

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 15.04.06 Мехатроника и робототехника

Наименование образовательной программы: Разработка компьютерных технологий управления и математического моделирования в робототехнике и мехатронике

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**МЕТОДЫ И ТЕОРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ**


<b>Блок:</b>	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
<b>Часть образовательной программы:</b>	Обязательная
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.О.06
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	3 семестр - 5;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	180 часов
<b>Лекции</b>	3 семестр - 16 часов;
<b>Практические занятия</b>	3 семестр - 48 часа;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	3 семестр - 2 часа;
<b>Самостоятельная работа</b>	3 семестр - 113,5 часов;
<b>в том числе на КП/КР</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Иная контактная работа</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>включая:</b> <b>Контрольная работа</b> <b>Отчет</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	3 семестр - 0,5 часа;

**Москва 2021**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Меркурьев И.В.
	Идентификатор	Rd52c763c-MerkuryevIV-1e4a883c

(подпись)


И.В. Меркурьев

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Свириденко О.В.
	Идентификатор	R9097b88f-SviridenkoOV-16830d5f

(подпись)


О.В.

Свириденко

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Меркурьев И.В.
	Идентификатор	Rd52c763c-MerkuryevIV-1e4a883c

(подпись)

И.В. Меркурьев

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение основ современной теории оптимизации, адаптивного и оптимального управления технологическими процессами, методов описания в пространстве состояний и синтеза оптимальных алгоритмов во временной области

### Задачи дисциплины

- освоение принципиальных отличий современной теории оптимального управления теплотехническими объектами от классической теории;
- освоение методов описания систем в пространстве состояний;
- приобретение навыков приложения теоретических знаний синтеза оптимальных алгоритмов к решению задач управления реальными технологическими объектами ТЭС и АЭС.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности	ИД-1 <sub>ОПК-1</sub> Применяет математический аппарат численных методов, разрабатывает алгоритмы нахождения оптимального значения	знать: - основы теории адаптивного управления и идентификации; - методы получения оптимальных алгоритмов; - основные методы статической и динамической оптимизации.  уметь: - разрабатывать компьютерные программы моделирования оптимальных систем регулирования; - делать рациональный выбор метода синтеза оптимального алгоритма управления; - обосновывать выбор типа переменных состояния объекта управления.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Разработка компьютерных технологий управления и математического моделирования в робототехнике и мехатронике (далее – ОПОП), направления подготовки 15.04.06 Мехатроника и робототехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать современными информационными технологиями и навыками использования компьютера как средства работы с информацией;
- знать понятиями и основными алгоритмами теории автоматического управления, математического анализа и математической логики;
- уметь практическими навыками программирования на языке высокого уровня;
- уметь численными методами решения систем дифференциальных и алгебраических уравнений, методами интерполирования и приближения функций.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.



### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Введение в теорию оптимального управления	20	3	2	-	10	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Введение в теорию оптимального управления" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 12-15 [5], 17-21 [8], 10-13	
1.1	Введение в теорию оптимального управления	20		2	-	10	-	-	-	-	-	8	-		
2	Статическая и динамическая оптимизация	30		4	-	10	-	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Статическая и динамическая оптимизация" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Статическая и динамическая оптимизация" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [5], 53-67 [8], 111-132
2.1	Статическая и динамическая оптимизация	30		4	-	10	-	-	-	-	-	-	16	-	
3	Принцип максимума Понтрягина в задачах оптимального управления	31		4	-	10	-	-	-	-	-	-	17	-	
3.1	Принцип максимума	31	4	-	10	-	-	-	-	-	-	17	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Принцип максимума Понтрягина в задачах оптимального управления и подготовка к контрольной работе	

	Понтрягина в задачах оптимального управления												<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Принцип максимума Понтрягина в задачах оптимального управления"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], 137-140 [2], 121-140 [3], 230-245 [4], 342-372 [5], 132-143 [7], 101-121</p>
4	Метод динамического программирования в задачах управления	37	3	-	10	-	-	-	-	-	24	-	<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Метод динамического программирования в задачах управления и подготовка к контрольной работе</p>
4.1	Метод динамического программирования в задачах управления	37	3	-	10	-	-	-	-	-	24	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Метод динамического программирования в задачах управления"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[3], 301-333 [5], 168-189</p>
5	Адаптивное управление по локальному критерию	26	3	-	8	-	-	-	-	-	15	-	<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Адаптивное управление по локальному критерию и подготовка к контрольной работе</p>
5.1	Адаптивное управление по локальному критерию	26	3	-	8	-	-	-	-	-	15	-	<p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[4], 237-250 [5], 231-250 [6], 400-420</p>
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>180.0</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>48</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>80</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>180.0</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>48</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>113.5</b>			

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

## **3.2 Краткое содержание разделов**

### 1. Введение в теорию оптимального управления

#### 1.1. Введение в теорию оптимального управления

Введение в теорию оптимизации и оптимального управления. Статическая и динамическая оптимизация. Основные отличительные особенности теории оптимального управления. Постановка задачи оптимального управления. Критерии оптимальности. Методы описания и решения. Виды ограничений. Состояние объекта управления.

