

МИНОБРНАУКИ РОССИИ



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«Российский государственный гуманитарный университет»
(ФГБОУ ВО «РГГУ»)**

ОТДЕЛЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ В ГУМАНИТАРНОЙ СФЕРЕ
Кафедра математики, логики и интеллектуальных систем в гуманитарной сфере

ТЕОРИЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

45.04.04 Интеллектуальные системы в гуманитарной среде

Когнитивное и программное обеспечение интеллектуальных роботов и программирование
интеллектуальных систем

Уровень квалификации выпускника: магистр

Форма обучения очная

РПД адаптирована для лиц
с ограниченными возможностями
здоровья и инвалидов

Москва 2019-2020

«Теория оптимального управления»
Рабочая программа дисциплины
Составитель:
доктор физико-математических наук, профессор
Д.В. Виноградов

УТВЕРЖДЕНО
Протокол заседания кафедры МЛиИС
№__7__ от__10.06.2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Пояснительная записка

1.1 Цель и задачи дисциплины (*модуля*)

1.2. Формируемые компетенции, соотнесённые с планируемыми результатами обучения по дисциплине

1.3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

2. Структура дисциплины

3. Содержание дисциплины

4. Образовательные технологии

5. Оценка планируемых результатов обучения

5.1. Система оценивания

5.2. Критерии выставления оценок

5.3. Оценочные средства (материалы) для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Список источников и литературы

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

8. Обеспечение образовательного процесса для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

9. Методические материалы

9.1. Планы семинарских занятий

9.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

9.3. Иные материалы

Приложения

Приложение 1. Аннотация дисциплины

Приложение 2. Лист изменений

1. Пояснительная записка

1.1. Цель и задачи дисциплины

Цель дисциплины. В процессе обучения оптимальному управлению преследуются несколько целей. Одна из них – подготовить выпускника, способного соединять алгоритмы интеллектуального анализа данных с управлением в интеллектуальной робототехнике. Другой целью курса можно считать научение слушателей применять техники оптимального управления для решения задач методами динамического программирования и принципа максимума Понтрягина.

Задачи дисциплины: освоение базовых математических понятий оптимального управления и навыков, необходимых для получения требуемых компетенций в области создания интеллектуальных роботов.

1.2. Формируемые компетенции, соотнесённые с планируемыми результатами обучения по дисциплине:

Коды компетенций	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ОК-1	способностью приобретать с большой степенью самостоятельности новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии	Знать: <ul style="list-style-type: none">• основные положения теории оптимального управления Уметь: <ul style="list-style-type: none">• решать задачи на оптимизацию методами динамического программирования и принципа максимума
ОПК-4	способностью получать знания в области современных проблем науки, техники и технологии информатики, гуманитарных, социальных и экономических наук	Знать: <ul style="list-style-type: none">• условия применимости методов оптимального управления; Владеть: <ul style="list-style-type: none">• простейшими навыками анализа задач оптимального управления в робототехнике.
ПК-25	готовностью использовать современные достижения науки и передовой технологии в научно-исследовательских работах	Знать: <ul style="list-style-type: none">• методологию теории оптимального управления; Уметь: <ul style="list-style-type: none">• реализовывать алгоритмы динамического программирования для решения прикладных задач Владеть: <ul style="list-style-type: none">• простейшими навыками встраивания алгоритмов оптимизации в интеллектуальные роботы.

1.3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Теория оптимального управления» относится к вариативной части дисциплин по выбору учебного плана.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные (в рамках бакалавриата) в ходе изучения следующих дисциплин: «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Вычислительная математика».

2. Структура дисциплины

Структура дисциплины для очной формы обучения

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 ч., в том числе контактная работа обучающихся с преподавателем 60 ч., промежуточная аттестация 18 ч., самостоятельная работа обучающихся 138 ч.

