

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИУЦТ



С.П. Вакуленко

06 октября 2020 г.

Кафедра «Цифровые технологии управления транспортными процессами»

Автор Эпштейн Георгий Львович, к.т.н., доцент

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Теория оптимального управления



Направление подготовки: 01.03.02 – Прикладная математика и информатика

Профиль: Математические модели в экономике и технике

Квалификация выпускника: Бакалавр

Форма обучения: очная

Год начала подготовки 2020

<p style="text-align: center;">Одобрено на заседании Учебно-методической комиссии института Протокол № 3 05 октября 2020 г. Председатель учебно-методической комиссии</p>  <p style="text-align: right;">Н.А. Клычева</p>	<p style="text-align: center;">Одобрено на заседании кафедры</p> <p style="text-align: center;">Протокол № 2 02 октября 2020 г. Заведующий кафедрой</p>  <p style="text-align: right;">В.Е. Нутович</p>
--	--

Рабочая программа учебной дисциплины (модуля) в виде электронного документа выгружена из единой корпоративной информационной системы управления университетом и соответствует оригиналу

Простая электронная подпись, выданная РУТ (МИИТ)
ID подписи: 5665
Подписал: Заведующий кафедрой Нутович Вероника Евгеньевна
Дата: 02.10.2020

Москва 2020 г.

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Основной целью изучения учебной дисциплины «Теория оптимального управления» является формирование у обучающегося компетенций в области применения методов оптимального управления для проектной и научно-исследовательской деятельности.

Целями освоения учебной дисциплины «Теория оптимального управления» являются:

- формирование личности студента, развитие его интеллекта и умения логически и алгоритмически мыслить;
- формирование умений и навыков, необходимых при практическом применении теории оптимального управления при поиске оптимальных решений и их реализации;
- подготовка к изучению специальных курсов, использующих методы оптимального управления.

Настоящая программа составлена в соответствии с утвержденным образовательным стандартом и согласована с содержанием последующих дисциплин, использующих методы оптимального управления.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Учебная дисциплина "Теория оптимального управления" относится к блоку 1 "Дисциплины (модули)" и входит в его вариативную часть.

2.1. Наименования предшествующих дисциплин

Для изучения данной дисциплины необходимы следующие знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами:

2.1.1. Вариационное исчисление:

Знания: общих определений и понятий, относящихся к ЛНП и к понятиям функционалов и операторов в ЛНП.

Умения: отмечать и обосновывать сходимость последовательностей (близость элементов) в различных ЛНП (прежде всего – в различных функциональных пространствах).

Навыки: владения набором базовых знаний по разделу и подходами к постановке возникающих задач на экстремум.

2.1.2. Дифференциальные уравнения:

Знания: доступных современных информационных и компьютерных технологий, применяемых в исследовательской и прикладной деятельности.

Умения: использовать в научной и познавательной деятельности, а также в социальной сфере профессиональные навыки работы с информационными и компьютерными технологиями.

Навыки: использовать компьютерные технологии в научной и познавательной деятельности.

2.1.3. Методы оптимизации:

Знания: основных понятий теории оптимизации, вариационного исчисления и теории управления, основных классов задач оптимизации и основных алгоритмов решения задач математического программирования.

Умения: применять изученные оптимизационные алгоритмы для решения конкретных практических задач.

Навыки: решения оптимизационных задач, программной реализации методов оптимизации.

2.1.4. Функциональный анализ:

Знания: основных свойств функциональных пространств, свойств непрерывных линейных функционалов и линейных операторов в линейных нормированных пространствах, основных понятий теории меры и интеграла Лебега; основных типов интегральных уравнений и связанных с ними операторов.

Умения: исследовать функционалы и операторы средствами функционального анализа, применять интегралы Лебега и Стильтьеса, исследовать множества в функциональных пространствах и пространствах с мерой, решать интегральные уравнения, решать прикладные задачи с использованием методов функционального анализа.

Навыки: решения задач функционального анализа и решения интегральных уравнений.

