
Итого	4	144	32	16	16	16	35-44	0	

## АННОТАЦИЯ

Целью освоения учебной дисциплины «Оптимальное управление» является подготовка выпускников по разработке, анализу и оптимизации сложных динамических систем.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины «Оптимальное управление» является подготовка специалистов по разработке, анализу, и оптимизации сложных динамических систем.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Освоение дисциплины предшествует изучению курсов и практикумов, которые требуют знаний, умений и навыков в области проектирования и разработки систем и методов управления дискретно-непрерывными динамическими объектами. При изучении данной дисциплины используется математический аппарат, традиционно применяемый в высшей школе: методы линейной алгебры, теория вероятностей, теория автоматического управления, динамическое программирование.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
Изучение и систематизация новых научных результатов, научной литературы или научно-исследовательских проектов в соответствии с профилем профессиональной деятельности.	Научные статьи и тезисы конференций, научно-технические отчеты, опубликованные результаты научных исследований, соответствующая документация.	ПК-1 [1] - Способен собирать, обрабатывать и интерпретировать результаты научных исследований в области прикладной математики и информационных технологий  <i>Основание:</i>	З-ПК-1[1] - знать основные методы научного познания, методы сбора и анализа информации;; У-ПК-1[1] - уметь анализировать информацию, строить логические схемы, интерпретировать результаты научных

		<p>Профессиональный стандарт: 24.078, 40.011</p>	<p>исследований, критически мыслить, сравнивать результаты различных исследований, формировать собственную позицию в рамках рассматриваемой задачи;  В-ПК-1[1] - владеть навыками работы с научной литературой и навыками интерпретации результатов научных исследований;</p>
<p>анализ, математическое моделирование динамики систем, разработка законов управления</p>	<p>летательные аппараты</p>	<p>ПК-1.3 [1] - способен анализировать и синтезировать системы автоматического управления</p> <p><i>Основание:</i>  Профессиональный стандарт: 32.001</p>	<p>3-ПК-1.3[1] - знать методы анализа и синтеза систем автоматического управления;  У-ПК-1.3[1] - уметь применять методы теории автоматического управления при разработке киберфизических систем;  В-ПК-1.3[1] - владеть навыками использования программного обеспечения для математического моделирования систем автоматического управления</p>
<p>Разработка математических моделей, алгоритмов и методов для решения различных задач.</p>	<p>Математические модели и алгоритмы.</p>	<p>ПК-2 [1] - Способен понимать, применять и совершенствовать современный математический аппарат</p> <p><i>Основание:</i>  Профессиональный стандарт: 06.001, 24.078</p>	<p>3-ПК-2[1] - знать современный математический аппарат, используемый при описании, решении и анализе различных прикладных задач;  У-ПК-2[1] - использовать современный математический аппарат для</p>

			<p>построения математических моделей и алгоритмов решения различных прикладных задач;  В-ПК-2[1] - владеть навыками применения современного математического аппарата для построения математических моделей различных процессов, для обработки экспериментальных, статистических и теоретических данных, для разработки новых алгоритмов и методов исследования задач различных типов</p>
<p>Использование современного математического аппарата, вычислительной техники и программного обеспечения для сбора, анализа и обработки данных.</p>	<p>Данные, описывающие различные физические, технологические, экономические и др. процессы.</p>	<p>ПК-3.1 [1] - способен применять современные методы обработки, анализа и визуализации данных в различных предметных областях с использованием современного математического аппарата и компьютерных технологии</p> <p><i>Основание:</i>  Профессиональный стандарт: 06.001, 06.042</p>	<p>З-ПК-3.1[1] - Знать базовые методы и алгоритмы обработки данных;;  У-ПК-3.1[1] - Уметь использовать современный математический аппарат и цифровые технологии для проведения анализа данных и моделирования физических процессов;  В-ПК-3.1[1] - Владеть навыками обработки и анализа данных, навыками математического моделирования физических процессов</p>
производственно-технологический			
<p>разработка и сопровождение программного обеспечения</p>	<p>информационные и программные системы</p>	<p>ПК-1.2 [1] - способен разрабатывать и применять прикладные программы при решении задач в области</p>	<p>З-ПК-1.2[1] - знать принципы построения и условия применения программ, используемых в задачах разработки и</p>