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	С е м ес тр	Виды учебной работы (в часах)						Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (<i>по семестрам</i>)
			Контактная				Пр оме жу точ ная атт ест аци я	С а м ос то ят ел ь- на я ра б от а	
			Лек ции	Се ми нар	Прак тичес кие занят ия	Лабо ратор ные занят ия			
1	Системы управления и их свойства	3	4		8			21	Оценка выполнения практических заданий
2	Дискретные системы управления	3	2		4			17	Оценка выполнения практических заданий
3	Элементы вариационного исчисления	3	4		8			21	Контрольная работа
4	Оптимальное управление в непрерывном случае	3	4		8			21	Оценка выполнения практических заданий
5	Принцип максимума Понтрягина	3	2		4			17	Оценка выполнения практических заданий
6	Динамическое программирование	3	4		8			21	Контрольная работа

	Экзамен	3					18	20	Итоговая контрольная работа
	итого:		20		60		18	138	

3. Содержание дисциплины

В курсе изучаются понятия оптимального управления и его применения в интеллектуальных робототехнических системах. На практических занятиях студенты приобретают практические навыки решения задач вариационного исчисления и оптимального управления.

В результате изучения курса студенты должны овладеть основными идеями и методами оптимального управления, уметь использовать их при решении практических задач в интеллектуальной робототехнике.

Курс должен сочетать современность и строгость изложения материала с его доступностью для слушателей. В основе курса лежит разбор большого числа примеров приложения методов и средств оптимального управления для решения прикладных задач.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание
1.	Системы управления и их свойства	Системы управления. Структурное представление. Классификация по цели и способу управления, по виду математической зависимости, форме представления входных и выходных переменных. Анализ непрерывных, линейных, стационарных систем управления. Уравнения состояния и их решение. Переходная матрица и ее нахождение. Одномерные системы управления и их переходные характеристики. Управляемость, наблюдаемость, чувствительность. Устойчивость управления. Исследование устойчивости. Первый метод Ляпунова, второй метод Ляпунова
2.	Дискретные системы управления	Анализ дискретных систем управления. Уравнения состояния. Решение линейных уравнений состояния, переходная матрица.
3.	Элементы вариационного исчисления	Вариационное исчисление. Задачи линейного оптимального управления. Необходимые и достаточные условия. Уравнение Эйлера-Лагранжа, условие Лежандра, трансверсальности, Вейерштрасса. Управление конечным состоянием. Задача Майера. Задача Больца оптимального управления с обобщенным показателем.
4.	Оптимальное управление в непрерывном случае	Синтез систем управления. Качество управления: динамические и статические характеристики. Оптимальное управление. Критерии, задачи оптимального управления. Особенности задач оптимального управления и методов их решения. Задачи оптимального управления по быстродействию, по расходу энергии, топлива.
5.	Принцип максимума Понтрягина	Принцип максимума Понтрягина. Оптимальные по быстродействию системы. Применение принципа максимума к некоторым задачам.
6.	Динамическое программирование	Динамическое программирование. Принцип оптимальности. Динамическое программирование для непрерывных систем. Уравнение Беллмана. Связь динамического программирования и принципа максимума

		Понтрягина, связь метода динамического программирования с вариационным исчислением.
--	--	---

4. Образовательные технологии

Применительно к данной дисциплине, следует отметить, что она, по существу, является введением в прикладную математическую теорию, поэтому применение в ней информационных технологий носит вспомогательный характер. В ней используются следующие информационные технологии.

- Преподаватель представляет изучаемый материал посредством демонстрации презентаций.
- Электронная почта и другие средства Интернет используется студентами для общения с преподавателем.
- Сервер учебных материалов отделения используется студентами для создания словаря по курсу, самостоятельной работы и тестирования.

5. Оценка планируемых результатов обучения

5.1. Система оценивания

Форма контроля	Макс. количество баллов	
	За одну работу	Всего
Текущий контроль:		
- контрольная работа (темы 1-3)	30 баллов	30 баллов
- контрольная работа (темы 4-6)	30 баллов	30 баллов
Промежуточная аттестация экзамен		40 баллов
Итого за семестр (дисциплину) экзамен		100 баллов

Полученный совокупный результат конвертируется в традиционную шкалу оценок и в шкалу оценок Европейской системы переноса и накопления кредитов (European Credit Transfer System; далее – ECTS) в соответствии с таблицей:

100-балльная шкала	Традиционная шкала		Шкала ECTS
95 – 100	отлично	зачтено	A
83 – 94			B
68 – 82	хорошо		C
56 – 67	удовлетворительно		D
50 – 55			E
20 – 49	неудовлетворительно	не зачтено	FX
0 – 19			F