2.2. Наименование последующих дисциплин

Результаты освоения дисциплины используются при изучении последующих учебных дисциплин:

2.2.1. Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

В результате освоения дисциплины студент должен:

№ п/п	Код и название компетенции	Ожидаемые результаты
1	ПКС-1 Уметь ставить цели создания системы, разрабатывать концепцию системы и требования к ней, выполнять декомпозицию требований к системе	ПКС-1.1 В достаточном объеме владеет понятиями и фактами из области математических, а также других естественно-научных дисциплин. ПКС-1.2 Умеет формулировать постановку задачи и излагать ее.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ И АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСАХ

4.1. Общая трудоемкость дисциплины составляет:

7 зачетных единиц (252 ак. ч.).

4.2. Распределение объема учебной дисциплины на контактную работу с преподавателем и самостоятельную работу обучающихся

Вид учебной работы	Количество часов		
	Всего по учебному плану	Семестр 7	Семестр 8
Контактная работа	116	68,15	48,15
Аудиторные занятия (всего):	116	68	48
В том числе:			
лекции (Л)	58	34	24
лабораторные работы (ЛР)(лабораторный практикум) (ЛП)	58	34	24
Самостоятельная работа (всего)	82	58	24
Экзамен (при наличии)	54	54	0
ОБЩАЯ трудоемкость дисциплины, часы:	252	180	72
ОБЩАЯ трудоемкость дисциплины, зач.ед.:	7.0	5.0	2.0
Текущий контроль успеваемости (количество и вид текущего контроля)	КР (1), ПК1, ПК2	ПК1, ПК2	КР (1), ПК1
Виды промежуточной аттестации (экзамен, зачет)	ЗаО, ЭК	ЭК	ЗаО

4.3. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

№ п/п	Семестр	Тема (раздел) учебной дисциплины	Виды учебной деятельности в часах/ в том числе интерактивной форме						Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
			Л	ЛР	ПЗ/ТП	КСР	СР	Всего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7	Раздел 1 Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	18	18			29	65	
2	7	Тема 1.1 Постановка задач оптимального управления	2					2	
3	7	Тема 1.2 Теорема о необходимых условиях оптимальности методика решения задач оптимального управления	2					2	
4	7	Тема 1.3 Примеры решения задач оптимального управления первого порядка.	2					2	, Отчёт по лабораторным работам
5	7	Тема 1.4 Примеры решения задач оптимального управления объектами второго порядка.	2					2	
6	7	Тема 1.5 Линейные оптимальные быстродействия	2					2	, Отчёт по лабораторным работам
7	7	Тема 1.6 Решение простейшей задачи о быстродействии в форме программного управления и в форме синтеза.	2					2	
8	7	Тема 1.7 Семейство изохрон. Аналитическое и численное построение семейства изохрон. Область управляемости.	2					2	ПК1, Отчёт по лабораторным работам
9	7	Тема 1.8 Фазовые портреты линейных оптимальных систем с вещественными собственными значениями.	2					2	
10	7	Тема 1.9	2					2	,

№ п/п	Семестр	Тема (раздел) учебной дисциплины	Виды учебной деятельности в часах/ в том числе интерактивной форме						Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
			Л	ЛР	ПЗ/ТП	КСР	СР	Всего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Фазовые портреты линейных оптимальных систем с комплексными собственными значениями							Отчёт по лабораторным работам
11	7	Раздел 2 Решение некоторых технических задач оптимального управления.	16	16			29	61	
12	7	Тема 2.1 Постановка задачи оптимального заряда конденсатора. Вывод уравнений объекта. Запись задачи оптимального управления в относительных единицах.	2					2	
13	7	Тема 2.2 Решение задачи об оптимальном заряде конденсатора с помощью принципа максимума.	2					2	
14	7	Тема 2.3 Постановка задачи оптимального управления поездом по критерию минимума механической энергии.	2	16				18	
15	7	Тема 2.4 Понижение порядка задачи и вывод основных соотношений принципа максимума.	2					2	
16	7	Тема 2.5 Основные леммы и граф смены режимов.	2					2	ПК2, Отчёт по лабораторным работам
17	7	Тема 2.6 Итеративные методы решения задачи оптимального управления поездом.	2					2	, Доклад
18	7	Тема 2.7 Учёт ограничений скорости движения. Понятие о	2					2	, Доклад