		<p>киберфизических и информационных систем</p> <p><i>Основание:</i>          Профессиональный стандарт: 24.057,          Анализ опыта:          разработка математического и программного обеспечения киберфизических систем</p>	<p>сопровождения киберфизических и информационных систем;</p> <p>У-ПК-1.2[1] - уметь обоснованно выбирать алгоритмы и программные средства для решения задач проектирования и сопровождения киберфизических и информационных систем;</p> <p>В-ПК-1.2[1] - владеть навыками использования прикладных программ при разработке и моделировании киберфизических и информационных систем</p>
--	--	--	---

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)	1. Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их

		<p>вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед;</li> <li>- формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.</li> </ul>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование профессионально значимых установок: не производить, не копировать и не использовать программные и технические средства, не приобретённые на законных основаниях; не нарушать признанные нормы авторского права; не нарушать тайны передачи сообщений, не практиковать вскрытие информационных систем и сетей передачи данных; соблюдать конфиденциальность доверенной информации (B40)</p>	<p>1. Использование воспитательного потенциала дисциплин "Информатика (Основы программирования)", Программирование (Объектно-ориентированное программирование)", "Программирование (Алгоритмы и структуры данных)" для формирования культуры написания и оформления программ, а также привития навыков командной работы за счет использования систем управления проектами и контроля версий.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплины "Проектная практика" для формирования культуры решения изобретательских задач, развития логического мышления, путем погружения студентов в научную и инновационную деятельность института и вовлечения в проектную работу.</p> <p>3.Использование воспитательного</p>

		<p>потенциала профильных дисциплин для формирования навыков цифровой гигиены, а также системности и гибкости мышления, посредством изучения методологических и технологических основ обеспечения информационной безопасности и кибербезопасности при выполнении и защите результатов учебных заданий и лабораторных работ по криптографическим методам защиты информации в компьютерных системах и сетях.</p> <p>4.Использование воспитательного потенциала дисциплин "Информатика (Основы программирования)", Программирование (Объектно-ориентированное программирование)", "Программирование (Алгоритмы и структуры данных)" для формирования культуры безопасного программирования посредством тематического акцентирования в содержании дисциплин и учебных заданий.</p> <p>5.Использование воспитательного потенциала дисциплины "Проектная практика" для формирования системного подхода по обеспечению информационной безопасности и кибербезопасности в различных сферах деятельности посредством исследования и перенятия опыта постановки и решения научно-практических задач организациями-партнерами.</p>
--	--	--

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары )/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Раздел 1. Элементы теории систем	1-8	16/8/8	ЛР-4 (16), ЛР-8 (16)	32	КИ-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-1.3, У-ПК-1.3, В-ПК-1.3, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1
2	Раздел 2. Теория оптимального управления	9-16	16/8/8	ЛР-12 (5), ЛР-16 (8), КР-16 (5)	18	КИ-16	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-

							1.2, У- ПК- 1.2, В- ПК- 1.2, 3-ПК- 1.3, У- ПК- 1.3, В- ПК- 1.3, 3-ПК- 2, У- ПК-2, В- ПК-2, 3-ПК- 3.1, У- ПК- 3.1, В- ПК- 3.1
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		32/16/16		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>				50	Э	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 1.3, У- ПК- 1.3, В- ПК- 1.3, 3-ПК- 2, У- ПК-2, В- ПК-2, 3-ПК- 3.1,