5.2. Критерии выставления оценки по дисциплине

Баллы/ Шкала ECTS	Оценка по дисциплине	Критерии оценки результатов обучения по дисциплине
-------------------------	-------------------------	---

100-83/ А,В	«отлично»/ «зачтено (отлично)»/ «зачтено»	<p>Выставляется обучающемуся, если он глубоко и прочно усвоил теоретический и практический материал, может продемонстрировать это на занятиях и в ходе промежуточной аттестации.</p> <p>Обучающийся исчерпывающе и логически стройно излагает учебный материал, умеет увязывать теорию с практикой, справляется с решением задач профессиональной направленности высокого уровня сложности, правильно обосновывает принятые решения.</p> <p>Свободно ориентируется в учебной и профессиональной литературе.</p> <p>Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущей и промежуточной аттестации.</p> <p>Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – «высокий».</p>
82-68/ С	«хорошо»/ «зачтено (хорошо)»/ «зачтено»	<p>Выставляется обучающемуся, если он знает теоретический и практический материал, грамотно и по существу излагает его на занятиях и в ходе промежуточной аттестации, не допуская существенных неточностей.</p> <p>Обучающийся правильно применяет теоретические положения при решении практических задач профессиональной направленности разного уровня сложности, владеет необходимыми для этого навыками и приёмами.</p> <p>Достаточно хорошо ориентируется в учебной и профессиональной литературе.</p> <p>Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущей и промежуточной аттестации.</p> <p>Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – «хороший».</p>
67-50/ D,E	«удовлетвори-тельно»/ «зачтено (удовлетвори-тельно)»/ «зачтено»	<p>Выставляется обучающемуся, если он знает на базовом уровне теоретический и практический материал, допускает отдельные ошибки при его изложении на занятиях и в ходе промежуточной аттестации.</p> <p>Обучающийся испытывает определённые затруднения в применении теоретических положений при решении практических задач профессиональной направленности стандартного уровня сложности, владеет необходимыми для этого базовыми навыками и приёмами.</p> <p>Демонстрирует достаточный уровень знания учебной литературы по дисциплине.</p> <p>Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущей и промежуточной аттестации.</p> <p>Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – «достаточный».</p>

49-0/ F,FX	«неудовлетворительно»/ не зачтено	Выставляется обучающемуся, если он не знает на базовом уровне теоретический и практический материал, допускает грубые ошибки при его изложении на занятиях и в ходе промежуточной аттестации. Обучающийся испытывает серьезные затруднения в применении теоретических положений при решении практических задач профессиональной направленности стандартного уровня сложности, не владеет необходимыми для этого навыками и приёмами. Демонстрирует фрагментарные знания учебной литературы по дисциплине. Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущей и промежуточной аттестации. Компетенции на уровне «достаточный», закреплённые за дисциплиной, не сформированы.
---------------	--------------------------------------	--

5.3. Оценочные средства (материалы) для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

ФОС для проведения промежуточной аттестации по дисциплине состоит из 4 разделов:

1 раздел. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;

2 раздел. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;

3 раздел. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы;

4 раздел. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Для каждого результата обучения по дисциплине (модулю) или практике определяются показатели и критерии оценивания сформированности компетенций на различных этапах их формирования, шкалы и процедуры оценивания.

Оценочные средства, соответствующие конкретным этапам формирования компетенций

Код компетенции	Описание этапов формирования компетенции	Наименование оценочных средств
ОК-1, ОПК-4, ПК-25	Знать: - основные положения теории оптимального управления; - методологию теории оптимального управления; - условия применимости методов оптимального управления	Выполнение практических заданий Экзамен
	Уметь: - решать задачи на оптимизацию методами динамического программирования и принципа максимума; - реализовывать алгоритмы динамического программирования для решения прикладных задач	Выполнение практических заданий Контрольная работа 1 Контрольная работа 2 Экзамен
	Владеть: - простейшими навыками анализа задач оптимального управления в робототехнике; - простейшими навыками встраивания алгоритмов оптимизации в интеллектуальные роботы.	Выполнение практических заданий Контрольная работа 1 Контрольная работа 2 Экзамен

Контрольная работа 1

1. Даны уравнения состояния системы

$$\dot{x}_1 = x_2(t),$$

$$\dot{x}_2 = -2x_1(t) - 3x_2(t) + 2,$$

$$x_1(0) = x_2(0) = 0.$$

Найти решение уравнений состояния, записать выражение для переходной матрицы.