№ п/п	Семестр	Тема (раздел) учебной дисциплины	Виды учебной деятельности в часах/ в том числе интерактивной форме						Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
			Л	ЛР	ПЗ/ТП	КСР	СР	Всего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		формализме Милютина – Дубовицкого.							
19	7	Тема 2.8 Понятие о задаче оптимального управления поездом по критерию расхода электроэнергии.	2					2	Доклад, Отчёт по лабораторным работам
20	7	Экзамен						54	ЭК
21	8	Раздел 5 Динамическое программирование в задачах оптимального управления.	24	24			14	62	
22	8	Тема 5.1 Принцип оптимальности и вывод уравнения Беллмана в частных производных.	6					6	
23	8	Тема 5.2 Постановка нестационарной задачи АКОР. Функция и уравнение Беллмана для этой задачи.	6					6	
24	8	Тема 5.3 Решение нестационарной задачи АКОР.	2					2	
25	8	Тема 5.4 Постановка стационарной задачи АКОР с условием асимптотической устойчивости.	2					2	ПК1, Отчёт по лабораторным работам
26	8	Тема 5.5 Решение стационарной задачи АКОР.	2	24				26	
27	8	Тема 5.6 Примеры аналитического решения стационарной задачи АКОР.	2					2	
28	8	Тема 5.7 Теорема Репина – Третьякова для решения стационарной задачи АКОР.	4					4	Отчёт по лабораторным работам

№ п/п	Семестр	Тема (раздел) учебной дисциплины	Виды учебной деятельности в часах/ в том числе интерактивной форме						Формы текущего контроля успеваемости и промежу- точной аттестации
			Л	ЛР	ПЗ/ТП	КСР	СР	Всего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
29	8	Раздел 6 Курсовая работа					10	10	, Защита
30	8	Раздел 7 Дифференцированный зачёт						0	ЗаО
31		Всего:	58	58			82	252	

4.4. Лабораторные работы / практические занятия

Практические занятия учебным планом не предусмотрены.

Лабораторные работы предусмотрены в объеме 58 ак. ч.

№ п/п	№ семестра	Тема (раздел) учебной дисциплины	Наименование занятий	Всего часов/ из них часов в интерактивной форме
1	2	3	4	5
1	7	РАЗДЕЛ 1 Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	Изучение задания и методических указаний.	2
2	7	РАЗДЕЛ 1 Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	Исследование динамических характеристик управляемого объекта	2
3	7	РАЗДЕЛ 1 Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	Построение фазового портрета системы при нулевом управлении.	2
4	7	РАЗДЕЛ 1 Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	Постановка задачи оптимального быстродействия для заданного объекта.	2
5	7	РАЗДЕЛ 1 Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	Вывод и анализ соотношений принципа максимума. Графическое построение линий переключения.	2
6	7	РАЗДЕЛ 1 Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	Вывод уравнений непрерывности и их численное решение.	2
7	7	РАЗДЕЛ 1 Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	Построение программного оптимального управления.	2
8	7	РАЗДЕЛ 1 Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	Построение изохрон и оценка области управляемости.	2
9	7	РАЗДЕЛ 1 Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	Защита лабораторных работ раздела 1.	2
10	7	РАЗДЕЛ 2 Решение некоторых технических задач оптимального управления. Тема: Постановка задачи оптимального управления поездом по критерию минимума механической энергии.	Изучение задания и методических указаний к лабораторным работам раздела 2.	2

№ п/п	№ семестра	Тема (раздел) учебной дисциплины	Наименование занятий	Всего часов/ из них часов в интерактивной форме
1	2	3	4	5
11	7	РАЗДЕЛ 2 Решение некоторых технических задач оптимального управления. Тема: Постановка задачи оптимального управления поездом по критерию минимума механической энергии.	Разработка и графическое представление функций максимальной тяги и максимального служебного торможения.	2
12	7	РАЗДЕЛ 2 Решение некоторых технических задач оптимального управления. Тема: Постановка задачи оптимального управления поездом по критерию минимума механической энергии.	Построение процессов разгона и торможения.	2
13	7	РАЗДЕЛ 2 Решение некоторых технических задач оптимального управления. Тема: Постановка задачи оптимального управления поездом по критерию минимума механической энергии.	Вычисление условно оптимальной траектории движения поезда при заданной скорости стабилизации.	2
14	7	РАЗДЕЛ 2 Решение некоторых технических задач оптимального управления. Тема: Постановка задачи оптимального управления поездом по критерию минимума механической энергии.	Разработка итерационного процесса вычисления скорости стабилизации, удовлетворяющей заданному времени хода.	2
15	7	РАЗДЕЛ 2 Решение некоторых технических задач оптимального управления. Тема: Постановка задачи оптимального управления поездом по критерию минимума механической энергии.	Определение точек пути и соответствующих моментов времени, в которых изменяется режим движения.	2

