

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем машиноведения
Российской академии наук
(ИПМаш РАН)

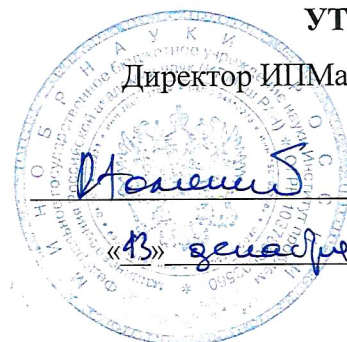
Одобрено на Ученом совете
ИПМаш РАН

Протокол № 10/22

«13» декабря 2022 г.

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИПМаш РАН, д.т.н.



В.А. Полянский

«13» декабря 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ»**

Образовательная программа
«МАТЕМАТИЧЕСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ»

Научные специальности:

- 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение**
- 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика**
- 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы**
- 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы**

Программу разработал: д.т.н., профессор И.Б. Фуртат

Форма обучения:

очная

Санкт-Петербург
2022

АННОТАЦИЯ

«Теория автоматического управления» реализуется в рамках элективной (обязательной) дисциплины основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН) для аспирантов очной формы обучения по образовательной программе «Математическая робототехника и искусственный интеллект», научные специальности: 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение; 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика; 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы; 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы.

Рабочая программа разработана в соответствии с «Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)» (утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 30.11.2021 № 2122) и «Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов» (утверждены приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации 20.10.2021 № 951), и учебным планом программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по образовательной программе «Математическая робототехника и искусственный интеллект» по научным специальностям: 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение; 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика; 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы; 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы.

Программа дисциплины «Теория автоматического управления» по учебному плану предусматривает: лекции; практические (семинарские) занятия, в том числе аудиторные занятия в интерактивной форме; самостоятельную работу, в том числе творческую проблемно-ориентированную самостоятельную работу. Текущая аттестация проводится в соответствии с заданиями и формами контроля, предусмотренными настоящей программой. Промежуточная аттестация осуществляется в период зачетно-экзаменационной сессии в форме экзамена. Экзамен проводится во 2-ом семестре.

Дисциплина «Теория автоматического управления» реализуется на первом курсе.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины «Теория автоматического управления» - научить аспирантов методам анализа и синтеза систем автоматического управления. Привить аспирантам навыки синтеза систем управления линейными и нелинейными объектами.

Для успешного освоения дисциплины предполагается предварительное изучение аспирантами дисциплин «Математический анализ», «Линейная алгебра», «Теория функций комплексной переменной». В преподавании дисциплины активно применяются взаимно дополняющие друг друга подходы пространства состояний и частотных характеристик.

Практические занятия по дисциплине «Теория автоматического управления» имеют цель подготовить аспирантов к формализации и решению типовых задач управления системами, поставленными на вербальном языке.

Основными задачами дисциплины «Теория автоматического управления» являются приобретение аспирантами знаний о разнообразных методах построения математических моделей сложных объектов и процессов как непрерывного, так и дискретного типа, о способах перехода от одной формы математического описания к другой, о важнейших качественных показателях объектов и систем, о методах построения замкнутых систем управления при заданных условиях функционирования объекта, о современных проблемно ориентированных пакетах прикладных программ. Аспиранты должны уметь самостоятельно выбирать форму записи математической модели, адекватную поставленной задаче, переходить от одной формы записи модели к другой, анализировать устойчивость объектов и систем управления, разрабатывать системы управления с учетом всех условий функционирования объекта управления.

На основании этих знаний аспирант должен уметь:

- достаточно свободно оперировать основными теоретическими понятиями курса;
- применять основы теории управления к линейным и нелинейным системам;
- выполнять необходимые расчетные задания при помощи определенного набора специальных методов.

Курс «Теория автоматического управления» формирует у аспиранта следующие навыки:

- формализации задач управления системами;
- работы с научной литературой.