2. Заданы уравнения системы управлений

$$\dot{X} = AX + BU,$$

$$Y = CX + DU.$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 3 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 & 2 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Нарисовать структурную схему системы управления.

3. Задано уравнение системы управления

$$\dot{X} = AX + BU, \quad Y = CX.$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Определить управляемость и наблюдаемость системы.

Контрольная работа 2

1. Найти функцию, удовлетворяющую граничным условиям: при $t = 0 \quad x = 0$, при

$$t = 1 \quad x(1) = 1 \quad \text{и минимизирующую функционал} \quad J = \int_0^1 \frac{1}{x(t)} dt.$$

Ответ: $x(t) = t$.

2. Определить линейное оптимальное управление для системы

$$\dot{x}_1 = x_2(t),$$

$$\dot{x}_2 = -x_2(t) + U,$$

принимая во внимание показатель качества

$$J = \int_0^\infty \left(x_1^2(t) + x_2^2(t) + \frac{1}{9} U(t)^2 \right) dt$$

и граничные условия $x(0) = x_0$, $x(\infty) = 0$.

Ответ: $U = -2.00x_1 - 1.83x_2$.

Контрольные вопросы к экзамену

1. Общие понятия. Структурное представление систем управления.
2. Преобразование структурных схем: декомпозиция, агрегирование.
3. Классификация систем управления.
4. Задачи проектирования систем управления.
5. Проблемы качества управления, законы управления.
6. Анализ непрерывных линейных стационарных систем управления. Уравнения состояния.
7. Решение уравнений состояния. Переходная матрица. Вычисление переходной матрицы.
8. Устойчивость управления. Первый и второй методы Ляпунова.
9. Анализ дискретных систем управления. Взаимосвязь методов описания дискретных и непрерывных систем управления.
10. Уравнения состояния дискретных систем управления, переходная матрица.
11. Синтез систем управления, качество управления, динамические и статические характеристики управления.
12. Оптимальное управление. Критерии и задачи оптимального управления.
13. Задачи оптимального быстродействия по расходу энергии и топлива.
14. Вариационное исчисление и оптимальное управление. Задача Лагранжа.
15. Необходимые и достаточные условия оптимального управления.
16. Оптимальное управление в задачах о конечном состоянии. Задачи Майера, Больца.
17. Принцип максимума Понтрягина. Задача о максимальном быстродействии.
18. Динамическое программирование. Принцип оптимальности.
19. Динамическое программирование для непрерывных систем управления. Уравнение Беллмана.

20. Дискретный анализ динамического программирования.
21. Связь динамического программирования и принципа максимума Понтрягина.
22. Связь динамического программирования с вариационным исчислением.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Список источников и литературы

а) Основная литература

1. Алексеев, В. М. Оптимальное управление : учебно-методическое пособие / В. М. Алексеев, В. М. Тихомиров, С. В. Фомин. — 2-е изд. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 384 с. — ISBN 5-9221-0589-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/48177>.
2. Алексеев, В. М. Сборник задач по оптимизации. Теория. Примеры. Задачи : учебное пособие / В. М. Алексеев, Э. М. Галеев, В. М. Тихомиров. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2011. — 256 с. — ISBN 978-5-9221-0590-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/2097>.

б) Дополнительная литература

1. Беллман Р. Динамическое программирование. — М.: Издательство иностранной литературы, 1960
2. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В. Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. —М.: Наука, 1976

6.2 Перечень БД и ИСС

№п /п	Наименование
1	Международные реферативные наукометрические БД, доступные в рамках национальной подписки в 2019 г. Web of Science Scopus
2	Профессиональные полнотекстовые БД, доступные в рамках национальной подписки в 2019 г. Журналы Cambridge University Press ProQuest Dissertation & Theses Global SAGE Journals Журналы Taylor and Francis
3	Профессиональные полнотекстовые БД JSTOR Издания по общественным и гуманитарным наукам Электронная библиотека Grebennikon.ru
4	Компьютерные справочные правовые системы Консультант Плюс, Гарант

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Занятия проводятся в компьютерном классе ауд. 706, расположенном по адресу 125993, Москва, Миусская пл., д. 6, стр.2,.