№ п/п	№ семестра	Тема (раздел) учебной дисциплины	Наименование занятий	Всего часов/ из них часов в интерактивной форме
1	2	3	4	5
16	7	РАЗДЕЛ 2 Решение некоторых технических задач оптимального управления. Тема: Постановка задачи оптимального управления поездом по критерию минимума механической энергии.	Построение оптимальной траектории.	2
17	7	РАЗДЕЛ 2 Решение некоторых технических задач оптимального управления. Тема: Постановка задачи оптимального управления поездом по критерию минимума механической энергии.	Защита лабораторных работ раздела 2.	2
18	8	РАЗДЕЛ 5 Динамическое программирование в задачах оптимального управления. Тема: Решение стационарной задачи АКОР.	Изучение задания и методических указаний к лабораторным работам раздела 5.	10
19	8	РАЗДЕЛ 5 Динамическое программирование в задачах оптимального управления. Тема: Решение стационарной задачи АКОР.	Аналитическое и численное исследование динамики неуправляемого объекта.	2
20	8	РАЗДЕЛ 5 Динамическое программирование в задачах оптимального управления. Тема: Решение стационарной задачи АКОР.	Постановка стационарной задачи АКОР для заданного объекта.	2
21	8	РАЗДЕЛ 5 Динамическое программирование в задачах оптимального управления. Тема: Решение стационарной задачи АКОР.	Вывод методом динамического программирования уравнения для вычисления коэффициентов обратной связи.	2

№ п/п	№ семестра	Тема (раздел) учебной дисциплины	Наименование занятий	Всего часов/ из них часов в интерактивной форме
1	2	3	4	5
22	8	РАЗДЕЛ 5 Динамическое программирование в задачах оптимального управления. Тема: Решение стационарной задачи АКОР.	Вычисление коэффициентов оптимального регулятора на основе теоремы Репина-Третьякова.	2
23	8	РАЗДЕЛ 5 Динамическое программирование в задачах оптимального управления. Тема: Решение стационарной задачи АКОР.	Расчёт оптимального процесса.	2
24	8	РАЗДЕЛ 5 Динамическое программирование в задачах оптимального управления. Тема: Решение стационарной задачи АКОР.	Защита лабораторных работ раздела 5.	4
ВСЕГО:				58/0

4.5. Примерная тематика курсовых проектов (работ)

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Во всех заданиях предполагается, что управляемый объект представлен передаточной функцией $W(p)$. Поэтому в первом пункте всех вариантов надо перейти от передаточной функции к уравнению “вход - выход”, а затем к уравнениям состояния объекта в нормальной форме (см. ПРИЛОЖЕНИЕ 1).

Единичное начальное условие задается только по координате положения управляемого объекта.

В вариантах 1 – 4 величина управляющего воздействия ограничена по модулю. Если область управляемости окажется ограниченной, то один из вариантов начальных условий должен быть подобран внутри области управляемости.

В вариантах 5 – 8 функционал – интеграл от квадратичной формы координаты положения, ее первых двух производных и управления.

В варианте 9 к функционалу вариантов 5 – 8 добавляется квадратичная форма координаты положения и ее первых двух производных в момент окончания процесса.

Вариант 1.

- 1) Поставить и исследовать задачу оптимального быстродействия.
- 2) Разработать программу для численного решения двухточечной задачи оптимального быстродействия.
- 3) Найти оптимальное управление и оптимальную траекторию для заданного начального условия.
- 4) Для начального условия из п.3 построить зависимость оптимального времени от величины ограничения на управление.

Вариант 2.

