

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

---

Направление подготовки/специальность: 27.04.04 Управление в технических системах

Наименование образовательной программы: Управление и информатика в технических системах

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Обязательная</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.О.05</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>1 семестр - 5;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>180 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>1 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>1 семестр - 16 часов;</b>
<b>Консультации</b>	<b>1 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>1 семестр - 129,5 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Тестирование</b> <b>Лабораторная работа</b> <b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>1 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сидорова Е.Ю.
	Идентификатор	R0dee6ce9-SidorovaYY-923dc6a8

Е.Ю. Сидорова

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Бобряков А.В.
	Идентификатор	R2c90f415-BobriakovAV-70dec1fa

А.В. Бобряков

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Бобряков А.В.
	Идентификатор	R2c90f415-BobriakovAV-70dec1fa

А.В. Бобряков

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** формирование знаний о методах решения задач оптимизации систем автоматического управления (САУ)

### Задачи дисциплины

- освоение вариационного метода определения оптимального управления техническими системами;
- приобретение навыков решения задач оптимизации САУ с применением принципа максимума Понтрягина и принципа динамического программирования;
- освоение метода оптимизации многошаговых процессов на основе принципа Беллмана.

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 анализировать и выявлять естественно-научную сущность проблем управления в технических системах на основе положений, законов и методов в области естественных наук и математики	ИД-2 <sub>ОПК-1</sub> Может проводить анализ и выявлять естественно-научную сущность проблемы управления в технической системе	знать: - основные определения и термины теории оптимального управления.  уметь: - формировать уравнения необходимых условий и производить расчеты оптимальных законов управления.
ОПК-2 Способен формулировать задачи управления в технических системах и обосновывать методы их решения	ИД-1 <sub>ОПК-2</sub> Демонстрирует знание методов решения задач управления в технических системах	знать: - содержательные элементы формирования гамильтониана для определения условий оптимизации принципа максимума.  уметь: - на основании исходных данных задачи обоснованно избирать допустимый метод решения и согласно методу составлять уравнения для определения оптимального управления.
ОПК-8 Способен выбирать методы и разрабатывать системы управления сложными техническими объектами и технологическими процессами	ИД-1 <sub>ОПК-8</sub> Демонстрирует знание принципов, алгоритмов и методов управления процессами сложных технических объектов	уметь: - применять метод динамического программирования для решение дискретных задач оптимизации.
ОПК-8 Способен выбирать методы и разрабатывать системы управления сложными техническими объектами и технологическими процессами	ИД-2 <sub>ОПК-8</sub> Может обоснованно выбирать методы управления процессами сложных технических объектов, разрабатывать	знать: - уравнения Эйлера-Лагранжа как необходимые условия задач оптимизации систем автоматического управления.

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
процессами	функциональные и структурные схемы систем управления	

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Управление и информатика в технических системах (далее – ОПОП), направления подготовки 27.04.04 Управление в технических системах, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне высшего образования (бакалавриат, специалитет).

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	Постановка и формализация задач оптимального управления	14	1	4	-	-	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Подготовка к тесту на знание основных терминов теории оптимального управления <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 277-284 [2], стр. 4-11 [3], стр. 11-15	
1.1	Постановка и формализация задач оптимального управления	14		4	-	-	-	-	-	-	-	-	10		-
2	Методы классического вариационного исчисления	40		12	4	-	-	-	-	-	-	-	24	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Подготовка к контрольной работе «Решение задач оптимального управления» <b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Подготовка к лабораторной работе № 1 <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 285-296 [2], стр. 11-32 [3], стр. 22-50
2.1	Методы классического вариационного исчисления	40		12	4	-	-	-	-	-	-	-	24	-	
3	Принцип максимума	56		10	8	-	-	-	-	-	-	-	38	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Подготовка к контрольной работе «Решение задач оптимального управления» <b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Подготовка к лабораторным работам № 2 и 3 <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 297-307 [2], стр. 33-46 [3], стр. 51-76
3.1	Принцип максимума	56		10	8	-	-	-	-	-	-	-	38	-	