Этот компьютерный класс оснащен

- достаточным количеством объединенных в локальную сеть рабочих станций,
- медиапроектором и экраном,
- меловой доской.

В классе имеются возможности

- подключения ноутбука к медиапроектору,
- одновременного доступа в Интернет для преподавателя и студентов.

Перечень ПО

№п /п	Наименование ПО	Производитель	Способ распространения (лицензионное или свободно распространяемое)
1	Adobe Master Collection CS4	Adobe	лицензионное
2	ОС «Альт Образование» 8	ООО «Базальт СПО	лицензионное
3	Windows 10 Pro	Microsoft	лицензионное
4	Kaspersky Endpoint Security	Kaspersky	лицензионное
5	Microsoft Office 2016	Microsoft	лицензионное

8. Обеспечение образовательного процесса для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

В ходе реализации дисциплины используются следующие дополнительные методы обучения, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в зависимости от их индивидуальных особенностей:

- для слепых и слабовидящих:
 - лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
 - письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением, или могут быть заменены устным ответом;
 - обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс;
 - для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство; возможно также использование собственных увеличивающих устройств;
 - письменные задания оформляются увеличенным шрифтом;
 - экзамен проводится в устной форме или выполняется в письменной форме на компьютере.
- для глухих и слабослышащих:
 - лекции оформляются в виде электронного документа, либо предоставляется звукоусиливающая аппаратура индивидуального пользования;
 - письменные задания выполняются на компьютере в письменной форме;
 - экзамен проводится в письменной форме на компьютере; возможно проведение в форме тестирования.
- для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением;
- экзамен проводится в устной форме или выполняется в письменной форме на компьютере.

При необходимости предусматривается увеличение времени для подготовки ответа.

Процедура проведения промежуточной аттестации для обучающихся устанавливается с учётом их индивидуальных психофизических особенностей. Промежуточная аттестация может проводиться в несколько этапов.

При проведении процедуры оценивания результатов обучения предусматривается использование технических средств, необходимых в связи с индивидуальными особенностями обучающихся. Эти средства могут быть предоставлены университетом, или могут использоваться собственные технические средства.

Проведение процедуры оценивания результатов обучения допускается с использованием дистанционных образовательных технологий.

Обеспечивается доступ к информационным и библиографическим ресурсам в сети Интернет для каждого обучающегося в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

- для слепых и слабовидящих:
 - в печатной форме увеличенным шрифтом;
 - в форме электронного документа;
 - в форме аудиофайла.
- для глухих и слабослышащих:
 - в печатной форме;
 - в форме электронного документа.
- для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата:
 - в печатной форме;
 - в форме электронного документа;
 - в форме аудиофайла.

Учебные аудитории для всех видов контактной и самостоятельной работы, научная библиотека и иные помещения для обучения оснащены специальным оборудованием и учебными местами с техническими средствами обучения:

- для слепых и слабовидящих:
 - устройством для сканирования и чтения с камерой SARA CE;
 - дисплеем Брайля PAC Mate 20;
 - принтером Брайля EmBraille ViewPlus;
- для глухих и слабослышащих:
 - автоматизированным рабочим местом для людей с нарушением слуха и слабослышащих;
 - акустический усилитель и колонки;
- для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата:
 - передвижными, регулируемые эргономическими партами СИ-1;
 - компьютерной техникой со специальным программным обеспечением.

9. Методические материалы

9.1. Планы практических занятий

Тема 1. (8 ч.) Системы управления и их свойства

Цель занятий: усвоить основные постановки задач оптимального управления.

Форма проведения – обсуждение, решение задач.

Вопросы для обсуждения:

Как представляются системы управления?

В чем состоят проблемы качества управления?

Что такое уравнение состояния?

Как доказывалась устойчивость управления по Ляпунову?

Контрольные вопросы:

1. Общие понятия. Структурное представление систем управления.
2. Преобразование структурных схем: декомпозиция, агрегирование.
3. Классификация систем управления.
4. Задачи проектирования систем управления.
5. Проблемы качества управления, законы управления.
6. Анализ непрерывных линейных стационарных систем управления. Уравнения состояния.
7. Решение уравнений состояния. Переходная матрица. Вычисление переходной матрицы.
8. Устойчивость управления. Первый и второй методы Ляпунова.