- 1) Поставить задачу оптимального быстродействия и найти вид оптимального управления с помощью принципа максимума.
- 2) Разработать программу для численного решения задачи оптимального быстродействия с заданными граничными условиями.
- 3) Вычислить оптимальное управление и оптимальную траекторию для заданного начального условия.
- 4) Построить зависимость оптимального времени от начального значения координаты положения объекта.

Вариант 3.

- 1) Поставить и исследовать задачу оптимального быстродействия.
- 2) Разработать алгоритм численного решения задачи оптимального быстродействия для произвольных начальных условий.
- 3) Найти оптимальное управление и оптимальную траекторию для заданного начального условия в окрестности границы области управляемости.
- 4) Оценить размеры области управляемости по координате положения объекта.

Вариант 4.

- 1) Поставить задачу оптимального быстродействия и найти вид оптимального управления с помощью принципа максимума.
- 2) Разработать и реализовать алгоритм численного решения задачи оптимального быстродействия.
- 3) Построить оптимальные управления и оптимальные траектории для нескольких начальных точек.
- 4) Численно определить зависимость размера области управляемости по координате положения объекта от ограничения на управляющее воздействие.

Вариант 5.

- 1) Поставить задачу АКОР с учетом требования асимптотической устойчивости и стационарности системы объект – регулятор.
- 2) Решить задачу АКОР методом динамического программирования.
- 3) Найти непосредственные показатели качества переходных процессов по координате положения для системы с оптимальным регулятором.
- 4) Построить зависимости непосредственных показателей качества от коэффициентов функционала.

Вариант 6.

- 1) Поставить задачу АКОР для стационарной системы объект – регулятор.
- 2) Вывести и решить матричное уравнение для коэффициентов регулятора.
- 3) Определить время регулирования и перерегулирование для процессов в оптимальной системе.
- 4) Найти коэффициенты функционала, обеспечивающие апериодические переходные процессы по координате положения объекта.

Вариант 7.

- 1) Поставить задачу АКОР с учетом требования асимптотической устойчивости и стационарности системы объект – регулятор.
- 2) Разработать программу для численного решения задачи АКОР.
- 3) Разработать процедуру вычисления показателей качества переходных процессов для системы с оптимальным регулятором.

4) Построить на комплексной плоскости годографы корней характеристического уравнения при изменении коэффициентов функционала.

Вариант 8.

- 1) Поставить задачу АКОР для стационарной системы объект – регулятор.
- 2) Разработать алгоритм и программу для вычисления коэффициентов оптимального регулятора.
- 3) Найти показатели качества переходных процессов для системы с оптимальным регулятором.
- 4) Построить переходные процессы с учетом реальных измерителей координат состояния. Определить требования к постоянным времени измерителей, обеспечивающим близость показателей качества при идеальных и реальных измерениях.

Вариант 9.

- 1) Поставить задачу АКОР для управления объектом на конечном интервале.
- 2) Разработать алгоритм и программу для вычисления функциональных коэффициентов оптимального регулятора.
- 3) Разработать программу для исследования процессов в замкнутой системе.
- 4) Построить зависимости точности конечного состояния объекта от коэффициентов терминального члена функционала.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Преподавание дисциплины «Теория оптимального управления» осуществляется в форме лекций и лабораторных занятий.

Лекции проводятся в традиционной классно-урочной организационной форме, по типу управления познавательной деятельностью.

Лабораторные занятия организованы с использованием программы компьютерной математики MATHCAD.

Самостоятельная работа студента организована с использованием традиционных видов работы и интерактивных технологий. К традиционным видам работы относятся отработка лекционного материала и отработка отдельных тем по учебным пособиям. К интерактивным (диалоговым) технологиям относятся интерактивные консультации в режиме реального времени по разделам и темам.

Оценка полученных знаний, умений и навыков основана на модульно-рейтинговой технологии. Весь курс разбит на 3 основных раздела, представляющих собой логически завершённый объём учебной информации. Фонды оценочных средств освоенных компетенций включают как вопросы теоретического характера для оценки знаний, так и задания практического содержания для оценки умений и навыков. Теоретические знания проверяются путём применения таких организационных форм, как индивидуальные и групповые опросы, индивидуальное решение задач.