### 2. Статическая и динамическая оптимизация

#### 2.1. Статическая и динамическая оптимизация

Статическая оптимизация. Методы поиска безусловного экстремума критерия оптимальности. Необходимые и достаточные условия минимума. Критерий Сильвестра. Методы условной оптимизации при наличии автономных ограничений-неравенств и ограничений типа связей. Многокритериальная оптимизация. Множество Парето. Схемы компромиссов. Динамическая оптимизация. Необходимые и достаточные условия минимума функционала. Обобщение задачи безусловной оптимизации на случай многих переменных. Линейное программирование в задачах оптимального управления.

### 3. Принцип максимума Понтрягина в задачах оптимального управления

#### 3.1. Принцип максимума Понтрягина в задачах оптимального управления

Принцип максимума Понтрягина в задачах оптимального управления. Функция Гамильтона. Необходимые условия оптимальности в форме Понтрягина. Максимальные по быстрдействию системы управления. Определение стратегии и алгоритма оптимального управления. Влияние возмущений и неточности задания параметров объекта на качество и устойчивость систем максимального быстрдействия. Системы с минимальным расходом топлива.

### 4. Метод динамического программирования в задачах управления

#### 4.1. Метод динамического программирования в задачах управления

Метод динамического программирования в задачах управления. Принцип оптимальности. Функция минимальной ошибки. Функциональное и дифференциальное уравнения Беллмана. Уравнение Гамильтона-Якоби. Синтез оптимальных алгоритмов управления методом динамического программирования. Взаимосвязь уравнений Эйлера-Лагранжа, Понтрягина и Гамильтона-Якоби-Беллмана. Матричное уравнение Риккати линейного оптимального управления и его решение. Применение метода динамического программирования к задачам Майера и Больца.

### 5. Адаптивное управление по локальному критерию

#### 5.1. Адаптивное управление по локальному критерию

Рекуррентные методы идентификации параметров модели объекта. Идентификация с использованием расширенного фильтра Калмана. Двухэтапный алгоритм идентификации. Применение сглаживающих процедур в алгоритмах идентификации. Идентификационный метод синтеза адаптивного управления. Синтеза адаптивного управления с эталонной моделью. Синтез адаптивного управление на основе принципа разделения. Исследование потерь на адаптацию.



### **3.3. Темы практических занятий**

1. Системный подход при оптимизации. Анализ исходной информации научно-технического проекта и составление содержательной части технического задания на разработку и проектирование мехатронной и робототехнической системы конкретного назначения и исполнения. (6 ч.);
2. Применение методов классического вариационного исчисления для решения задач оптимизации конструктивных параметров, оптимального управления и оценивания в конкретных технических системах: мобильных, манипуляционных роботах, вибрационных микромеханических гироскопах. (6 ч.);
3. Применение методов линейного и нелинейного программирования для решения прикладных задач по регламенту робототехнических соревнований и стендовых испытаний мехатронной и робототехнической системы. (6 ч.);
4. Методы оптимального управления движением мобильного манипуляционного робота КУ-КА. (10 ч.);
5. Оценка точности выполнения программных движений робота КУКА.(10ч.);
6. Оптимизация конструктивных параметров робототехнической системы (14 ч.).

### **3.4. Темы лабораторных работ** не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

#### *Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)*

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Введение в теорию оптимального управления"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Статическая и динамическая оптимизация"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Принцип максимума Понтрягина в задачах оптимального управления"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Метод динамического программирования в задачах управления"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Адаптивное управление по локальному критерию"

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ** Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)					Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	5	
<b>Знать:</b>							
основные методы статической и динамической оптимизации	ИД-1 <sub>ОПК-1</sub>		+				Контрольная работа/Контрольная работа № 1 «Метод динамического программирования Беллмана для дискретных систем» Контрольная работа/Контрольная работа № 2 «Метод динамического программирования Беллмана для непрерывных систем» Контрольная работа/Контрольная работа №3 «Принцип максимума Понтрягина».
методы получения оптимальных алгоритмов	ИД-1 <sub>ОПК-1</sub>	+					Контрольная работа/Контрольная работа № 1 «Метод динамического программирования Беллмана для дискретных систем»
основы теории адаптивного управления и идентификации	ИД-1 <sub>ОПК-1</sub>					+	Контрольная работа/Контрольная работа №3 «Принцип максимума Понтрягина». Отчет/Самостоятельная работа «Оценка точности выполнения программных движений робота».
<b>Уметь:</b>							
обосновывать выбор типа переменных состояния объекта управления	ИД-1 <sub>ОПК-1</sub>				+		Контрольная работа/Контрольная работа № 2 «Метод динамического программирования Беллмана для непрерывных систем»
делать рациональный выбор метода синтеза оптимального алгоритма управления	ИД-1 <sub>ОПК-1</sub>			+			Контрольная работа/Контрольная работа №3 «Принцип максимума Понтрягина».
разрабатывать компьютерные программы моделирования оптимальных систем регулирования	ИД-1 <sub>ОПК-1</sub>		+				Отчет/Самостоятельная работа «Оценка точности выполнения программных движений робота».