Изучение данной учебной дисциплины обеспечит:

- формирование навыков математической формализации вербально поставленных задач управления механическими системами;
- формирование умения использовать математические методы расчета;
- формирование умения логически мыслить;

- формирование умения правильно интерпретировать результаты расчетов и формулировать рекомендации по совершенствованию режимов работы управляемых систем.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

2.1. Учебная дисциплина «Теория автоматического управления» входит в элективную (обязательную) часть ОП «Математическая робототехника и искусственный интеллект» по направлению подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научным специальностям, реализуемым ИПМаш РАН.

2.2. Для изучения данной дисциплины необходимы знания, умения и навыки в области математики, сформированные у обучающихся в процессе освоения программы в магистратуре или специалитете.

2.3. Дисциплина «Теория автоматического управления» служит основой для написания выпускной квалификационной работы (диссертации), а также для осуществления дальнейшей профессиональной деятельности.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Результаты освоения дисциплины «Теория автоматического управления»:

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;
- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития.
- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;
- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования.
- владеть культурой мышления, иметь способности к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения;
- уметь логически верно, аргументированно и ясно строить устную и письменную речь;
- использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического и компьютерного моделирования в теоретических и расчетно-экспериментальных исследованиях;

- владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, иметь навыки работы с компьютером как средством управления информацией;

- уметь использовать фундаментальные законы природы, законы естественнонаучных дисциплин и механики в процессе профессиональной деятельности;

- быть способным выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;

- применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности;

- быть готовым выполнять расчетно-экспериментальные работы в области прикладной механики с использованием современных вычислительных методов, высокопроизводительных вычислительных систем и наукоемких компьютерных технологий, широко распространенных в промышленности систем мирового уровня, и экспериментального оборудования для проведения механических испытаний;

- выполнять расчетно-экспериментальные работы по многовариантному анализу характеристик конкретных механических объектов с целью оптимизации технологических процессов;

- участвовать в работах по поиску оптимальных решений при создании отдельных видов продукции с учетом требований динамики и прочности, долговечности, безопасности жизнедеятельности, качества, стоимости, сроков исполнения и конкурентноспособности.

В результате изучения данной дисциплины аспирант должен:

знать основные принципы управления и способы их использования в управляемых системах;

уметь свободно оперировать теоретическими положениями дисциплины, формализовать вербально поставленные задачи управления системами на уровне расчетных схем и математических моделей, использовать математические методы анализа и синтеза управляемых систем, правильно интерпретировать результаты расчетов и формулировать рекомендации по совершенствованию режимов работы управляемых систем;

владеть навыками использования современных программных средств для расчета управляемых систем.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Теория автоматического управления» осваивается на 1 курсе обучения.

Виды учебной работы
Лекции
Практические занятия, семинары
в том числе аудиторные занятия в интерактивной форме
Самостоятельная работа
в том числе творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа
Экзамены (подготовка, сдача)

Разделы дисциплины

Наименование разделов и тем:
Тема 1. Математическое описание автоматических систем управления
Тема 2. Устойчивость динамических систем
Тема 3. Классические методы регулирования линейными системами
Тема 4. Нелинейные системы автоматического управления
Тема 5. Методы теории оптимальных систем управления
Тема 6. Случайные процессы в автоматических системах управления
Тема 7. Дискретные системы автоматического управления
<i>Вид контроля: экзамен</i>

Краткое содержание разделов и тем

Темы, разделы	Результаты освоения дисциплины
1. Математическое описание автоматических систем управления	
1.1. Математическое описание автоматических систем управления. Уравнения динамики и статики. Передаточные функции. Частотные и временные характеристики. Многомерные системы.	Знать особенности систем как объектов управления. Уметь составлять и анализировать расчетные схемы систем как объектов управления. Владеть основными понятиями дисциплины.
2. Устойчивость динамических систем	
2.1. Устойчивость динамических систем. Понятие устойчивости. Устойчивость по Ляпунову. Алгебраические критерии устойчивости. Частотные критерии устойчивости.	Знать основные способы математического описания управляемых систем. Уметь составлять и анализировать математические модели систем как объектов управления. Владеть основными понятиями дисциплины.
3. Классические методы регулирования линейными системами	
3.1. Классические методы регулирования линейными системами. Корректирующие	Знать методы анализа управляемых систем. Уметь синтезировать алгоритмы управления. Владеть