Проведение занятий по дисциплине возможно с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, реализуемые с применением информационно-телекоммуникационных сетей при опосредованном (на расстоянии) взаимодействии обучающихся и педагогических работников.

В процессе проведения занятий с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий применяются современные образовательные технологии, такие как (при необходимости):

- использование современных средств коммуникации;
- электронная форма обмена материалами;
- дистанционная форма групповых и индивидуальных консультаций;
- использование компьютерных технологий и программных продуктов, необходимых для сбора и систематизации информации, проведения требуемых программой расчетов и т.д.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

№ п/п	№ семестра	Тема (раздел) учебной дисциплины	Вид самостоятельной работы студента. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы	Всего часов
1	2	3	4	5
1	7	РАЗДЕЛ 1 Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	Теорема о необходимых условиях оптимальности методика решения задач оптимального управления. [1], стр. 6-25, 46-49.	3
2	7	РАЗДЕЛ 1 Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	Примеры решения задач оптимального управления [1], стр. 29-45.	3
3	7	РАЗДЕЛ 1 Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	Линейные оптимальные быстродействия. [1], стр. 50-54.	3
4	7	РАЗДЕЛ 1 Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	Решение простейшей задачи о быстродействии в форме программного управления и в форме синтеза. [1], стр.54-58.	4
5	7	РАЗДЕЛ 1 Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	Семейство изохрон. Аналитическое и численное построение семейства изохрон. [1], стр.58-59.	3
6	7	РАЗДЕЛ 1 Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	Область управляемости динамических систем. [1], стр. 60-62	4
7	7	РАЗДЕЛ 1 Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	Теорема об n интервалах. [1], стр. 62-65.	3
8	7	РАЗДЕЛ 1 Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	Фазовые портреты линейных оптимальных систем с вещественными собственными значениями. [2], стр. 4-16.	3
9	7	РАЗДЕЛ 1 Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	Фазовые портреты линейных оптимальных систем с комплексными собственными значениями [2], стр. 17-26.	3
10	7	РАЗДЕЛ 2 Решение некоторых технических задач оптимального управления.	Постановка задачи оптимального заряда конденсатора. Вывод уравнений объекта. Запись задачи оптимального управления в относительных единицах. [2], стр. 58-63	4
11	7	РАЗДЕЛ 2 Решение некоторых технических задач оптимального управления.	Решение задачи об оптимальном заряде конденсатора с помощью принципа максимума. [2], стр. 58-63.	3
12	7	РАЗДЕЛ 2 Решение некоторых технических задач оптимального	Постановка задачи оптимального управления поездом по критерию минимума механической энергии.	4

		управления.	[2], стр. 49-51	
13	7	РАЗДЕЛ 2 Решение некоторых технических задач оптимального управления.	Понижение порядка задачи и вывод основных соотношений принципа максимума. [2], стр. 52-54.	3
14	7	РАЗДЕЛ 2 Решение некоторых технических задач оптимального управления.	Анализ основных соотношений принципа максимума. [2], стр. 54-55.	4
15	7	РАЗДЕЛ 2 Решение некоторых технических задач оптимального управления.	Основные леммы и граф смены режимов. [2], стр.	4
16	7	РАЗДЕЛ 2 Решение некоторых технических задач оптимального управления.	Итеративные методы решения задачи оптимального управления поездом. [2], стр. 56,57.	4
17	7	РАЗДЕЛ 2 Решение некоторых технических задач оптимального управления.	Учёт ограничений скорости движения. Понятие о формализме Милютина – Дубовицкого. [2], стр.57,58.	3
18	8	РАЗДЕЛ 5 Динамическое программирование в задачах оптимального управления.	Принцип оптимальности. [2], стр. 27,29.	2
19	8	РАЗДЕЛ 5 Динамическое программирование в задачах оптимального управления.	Метод Репина - Третьякова. [2], стр. 42-47.	2
20	8	РАЗДЕЛ 5 Динамическое программирование в задачах оптимального управления.	Решение стационарной задачи АКОР. [2], стр. 39-42.	2
21	8	РАЗДЕЛ 5 Динамическое программирование в задачах оптимального управления.	Постановка стационарной задачи АКОР. [2], стр. 36-39.	2
22	8	РАЗДЕЛ 5 Динамическое программирование в задачах оптимального управления.	Решение нестационарной задачи АКОР.	2
23	8	РАЗДЕЛ 5 Динамическое программирование в задачах оптимального	Постановка нестационарной задачи АКОР. [2], стр.31-33.	2