4	Метод динамического программирования	34		6	4	-	-	-	-	-	-	24	-	<u><b>Подготовка к контрольной работе:</b></u> Подготовка к контрольной работе «Решение задач оптимального управления» <u><b>Подготовка к лабораторной работе:</b></u> Подготовка к лабораторной работе № 4 <u><b>Изучение материалов литературных источников:</b></u> [1], стр. 307-315 [2], стр. 47-71 [3], стр. 121-140
4.1	Метод динамического программирования	34		6	4	-	-	-	-	-	-	24	-	
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	180.0		32	16	-	-	2	-	-	0.5	96	33.5	
	Итого за семестр	180.0		32	16	-		2	-		0.5	129.5		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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. Постановка и формализация задач оптимального управления

##### 1.1. Постановка и формализация задач оптимального управления

Постановка задачи оптимального управления (ЗОУ). Пример постановки ЗОУ. Классификация задач оптимального управления..

#### 2. Методы классического вариационного исчисления

##### 2.1. Методы классического вариационного исчисления

Методы классического вариационного исчисления в задачах оптимального управления. Необходимые условия экстремума функционала (вывод). Каноническая форма записи уравнений Эйлера-Лагранжа. Задачи с закрепленными и свободными концами и интегральными ограничениями..

#### 3. Принцип максимума

##### 3.1. Принцип максимума

Принцип максимума для ЗОУ с закрепленными концами траектории и фиксированным временем (вывод). Принцип максимума для линейных объектов управления, теорема об  $n$ -интервалах. Теорема принципа максимума для задач Больца с интегральными ограничениями, подвижными концами и нефиксированным временем. Принцип максимума для задач оптимальности по быстродействию..

#### 4. Метод динамического программирования

##### 4.1. Метод динамического программирования

Метод динамического программирования для непрерывных и дискретных динамических систем. Каноническая форма записи необходимых условий оптимальности..

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

не предусмотрено

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Определение оптимальной стратегии для дискретного многошагового процесса;
2. Задача оптимального быстродействия при сближении двух движущихся объектов;
3. Необходимые условия для задачи оптимизации динамических систем на основе принципа максимума;
4. Необходимые условия для задачи оптимизации динамических систем на основе уравнений Эйлера-Лагранжа.

### **3.5 Консультации**

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

1. Обсуждение материалов раздела "Постановка и формализация задач оптимального управления"
2. Обсуждение материалов раздела "Методы классического вариационного исчисления"
3. Обсуждение материалов раздела "Принцип максимума"
4. Обсуждение материалов раздела "Метод динамического программирования"

### **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	
<b>Знать:</b>						
основные определения и термины теории оптимального управления	ИД-2 <sub>ОПК-1</sub>	+	+			Тестирование/«Тест на знание основных терминов теории оптимального управления»
содержательные элементы формирования гамильтониана для определения условий оптимизации принципа максимума	ИД-1 <sub>ОПК-2</sub>			+		Лабораторная работа/Защита лабораторных работ № 2 «Необходимые условия для задачи оптимизации динамических систем на основе принципа максимума» и № 3 «Задача оптимального быстродействия при сближении двух движущихся объектов»
уравнения Эйлера-Лагранжа как необходимые условия задач оптимизации систем автоматического управления	ИД-2 <sub>ОПК-8</sub>		+			Лабораторная работа/Защита лабораторной работы № 1 «Необходимые условия для задачи оптимизации динамических систем на основе уравнений Эйлера-Лагранжа»
<b>Уметь:</b>						
формировать уравнения необходимых условий и производить расчеты оптимальных законов управления	ИД-2 <sub>ОПК-1</sub>		+	+	+	Контрольная работа/«Решение задач оптимального управления»
на основании исходных данных задачи обоснованно избирать допустимый метод решения и согласно методу составлять уравнения для определения оптимального управления	ИД-1 <sub>ОПК-2</sub>			+		Лабораторная работа/Защита лабораторных работ № 2 «Необходимые условия для задачи оптимизации динамических систем на основе принципа максимума» и № 3 «Задача оптимального быстродействия при сближении двух движущихся объектов»
применять метод динамического программирования для решение дискретных задач оптимизации	ИД-1 <sub>ОПК-8</sub>				+	Лабораторная работа/Выполнение лабораторной работы № 4 «Определение оптимальной стратегии для дискретного многошагового процесса»