							У-ПК-3.1, В-ПК-3.1
--	--	--	--	--	--	--	--------------------

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
ЛР	Лабораторная работа
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	32	16	16
<b>1-8</b>	<b>Раздел 1. Элементы теории систем</b>	16	8	8
1 - 2	<b>1.1 Основные понятия теории систем</b> Понятие системы. Классификация систем. Функциональные временные модели систем «вход-выход». Системы с непрерывным и дискретным временем. Стационарные системы управления. Понятие динамической системы. Методы проектирования систем управления. Структура систем управления. Объект управления, измерительная и исполнительная части системы. Математические модели систем управления. Векторно-матричное описание динамической системы. Переходная функция состояния системы. Основные свойства переходной матрицы системы. Методы вычисления переходной матрицы линейной динамической системы с постоянными параметрами.	Всего аудиторных часов		
		4	2	2
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 6	<b>1.2 Анализ динамических систем</b> Устойчивость систем «вход-выход». Управляемость динамических систем. Понятие нормальности системы. Наблюдаемость динамических систем. Соотношение двойственности. Оценка вектора состояния линейной динамической системы. Наблюдатель Люенбергера. Область достижимых состояний. Соединения динамических систем. Условия Гильберта.	Всего аудиторных часов		
		8	2	2
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	<b>1.3 Вычислительные алгоритмы</b> Алгоритмы расчета коэффициентов характеристического многочлена и передаточной функции динамической системы. Приведение матричных дифференциальных	Всего аудиторных часов		
		4	4	4
		Онлайн		
		0	0	0

	уравнений второго порядка к форме Коши.			
<b>9-16</b>	<b>Раздел 2. Теория оптимального управления</b>	16	8	8
9	<b>2.1 Критерии качества</b> Классификация задач оптимального управления. Понятие целевой функции. Основные методы задания целевой функции. Постановка задачи синтеза цифровых систем оптимального управления и методы ее решения.	Всего аудиторных часов		
		2	2	2
		Онлайн		
		0	0	0
10 - 14	<b>2.2. Решение задач синтеза оптимального управления с помощью принципа максимума Понтрягина</b> Постановка задачи оптимального быстродействия. Основное теоретическое неравенство принципа максимума. Условие максимума. Функция Гамильтона. Теорема Куна-Таккера. Определение оптимального по быстродействию управления из условий Куна-Таккера. Теорема о числе переключений. Условия трансверсальности. Гамильтониан системы. Вывод условий принципа максимума для задачи оптимального быстродействия. Задача Цермело. Проектирование систем, оптимальных по быстродействию, методом фазовой плоскости. Принцип максимума для задач управления с интегральным критерием качества. Терминальные задачи управления.	Всего аудиторных часов		
		10	2	2
		Онлайн		
		0	0	0
15 - 16	<b>2.3. Определение оптимальных законов управления на основе математического аппарата динамического программирования</b> Принцип оптимальности. Метод динамического программирования. Функциональное уравнение Беллмана. Задачи синтеза линейного оптимального регулятора. Свойства коэффициента Риккати. Задача синтеза оптимальных законов стабилизации объекта управления. Решение дискретного уравнения Риккати. Предельные свойства дискретно-непрерывной системы. Анализ чувствительности матрицы коэффициентов Риккати и матрицы обратной связи по отношению к периоду квантования.	Всего аудиторных часов		
		4	4	4
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>7 Семестр</i>
1 - 4	<b>Лабораторная работа №1</b> Управление полюсами динамической системы в условиях полной информации о векторе состояния.
5 - 8	<b>Лабораторная работа №2</b> Управление полюсами динамической системы в условиях неполной информации о векторе состояния.
9 - 12	<b>Лабораторная работа №3</b> Управление нулями и коэффициентами усиления динамической системы.
13 - 16	<b>Лабораторная работа №4</b> Синтез наблюдающих устройств.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Дидактической основой выполнения лабораторного практикума по дисциплине является метод учебного проектирования, предусматривающий:

- получение студентами теоретических знаний в ходе лекций и при самостоятельной работе с материалами учебных пособий, размещенных в библиотеке университета;
- формирование навыков применения сведений теоретического и аналитического характера при решении конкретных задач в ходе проведения контрольно-измерительных мероприятий по разделам курса.