		управления.		
24	8	РАЗДЕЛ 5 Динамическое программирование в задачах оптимального управления.	Вывод уравнения Беллмана в частных производных. [2], стр. 29-31.	2
25	8	РАЗДЕЛ 6 Курсовая работа	Темы курсовых работ указаны в п. 4.5. [3], стр. 3-39.	10
ВСЕГО:				82

7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

7.1. Основная литература

№ п/п	Наименование	Автор (ы)	Год и место издания Место доступа	Используется при изучении разделов, номера страниц
1	Введение в теорию оптимального управления. Часть 1.	Эпштейн Г.Л., Иванова А.П.	М.: МИИТ, 2017 НТБ МИИТ	все разделы
2	Введение в теорию оптимального управления. Часть 2.	Эпштейн Г.Л., Иванова А.П.	М.: МИИТ, 2017 НТБ МИИТ	все разделы
3	Теория оптимального управления. Методические указания для выполнения курсовой работы.	Эпштейн Г.Л.	М.: МИИТ, 2007 НТБ МИИТ	раздел 3

7.2. Дополнительная литература

№ п/п	Наименование	Автор (ы)	Год и место издания Место доступа	Используется при изучении разделов, номера страниц
4	Оптимальное управление	В.М. Алексеев, В.М. Тихомиров, С.В. Фомин	Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 2005 НТБ (фб.)	все разделы
5	Сборник задач по оптимизации. Теория. Примеры. Задачи	В.М.Алексеев, Э.М.Галеев, В.М.Тихомиров	Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 2005 НТБ (фб.); НТБ (чз.1)	раздел 1

8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ "ИНТЕРНЕТ", НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1. <http://library.miit.ru/> - электронно-библиотечная система Научно-технической библиотеки МИИТ.
2. <https://s3.amazonaws.com/MusicNotes/prak.pdf>. Линейная теория оптимального управления. Ю.Н. Киселев, С.Н. Аввакумов, М.В. Орлов. М. МГУ, 2007, 270 с.
3. <http://rzd.ru/> - сайт ОАО «РЖД».
3. <http://elibrary.ru/> - научно-электронная библиотека.
4. Поисковые системы: Yandex, Google, Mail.

9. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Для проведения лекционных занятий необходима специализированная лекционная аудитория с мультимедиа аппаратурой и интерактивной доской.

Для проведения практических занятий необходимы компьютеры с рабочими местами в компьютерном классе. Компьютеры должны быть обеспечены стандартными лицензионными программными продуктами и обязательно программным продуктом Microsoft Office не ниже Microsoft Office 2007 (2013) и MathCad.

При организации обучения по дисциплине с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий необходим доступ каждого студента к информационным ресурсам – библиотечному фонду Университета, сетевым ресурсам и информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

В случае проведения занятий с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий может понадобиться наличие следующего программного обеспечения (или их аналогов): ОС Windows, Microsoft Office, Интернет-браузер, Microsoft Teams и т.д.

В образовательном процессе, при проведении занятий с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, могут применяться следующие средства коммуникаций: ЭИОС РУТ(МИИТ), Microsoft Teams, электронная почта, скайп, Zoom, WhatsApp и т.п.

10. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Для проведения аудиторных занятий и самостоятельной работы требуется:

1. Рабочее место преподавателя с персональным компьютером, подключённым к сетям INTERNET и INTRANET.
2. Специализированная лекционная аудитория с мультимедиа аппаратурой и интерактивной доской.
3. Компьютерный класс. Рабочие места студентов в компьютерном классе, подключённые к сетям INTERNET и INTRANET
4. Для проведения практических занятий: компьютерный класс; компьютеры с минимальными требованиями – Pentium 4, ОЗУ 4 ГБ, HDD 100 ГБ, USB 2.0.