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

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

#### **1 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Выполнение лабораторной работы № 4 «Определение оптимальной стратегии для дискретного многошагового процесса» (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. «Тест на знание основных терминов теории оптимального управления» (Тестирование)

Форма реализации: Смешанная форма

1. «Решение задач оптимального управления» (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита лабораторной работы № 1 «Необходимые условия для задачи оптимизации динамических систем на основе уравнений Эйлера-Лагранжа» (Лабораторная работа)
2. Защита лабораторных работ № 2 «Необходимые условия для задачи оптимизации динамических систем на основе принципа максимума» и № 3 «Задача оптимального быстрогодействия при сближении двух движущихся объектов» (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

#### Экзамен (Семестр №1)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 1 семестр.

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

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

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

1. Д. П. Ким- "Теория автоматического управления", (2-е изд., испр. и доп.), Издательство: "Физматлит", Москва, 2007 - (440 с.)

[https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=69280;](https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=69280)

2. Коломейцева, М. Б. Адаптация и оптимизация в системах автоматического управления : учебное пособие по курсам "Теория управления", "Теория автоматического управления", "Основы теории цифрового управления" по направлениям "Автоматизация и управление", "Информатика и вычислительная техника", "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" / М. Б. Коломейцева, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2010 . – 116 с. - ISBN 978-5-383-00440-1 .

[http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=1662;](http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=1662)

3. Методы классической и современной теории автоматического управления: В 5 т. Т.4.: Теория оптимизации систем автоматического управления : Учебник для вузов по машиностроительным и приборостроительным специальностям / Ред. К. А. Пупков, Н. Д. Егупов . – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004 . – 744 с. - ISBN 5-7038-2192-4 ..

### 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др).

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
7. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
8. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	М-307, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	М-307, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	М-304а/1, Учебная лаборатория моделирования систем и анализа данных	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, компьютер персональный
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	М-307, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер

Помещения для самостоятельной работы	НТБ-201, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	М-305, Преподавательская каф. "УиИ"	кресло рабочее, стол, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	М-309, Кладовая	стол, стул, шкаф для хранения инвентаря
	М-301/1, Кладовая	стул

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Оптимальное управление

(название дисциплины)

#### 1 семестр

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

- КМ-1 «Тест на знание основных терминов теории оптимального управления» (Тестирование)
- КМ-2 Защита лабораторной работы № 1 «Необходимые условия для задачи оптимизации динамических систем на основе уравнений Эйлера-Лагранжа» (Лабораторная работа)
- КМ-3 Защита лабораторных работ № 2 «Необходимые условия для задачи оптимизации динамических систем на основе принципа максимума» и № 3 «Задача оптимального быстрогодействия при сближении двух движущихся объектов» (Лабораторная работа)
- КМ-4 «Решение задач оптимального управления» (Контрольная работа)
- КМ-5 Выполнение лабораторной работы № 4 «Определение оптимальной стратегии для дискретного многошагового процесса» (Лабораторная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	8	12	14	15
1	Постановка и формализация задач оптимального управления						
1.1	Постановка и формализация задач оптимального управления		+				
2	Методы классического вариационного исчисления						
2.1	Методы классического вариационного исчисления		+	+		+	
3	Принцип максимума						
3.1	Принцип максимума				+	+	
4	Метод динамического программирования						
4.1	Метод динамического программирования					+	+
Вес КМ, %:			20	20	30	25	5