Список источников и литературы:

Список используемой литературы:

1. Алексеев В.М., Тихомиров В.М., Фомин С.В. Оптимальное управление. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005
2. Алексеев В.М., Галеев Э.М., Тихомиров В.М. Сборник задач по оптимизации. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007

Материально-техническое обеспечение занятия: доска, видеопроектор, ноутбук.

Тема 2. (4 ч.) Дискретные системы управления

Цель занятий: изучить методы оптимального управления дискретными системами.

Форма проведения – обсуждение, решение задач.

Вопросы для обсуждения:

Что такое дискретная система управления?

Чем отличаются дискретные и непрерывные системы управления?

Что такое переходная матрица?

Контрольные вопросы:

1. Анализ дискретных систем управления.
2. Взаимосвязь методов описания дискретных и непрерывных систем управления.
3. Уравнения состояния дискретных систем управления, переходная матрица.
4. Синтез систем управления, качество управления, динамические и статические характеристики управления.

Список источников и литературы:

Список используемой литературы:

1. Алексеев В.М., Тихомиров В.М., Фомин С.В. Оптимальное управление. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005
2. Алексеев В.М., Галеев Э.М., Тихомиров В.М. Сборник задач по оптимизации. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007

Материально-техническое обеспечение занятия: доска, видеопроектор, ноутбук.

Тема 3. (8 ч.) Элементы вариационного исчисления

Цель занятий: усвоить элементы вариационного исчисления.

Форма проведения – обсуждение, решение задач.

Вопросы для обсуждения:

Какова постановка задачи вариационного исчисления?

Чем различаются задачи оптимального управления и вариационного ?

Что такое задача о конечном состоянии?

Контрольные вопросы:

1. Вариационное исчисление.
2. Задачи линейного оптимального управления.
3. Необходимые и достаточные условия.
4. Уравнение Эйлера-Лагранжа, условие Лежандра, трансверсальности, Вейерштрасса.
5. Управление конечным состоянием.
6. Задача Майера.
7. Задача Больца оптимального управления с обобщенным показателем

Список источников и литературы:

Список используемой литературы:

1. Алексеев В.М., Тихомиров В.М., Фомин С.В. Оптимальное управление. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005
2. Алексеев В.М., Галеев Э.М., Тихомиров В.М. Сборник задач по оптимизации. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007

Материально-техническое обеспечение занятия: доска, видеопроектор, ноутбук.

Тема 4. (8 ч.) Оптимальное управление в непрерывном случае

Цель занятий: усвоить методологию оптимального управления непрерывными системами.

Форма проведения – обсуждение, решение задач.

Вопросы для обсуждения:

Как осуществляется синтез систем управления?

Как оценивается качество управления?

В чем особенности задач оптимального управления?

Какие типы задач оптимального управления бывают?

Контрольные вопросы:

1. Синтез систем управления.
2. Качество управления: динамические и статические характеристики.

3. Оптимальное управление. Критерии, задачи оптимального управления.
4. Особенности задач оптимального управления и методов их решения.
5. Задачи оптимального управления по быстродействию, по расходу энергии, топлива

Список источников и литературы:

Список используемой литературы:

1. Алексеев В.М., Тихомиров В.М., Фомин С.В. Оптимальное управление. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005
2. Алексеев В.М., Галеев Э.М., Тихомиров В.М. Сборник задач по оптимизации. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007

Материально-техническое обеспечение занятия: доска, видеопроектор, ноутбук.

Тема 5. (4 ч.) Принцип максимума Понтрягина

Цель занятий: изучить применение принципа максимума для нахождения оптимального управления.

Форма проведения – обсуждение, решение задач.

Вопросы для обсуждения:

Что такое принцип максимума Понтрягина?

Как принцип максимума работает для оптимизации по быстродействию?

Контрольные вопросы:

1. Принцип максимума Понтрягина.
2. Оптимальные по быстродействию системы.
3. Применение принципа максимума к некоторым задачам.

Список источников и литературы:

Список используемой литературы:

1. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В. Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. –М.: Наука, 1976
2. Алексеев В.М., Галеев Э.М., Тихомиров В.М. Сборник задач по оптимизации. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007

Материально-техническое обеспечение занятия: доска, видеопроектор, ноутбук.

Тема 6. (8 ч.) Динамическое программирование

Цель занятий: изучить метод динамического программирования в приложении к задачам вариационного исчисления и оптимального управления.

