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

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

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
(должность)	(подпись)	(расшифровка подписи)

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
(должность, ученая степень, ученое звание)	(подпись)	(расшифровка подписи)
Заведующий выпускающей кафедры	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Бобряков А.В. Идентификатор: R2c90f415-BobriakovAV-70dec1fa	А.В. Бобряков
(должность, ученая степень, ученое звание)	(подпись)	(расшифровка подписи)

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-2 Способен формулировать задачи управления в технических системах и обосновывать методы их решения	ИД-1$_{ОПК-2}$ Демонстрирует знание методов решения задач управления в технических системах	знать: - основные определения и термины теории оптимального управления. 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-1$_{ОПК-8}$ Демонстрирует знание принципов, алгоритмов и методов управления процессами сложных технических объектов	знать: - уравнения Эйлера-Лагранжа как необходимые условия задач оптимизации систем автоматического управления. уметь: - формировать уравнения необходимых условий и производить расчеты оптимальных законов управления.
ОПК-8 Способен выбирать методы и разрабатывать системы управления сложными техническими объектами и технологическими процессами	ИД-2$_{ОПК-8}$ Может обоснованно выбирать методы управления процессами сложных технических объектов, разрабатывать функциональные и структурные схемы систем управления	знать: - содержательные элементы формирования гамильтониана для определения условий оптимизации принципа максимума. уметь: - на основании исходных данных задачи обоснованно избирать оптимальный допустимый метод решения и согласно методу составлять уравнения для определения оптимального 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 среднего общего образования.

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	-	***Подготовка к текущему контролю:*** Подготовка к тесту на знание основных терминов теории оптимального управления ***Изучение материалов литературных источников:*** [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	-	***Подготовка к контрольной работе:*** Подготовка к контрольной работе «Решение задач оптимального управления» ***Подготовка к лабораторной работе:*** Подготовка к лабораторной работе № 1 ***Изучение материалов литературных источников:*** [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	-	***Подготовка к контрольной работе:*** Подготовка к контрольной работе «Решение задач оптимального управления» ***Подготовка к лабораторной работе:*** Подготовка к лабораторным работам № 2 и 3 ***Изучение материалов литературных источников:*** [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	-	***Подготовка к контрольной работе:*** Подготовка к контрольной работе «Решение задач оптимального управления» ***Подготовка к лабораторной работе:*** Подготовка к лабораторной работе № 4 ***Изучение материалов литературных источников:*** [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; 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. 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	
Знать:						
основные определения и термины теории оптимального управления	ИД-1$_{ОПК-2}$	+	+			Тестирование/«Тест на знание основных терминов теории оптимального управления»
уравнения Эйлера-Лагранжа как необходимые условия задач оптимизации систем автоматического управления	ИД-1$_{ОПК-8}$	+	+			Лабораторная работа/Защита лабораторной работы № 1 «Необходимые условия для задачи оптимизации динамических систем на основе уравнений Эйлера-Лагранжа»
содержательные элементы формирования гамильтониана для определения условий оптимизации принципа максимума	ИД-2$_{ОПК-8}$	+		+		Лабораторная работа/Защита лабораторной работы № 2 «Необходимые условия для задачи оптимизации динамических систем на основе принципа максимума»
Уметь:						
применять метод динамического программирования для решение дискретных задач оптимизации	ИД-1$_{ОПК-2}$	+			+	Лабораторная работа/Защита лабораторной работы № 4 «Определение оптимальной стратегии для дискретного многошагового процесса»
формировать уравнения необходимых условий и производить расчеты оптимальных законов управления	ИД-1$_{ОПК-8}$	+		+		Лабораторная работа/Защита лабораторной работы № 3 «Задача оптимального быстродействия при сближении двух движущихся объектов»
на основании исходных данных задачи обоснованно избирать оптимальный допустимый метод решения и согласно методу составлять уравнения для определения оптимального управления	ИД-2$_{ОПК-8}$	+	+	+	+	Контрольная работа/«Решение задач оптимального управления»

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: 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 лабораторной работы № 2 «Необходимые условия для задачи оптимизации динамических систем на основе принципа максимума» (Лабораторная работа)
3. Защита лабораторной работы № 3 «Задача оптимального быстродействия при сближении двух движущихся объектов» (Лабораторная работа)
4. Защита лабораторной работы № 4 «Определение оптимальной стратегии для дискретного многошагового процесса» (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;
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/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=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. Майнд Видеоконференции.

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
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, 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, 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, мультимедийный проектор, экран
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
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	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

Приложение А

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Оптимальное управление

(название дисциплины)

1 семестр

Перечень контрольных мероприятий <u>текущего контроля</u> 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 лабораторной работы № 2 «Необходимые условия для задачи оптимизации динамических систем на основе принципа максимума» (Лабораторная работа)

КМ-4 Защита лабораторной работы № 3 «Задача оптимального быстродействия при сближении двух движущихся объектов» (Лабораторная работа)

КМ-5 Защита лабораторной работы № 4 «Определение оптимальной стратегии для дискретного многошагового процесса» (Лабораторная работа)

КМ-6 «Решение задач оптимального управления» (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	4	8	12	12	15	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	15	15	15	15	20