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1	З-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16, ЛР-8, ЛР-12, ЛР-16, КР-16
	У-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16, ЛР-4, ЛР-8, ЛР-12, ЛР-16, КР-16
	В-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16, ЛР-4, ЛР-8, ЛР-12, ЛР-16, КР-16
ПК-2	З-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-16, ЛР-4, ЛР-8, ЛР-12, ЛР-16, КР-16
	У-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-16, ЛР-4, ЛР-8, ЛР-12, ЛР-16, КР-16
	В-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-16, ЛР-4, ЛР-8, ЛР-12, ЛР-16, КР-16
ПК-3.1	З-ПК-3.1	Э, КИ-8, КИ-16, ЛР-4, ЛР-8,

		ЛР-12, ЛР-16, КР-16
	У-ПК-3.1	Э, КИ-8, КИ-16, ЛР-4, ЛР-8, ЛР-12, ЛР-16, КР-16
	В-ПК-3.1	Э, КИ-8, КИ-16, ЛР-4, ЛР-8, ЛР-12, ЛР-16, КР-16
ПК-1.2	З-ПК-1.2	КИ-8, КИ-16, ЛР-4, ЛР-8, ЛР-12, ЛР-16, КР-16
	У-ПК-1.2	КИ-8, КИ-16, ЛР-4, ЛР-8, ЛР-12, ЛР-16, КР-16
	В-ПК-1.2	КИ-8, КИ-16, ЛР-4, ЛР-8, ЛР-12, ЛР-16, КР-16
ПК-1.3	З-ПК-1.3	Э, КИ-8, КИ-16, ЛР-4, ЛР-8, ЛР-12, ЛР-16, КР-16
	У-ПК-1.3	Э, КИ-8, КИ-16, ЛР-4, ЛР-8, ЛР-12, ЛР-16, КР-16
	В-ПК-1.3	Э, КИ-8, КИ-16, ЛР-4, ЛР-8, ЛР-12, ЛР-16, КР-16

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 –	F	Оценка «неудовлетворительно»

	«неудовлетворительно»		выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.
--	-----------------------	--	--

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. ЭИ В58 Методы оптимизации и оптимального управления : учебное пособие для вузов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
2. 519 В58 Методы оптимизации и оптимального управления : учебное пособие для вузов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
3. 517 О-62 Оптимальное управление : , Э. М. Галеев [и др.], Москва: МЦНМО, 2008

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 681.5 К91 Теория и проектирование цифровых систем управления : , Куо Б.;Пер.с англ., М.: Машиностроение, 1986

### **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:**

1. Программный комплекс по курсу "Оптимальное управление" (В-416)

### **LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:**

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

### **СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

1. Управление полюсами динамической системы в условиях полной информации о векторе состояния

- Определение оптимального управления для динамической системы для случая скалярного входа методом Кожинской.
- Определение оптимального управления для динамической системы для случая векторного входа методом Кожинской.
- Определение оптимального управления для динамической системы для случая скалярного входа методом Кузовкова.
- Определение оптимального управления для динамической системы для случая векторного входа методом Кузовкова.

2. Управление полюсами динамической системы в условиях неполной информации о векторе состояния

- Определение оптимального управления для динамической системы для случая скалярного входа методом Кожинской.
- Определение оптимального управления для динамической системы для случая векторного входа методом Кожинской.
- Определение оптимального управления для динамической системы для случая скалярного входа методом Кузовкова.
- Определение оптимального управления для динамической системы для случая векторного входа методом Кузовкова.

3. Управление нулями и коэффициентами усиления динамической системы

Решение задачи синтеза звена разомкнутого цикла, обеспечивающего заранее заданные значения нулей и коэффициентов усиления многомерной системы.

4. Синтез наблюдающих устройств

- Решение задачи синтеза наблюдающего устройства идентификации.
- Решение задачи синтеза устройства для наблюдения линейного функционала переменных состояния объекта.