Форма проведения – обсуждение, решение задач.

Вопросы для обсуждения:

Как устроен метод динамического программирования?

Как получается уравнение Беллмана?

Как связаны динамическое программирование и вариационное исчисление?

Как связаны динамическое программирование и принцип максимума Понтрягина?

Контрольные вопросы:

1. Динамическое программирование.
2. Принцип оптимальности.
3. Динамическое программирование для непрерывных систем.
4. Уравнение Беллмана.
5. Связь метода динамического программирования с вариационным исчислением.
6. Связь динамического программирования и принципа максимума Понтрягина

Список источников и литературы:

Список используемой литературы:

1. Беллман Р. Динамическое программирование. – М.: Издательство иностранной литературы, 1960
2. Алексеев В.М., Галеев Э.М., Тихомиров В.М. Сборник задач по оптимизации. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007

Материально-техническое обеспечение занятия: доска, видеопроектор, ноутбук.

9.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Наименование раздела дисциплины	Кол-во часов	Вопросы для изучения	Литература
Системы управления и их свойства	8	Системы управления. Структурное представление. Классификация по цели и способу управления, по виду математической зависимости, форме представления входных и выходных переменных. Анализ непрерывных, линейных, стационарных систем управления. Уравнения состояния и их решение. Переходная матрица и ее нахождение. Одномерные системы управления и их переходные характеристики. Управляемость, наблюдаемость, чувствительность. Устойчивость управления. Исследование устойчивости. Первый метод Ляпунова, второй метод Ляпунова	1. Алексеев В.М., Тихомиров В.М., Фомин С.В. Оптимальное управление. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005 2. Алексеев В.М., Галеев Э.М., Тихомиров В.М. Сборник задач по оптимизации. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007
Дискретные системы управления	4	Анализ дискретных систем управления. Уравнения состояния. Решение линейных уравнений состояния, переходная матрица.	1. Алексеев В.М., Тихомиров В.М., Фомин С.В. Оптимальное управление. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005 2. Алексеев В.М., Галеев Э.М., Тихомиров В.М. Сборник задач по оптимизации. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007
Элементы вариационного исчисления	8	Вариационное исчисление. Задачи линейного оптимального управления. Необходимые и достаточные условия. Уравнение Эйлера-Лагранжа, условие Лежандра, трансверсальности, Вейерштрасса. Управление конечным состоянием. Задача Майера. Задача Больца оптимального управления с обобщенным показателем.	1. Алексеев В.М., Тихомиров В.М., Фомин С.В. Оптимальное управление. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005 2. Алексеев В.М., Галеев Э.М., Тихомиров В.М. Сборник задач по оптимизации. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007
Оптимальное управление в непрерывном случае	8	Синтез систем управления. Качество управления: динамические и статические характеристики. Оптимальное управление. Критерии, задачи оптимального управления.	1. Алексеев В.М., Тихомиров В.М., Фомин С.В. Оптимальное управление. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005

		Особенности задач оптимального управления и методов их решения. Задачи оптимального управления по быстродействию, по расходу энергии, топлива.	2. Алексеев В.М., Галеев Э.М., Тихомиров В.М. Сборник задач по оптимизации. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007
Принцип максимума Понтрягина	4	Принцип максимума Понтрягина. Оптимальные по быстродействию системы. Применение принципа максимума к некоторым задачам.	1. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В. Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. –М.: Наука, 1976 2. Алексеев В.М., Галеев Э.М., Тихомиров В.М. Сборник задач по оптимизации. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007
Динамическое программирование	8	Динамическое программирование. Принцип оптимальности. Динамическое программирование для непрерывных систем. Уравнение Беллмана. Связь динамического программирования и принципа максимума Понтрягина, связь метода динамического программирования с вариационным исчислением.	1. Беллман Р. Динамическое программирование. – М.: Издательство иностранной литературы, 1960 2. Алексеев В.М., Галеев Э.М., Тихомиров В.М. Сборник задач по оптимизации. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007

9.3 Иные материалы

АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Теория оптимального управления» реализуется на Отделении интеллектуальных систем в гуманитарной сфере кафедрой математики, логики и интеллектуальных систем.