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

#### **3 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Контрольная работа № 2 «Метод динамического программирования Беллмана для непрерывных систем» (Контрольная работа)
2. Самостоятельная работа «Оценка точности выполнения программных движений робота». (Отчет)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа № 1 «Метод динамического программирования Беллмана для дискретных систем» (Контрольная работа)
2. Контрольная работа №3 «Принцип максимума Понтрягина». (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

Экзамен (Семестр №3)

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Алексеев, В. М. Оптимальное управление : учебник для вузов по математическим направлениям и специальностям / В. М. Алексеев, В. М. Тихомиров, С. В. Фомин . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Физматлит, 2005 . – 384 с. – (Классический университетский учебник) . - ISBN 5-922105-89-2 .;
2. Алексеев, В. М. Сборник задач по оптимизации. Теория. Примеры. Задачи : учебное пособие для математических специальностей вузов / В. М. Алексеев, Э. М. Галеев, В. М. Тихомиров . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Физматлит, 2007 . – 256 с. – (Классический университетский учебник) . - ISBN 978-5-922105-90-3 .;
3. Власов, К. П. Теория автоматического управления. Основные положения. Примеры расчета : учебное пособие по направлению 220200 "Автоматизация и управление" / К. П. Власов . – 2-е изд., испр. и доп . – Харьков : Гуманитарный центр, 2013 . – 544 с. - ISBN 978-966-8324-84-0 .;
4. Егоров, А. И. Основы теории управления / А. И. Егоров . – М. : Физматлит, 2007 . – 504 с. - ISBN 978-5-922105-43-9 .;
5. Ким, Д. П. Теория автоматического управления. Т.1. Линейные системы : учебник для вузов по направлению 220200 "Автоматизация и управление" / Д. П. Ким . – 2-е изд., испр. и доп . – М. : Физматлит, 2007 . – 312 с. - ISBN 978-5-922108-57-7 .;
6. Ким, Д. П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы : учебник для вузов по направлению 220200

"Автоматизация и управление" / Д. П. Ким . – 2-е изд., испр. и доп . – М. : Физматлит, 2007 . – 440 с. - ISBN 978-5-922108-58-4 .;

7. Ким, Д. П. Теория автоматического управления. Линейные системы. Задачник : учебное пособие для академического бакалавриата / Д. П. Ким, Н. Д. Дмитриева . – 2-е изд., испр. и доп . – М. : Юрайт, 2017 . – 169 с. – (Бакалавр. Академический курс) . - ISBN 978-5-534-00917-0 .;

8. А. В. Соколов, В. В. Токарев- "Методы оптимальных решений", (3-е изд., испр. и доп.), Издательство: "Физматлит", Москва, 2012 - (562 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457697>.

## **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Майнд Видеоконференции;
4. Mathematica.

## **5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:**

1. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
4. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
8. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
9. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
10. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
11. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
12. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
13. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>
14. Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации - <https://minobrnauki.gov.ru>
15. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.ru>

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	С-215, Учебная аудитория	стол, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения практических	С-215, Учебная аудитория	стол, стул, доска меловая

занятий, КР и КП		
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	С-215, Учебная аудитория	стол, стул, доска меловая
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	С-213, Учебная аудитория	стол, стул, доска меловая

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Методы и теория оптимизации

(название дисциплины)

#### 3 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Контрольная работа № 1 «Метод динамического программирования Беллмана для дискретных систем» (Контрольная работа)
- КМ-2 Контрольная работа № 2 «Метод динамического программирования Беллмана для непрерывных систем» (Контрольная работа)
- КМ-3 Контрольная работа №3 «Принцип максимума Понтрягина». (Контрольная работа)
- КМ-4 Самостоятельная работа «Оценка точности выполнения программных движений робота». (Отчет)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	15
1	Введение в теорию оптимального управления					
1.1	Введение в теорию оптимального управления		+			
2	Статическая и динамическая оптимизация					
2.1	Статическая и динамическая оптимизация		+	+	+	+
3	Принцип максимума Понтрягина в задачах оптимального управления					
3.1	Принцип максимума Понтрягина в задачах оптимального управления				+	
4	Метод динамического программирования в задачах управления					
4.1	Метод динамического программирования в задачах управления			+		
5	Адаптивное управление по локальному критерию					
5.1	Адаптивное управление по локальному критерию				+	+
Вес КМ, %:			25	25	25	25