В случае проведения занятий с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий необходимо наличие компьютерной техники, для организации коллективных и индивидуальных форм общения педагогических работников со студентами, посредством используемых средств коммуникации.

Допускается замена оборудования его виртуальными аналогами.

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Обучающимся необходимо помнить, что качество полученного образования в немалой степени зависит от активной роли самого обучающегося в учебном процессе.

Обучающийся должен быть нацелен на максимальное усвоение подаваемого лектором материала, после лекции и во время специально организуемых индивидуальных встреч он может задать лектору интересующие его вопросы.

Лекционные занятия составляют основу теоретического обучения и должны давать систематизированные основы знаний по дисциплине, раскрывать состояние и перспективы развития соответствующей области науки, концентрировать внимание обучающихся на наиболее сложных и узловых вопросах, стимулировать их активную познавательную деятельность и способствовать формированию творческого мышления.

Главная задача лекционного курса – сформировать у обучающихся системное представление об изучаемом предмете, обеспечить усвоение будущими специалистами основополагающего учебного материала, принципов и закономерностей развития соответствующей научно-практической области, а также методов применения полученных знаний, умений и навыков.

Основные функции лекций: 1. Познавательно-обучающая; 2. Развивающая; 3. Ориентирующе-направляющая; 4. Активизирующая; 5. Воспитательная; 6.

Организирующая; 7. Информационная.

Выполнение практических заданий служит важным связующим звеном между теоретическим освоением данной дисциплины и применением ее положений на практике. Они способствуют развитию самостоятельности обучающихся, более активному освоению учебного материала, являются важной предпосылкой формирования профессиональных качеств будущих специалистов.

Проведение практических занятий не сводится только к органическому дополнению лекционных курсов и самостоятельной работы обучающихся. Их вместе с тем следует рассматривать как важное средство проверки усвоения обучающимися тех или иных положений, даваемых на лекции, а также рекомендуемой для изучения литературы; как форма текущего контроля за отношением обучающихся к учебе, за уровнем их знаний, а следовательно, и как один из важных каналов для своевременного подтягивания отстающих обучающихся.

При подготовке специалиста важны не только серьезная теоретическая подготовка, знание основ надежности подвижного состава, но и умение ориентироваться в разнообразных практических ситуациях, ежедневно возникающих в его деятельности. Этому способствует форма обучения в виде практических занятий. Задачи практических занятий: закрепление и углубление знаний, полученных на лекциях и приобретенных в процессе самостоятельной работы с учебной литературой, формирование у обучающихся умений и навыков работы с исходными данными, научной литературой и специальными документами. Практическому занятию должно предшествовать ознакомление с лекцией на соответствующую тему и литературой, указанной в плане этих занятий.

Самостоятельная работа может быть успешной при определенных условиях, которые необходимо организовать. Ее правильная организация, включающая технологии отбора целей, содержания, конструирования заданий и организацию контроля, систематичность самостоятельных учебных занятий, целесообразное планирование рабочего времени позволяет привить студентам умения и навыки в овладении, изучении, усвоении и систематизации приобретаемых знаний в процессе обучения, привить навыки повышения профессионального уровня в течение всей трудовой деятельности.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтра. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения учебной дисциплины, рассмотрены через соответствующие знания, умения и владения. Для проверки уровня освоения дисциплины предлагаются вопросы к экзамену и тестовые материалы, где каждый вариант содержит задания, разработанные в рамках основных тем учебной дисциплины и включающие терминологические задания.

Фонд оценочных средств является составной частью учебно-методического обеспечения процедуры оценки качества освоения образовательной программы и обеспечивает повышение качества образовательного процесса и входит, как приложение, в состав рабочей программы дисциплины.

Основные методические указания для обучающихся по дисциплине указаны в разделе основная и дополнительная литература.

Основными направлениями самостоятельной работы студентов в течение каждого учебного семестра являются:

- текущая работа над учебным материалом – ознакомление с рекомендуемой литературой и источниками;

- подготовка к очередным практическим занятиям;
- ведение самостоятельных записей на основании работы со специальной и общенаучной литературой из предложенного списка;
- изучение материалов, предусмотренных для самостоятельного изучения;
- подготовка к выполнению и выполнение домашней контрольной работы;
- подготовка к экзамену.