1. При изучении всех тем обращать внимание на иллюстрации к доказательствам, поскольку они облегчают восприятие физического смысла рассматриваемых процессов.

2. Для того, чтобы усвоить методы определения оптимального управления, необходимо после лекции сначала разобраться в примерах, разобранных на занятиях, а затем прорешать их самостоятельно без конспектов.

3. Изучение математических методов модального управления производится в рамках лабораторного практикума, для решения задач разрешается пользоваться как встроенным матричным калькулятором, так и средами программирования типа Maple, Matlab, Matcad.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Курс состоит из двух разделов.

Первый раздел – это теория систем, поскольку перед тем как перейти к рассмотрению оптимального управления необходимо дать студентам обзор по теории систем, методам проектирования систем управления, их математическим моделям и характеристикам. В этом

разделе также целесообразно остановиться на структуре систем управления и характеристиках свободного и вынужденного движения систем – устойчивости, управляемости и нормальности. Далее вводится понятие наблюдаемости системы и рассматривается вопрос оценки вектора состояния с помощью наблюдателя. После этого необходимо остановиться на последовательном, параллельном соединениях подсистем и соединении с помощью обратной связи, определить условия управляемости и наблюдаемости соединений подсистем – условия Гильберта. В заключение данного раздела курса рекомендуется дать студентам основные вычислительные алгоритмы, применяемые для анализа качества систем, и рассмотреть вопрос приведения матричных дифференциальных уравнений второго порядка к форме Коши, поскольку именно на эту форму описания систем опираются основные алгоритмы теории оптимального управления.

Второй раздел курса связан с рассмотрением методов определения оптимального управления в системах с непрерывным и дискретным временем. Сначала приводится классификация задач оптимального управления, вводится понятие целевой функции, основных методов ее задания, дается постановка задачи синтеза дискретно-непрерывных систем оптимального управления и методы ее решения.

Для решения задачи поиска оптимального управления в непрерывных системах применяется принцип максимума Понтрягина, изучение которого целесообразно начать с решения наиболее простой задачи – задачи оптимального быстродействия. Для этого необходимо привести вывод основного теоретического неравенства принципа максимума, доказательство условия максимума, доказательство основных теорем: теоремы Куна-Таккера и теоремы о числе переключений. Для обобщения полученных результатов на класс задач, в которых начальные и конечные состояния составляют некоторые области, вводятся условия трансверсальности. Далее рассматривается вопрос синтеза систем, оптимальных по быстродействию, методом фазовой плоскости. Для анализа движения объекта в подвижной среде рассматривается задача Цермело. После этого для закрепления материала рекомендуется дать студентам для решения несколько задач на отработку тех или иных параметров за минимальное время.

Далее условия принципа максимума, полученные для задач оптимального быстродействия, распространяются на более широкий класс задач - задачи управления с интегральным критерием качества; причем на основе решения задачи оптимального быстродействия выводятся условия максимума для задач управления стационарными системами с интегральным критерием качества, а на основе условий для стационарного случая выводятся условия принципа максимума для нестационарных задач управления с интегральным критерием качества. После этого рассматривается общий принцип максимума, т.е. класс задач, критерий качества которых включает в себя как интегральную, так и терминальную составляющие. Для закрепления материала целесообразно дать для решения ряд задач на общий принцип максимума.

Вторая тема данного раздела посвящена определению оптимального управления в дискретных системах с помощью математического аппарата динамического программирования. В рамках данной темы вводится понятие принципа оптимальности, на основе которого выводятся функциональное уравнение Беллмана. В качестве примера подробно рассматривается решение задачи синтеза линейного оптимального цифрового регулятора на конечном и бесконечном интервалах времени. Попутно доказываются теоремы, определяющие свойства коэффициента Риккати и наличие решения на бесконечном интервале. В заключение данного раздела опять же рекомендуется решить несколько задач для закрепления материала.

Автор(ы):

Колобашкина Любовь Викторовна