В процессе обучения оптимальному управлению преследуются несколько целей. Одна из них – подготовить выпускника, способного соединять алгоритмы интеллектуального анализа данных с управлением в интеллектуальной робототехнике. Другой целью курса можно считать научение слушателей применять техники оптимального управления для решения задач методами динамического программирования и принципа максимума Понтрягина.

Задачи дисциплины: освоение базовых математических понятий оптимального управления и навыков, необходимых для получения требуемых компетенций в области создания интеллектуальных роботов.

Дисциплина направлена на формирование следующих компетенций:

- ОК-1 способностью приобретать с большой степенью самостоятельности новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии;
- ОПК-4 способностью получать знания в области современных проблем науки, техники и технологии информатики, гуманитарных, социальных и экономических наук;
- ПК-25 готовностью использовать современные достижения науки и передовой технологии в научно-исследовательских работах.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- основные положения теории оптимального управления;
- методологию теории оптимального управления;
- условия применимости методов оптимального управления

Уметь:

- решать задачи на оптимизацию методами динамического программирования и принципа максимума;
- реализовывать алгоритмы динамического программирования для решения прикладных задач

Владеть:

- простейшими навыками анализа задач оптимального управления в робототехнике;
- простейшими навыками встраивания алгоритмов оптимизации в интеллектуальные роботы.

По дисциплине предусмотрена промежуточная аттестация в форме **экзамена**.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

1. Структура дисциплины (к п. 2 РПД на 2020)**Структура дисциплины для очной формы обучения на 2020 год**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з. е., 228 ч., в том числе контактная работа обучающихся с преподавателем 60 ч., промежуточная аттестация 18 ч., самостоятельная работа обучающихся 150 ч.

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	С е м е с т р	Виды учебной работы (в часах)						Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (<i>по семестрам</i>)
			Контактная				Пр оме жу точ ная атт ест аци я	С а м ос то ят ел ь- на я ра б от а	
			Лек ции	Се ми нар	Прак тичес кие занят ия	Лабора торные занят ия			
1	Системы управления и их свойства	3	4		8			24	Оценка выполнения практических заданий
2	Дискретные системы управления	3	2		4			18	Оценка выполнения практических заданий
3	Элементы вариационного исчисления	3	4		8			24	Контрольная работа
4	Оптимальное управление в непрерывном случае	3	4		8			24	Оценка выполнения практических заданий
5	Принцип максимума Понтрягина	3	2		4			18	Оценка выполнения практических заданий
6	Динамическое программирование	3	4		8			24	Контрольная работа

	Экзамен	3					18	18	Итоговая контрольная работа
	итого:		20		60		18	150	

2. Образовательные технологии (к п.4 на 2020 г.)

В период временного приостановления посещения обучающимися помещений и территории РГГУ. для организации учебного процесса с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий могут быть использованы следующие образовательные технологии:

- видео-лекции;
- онлайн-лекции в режиме реального времени;
- электронные учебники, учебные пособия, научные издания в электронном виде и доступ к иным электронным образовательным ресурсам;
- системы для электронного тестирования;
- консультации с использованием телекоммуникационных средств.

3. Перечень БД и ИСС (к п.6.2 на 2020 г.)

№ п/п	Наименование
1	Международные реферативные наукометрические БД, доступные в рамках национальной подписки в 2020 г. Web of Science Scopus
2	Профессиональные полнотекстовые БД, доступные в рамках национальной подписки в 2020 г. Журналы Cambridge University Press ProQuest Dissertation & Theses Global SAGE Journals Журналы Taylor and Francis
3	Профессиональные полнотекстовые БД JSTOR Издания по общественным и гуманитарным наукам Электронная библиотека Grebennikon.ru
4	Компьютерные справочные правовые системы Консультант Плюс, Гарант

4. Состав программного обеспечения (ПО) (к п. 7 на 2020 г.)

1. Перечень ПО

№п /п	Наименование ПО	Производитель	Способ распространения (лицензионное или свободно распространяемое)
1	Adobe Master Collection CS4	Adobe	лицензионное
2	ОС «Альт Образование» 8	ООО «Базальт СПО	лицензионное
3	Windows 10 Pro	Microsoft	лицензионное
4	Kaspersky Endpoint Security	Kaspersky	лицензионное
5	Microsoft Office 2016	Microsoft	лицензионное
6	Zoom	Zoom	лицензионное