устройства. ПИД-регулирование.	основными понятиями дисциплины.
4. Нелинейные системы автоматического управления	
4.1. Нелинейные системы автоматического управления. Метод фазовой плоскости. Системы с переменной структурой. Метод гармонического баланса. Метод эквивалентной линеаризации. Абсолютная устойчивость.	Знать возможности метода фазовых траекторий при анализе систем. Уметь исследовать управляемые системы методом фазовых траекторий. Владеть основными понятиями дисциплины.
5. Методы теории оптимальных систем управления	
5.1. Методы теории оптимальных систем управления. Общая постановка задачи оптимального управления. Применение методов вариационного исчисления (задача Лагранжа). Основная теорема принципа максимума. Задача оптимального быстрогодействия. Принцип оптимальности Беллмана. Метод динамического программирования.	Знать особенности периодических режимов в управляемых системах. Уметь использовать методы приближенного анализа периодических режимов систем. Владеть основными понятиями дисциплины.
6. Случайные процессы в автоматических системах управления	
6.1. Случайные процессы в автоматических системах управления. Характеристики случайных процессов. Преобразование случайных процессов в линейных системах (уравнение Винера-Хопфа). Преобразование случайных процессов в нелинейных системах. Метод статистической линеаризации.	Знать свойства случайных процессов в управляемых механических системах. Уметь осуществлять преобразование случайных процессов. Владеть основными понятиями дисциплины.
7. Дискретные системы автоматического управления	
7. Дискретные системы автоматического управления. Исследование устойчивости дискретных систем. Синтез алгоритмов управления дискретными системами.	Знать постановки задач управления дискретными системами. Уметь использовать методы управления дискретными системами. Владеть основными понятиями дисциплины.

Самостоятельная работа аспиранта

Самостоятельная работа аспирантов направлена на закрепление и углубление освоения учебного материала и развитие практических умений. Традиционная самостоятельная работа аспирантов включает такие виды самостоятельной работы, как

- работа с лекционным материалом и рекомендованной учебной литературой;
- выполнение домашних заданий.

Творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа аспирантов направлена на развитие комплекса интеллектуальных универсальных (общекультурных) и профессиональных умений, повышение творческого потенциала аспирантов.

Вид самостоятельной работы
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой
Выполнение заданий для самостоятельной работы
Творческая проблемно-ориентированная СР:

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины используются преимущественно традиционные образовательные технологии:

- лекции по теоретическому материалу;
- практические занятия с решением тестовых расчетных заданий;
- самостоятельная работа с рекомендованной учебной и научной литературой.

Одной из особенностей образовательных технологий, используемых при изучении дисциплины, состоит в параллельном использовании для решения задач метода пространства состояний и операторного метода. Другая особенность заключается в рассмотрении реальных задач управления системами.

Занятия в интерактивной форме
Интерактивные проблемные лекции по анализу устойчивости и управлению линейными и нелинейными системами
Интерактивные практические занятия-семинары по методам решения типовых задач

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Программой предусмотрено углубленное рассмотрение основных теоретических положений дисциплины, а также решение типовых задач.

Темы практических занятий:

1. Расчетные схемы нелинейных систем как объектов управления.
2. Математические модели нелинейных систем.
3. Управление нелинейными системами с помощью линейных ПИД-регуляторов. Построение переходных процессов.
4. Релейные регуляторы. Анализ возможности появления автоколебаний.
5. Исследование автоколебаний методом гармонического баланса.
6. Исследование вынужденных колебаний методом гармонического баланса.
7. Характеристики случайных процессов. Преобразование случайных процессов в линейных системах.
8. Преобразование случайных процессов в нелинейных системах.
9. Оптимальные по быстродействию системы управления. Принцип максимума Понтрягина.
10. Оптимизация систем управления методом динамического программирования.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Рекомендуемая литература

Основная литература

1. В.А. Бесекерский, Е.П. Попов, Теория систем автоматического управления. Учеб. пособие. Санкт-Петербург, Профессия, 2003.
2. А.А. Курс теории автоматического управления, 2-е изд. Лань, 2010.
3. Б.Р. Андриевский, Ф.Л. Фрадков. Избранные главы теории автоматического управления. СПб: Наука, 1999.
4. Б.Т. Поляк, М.В. Хлебников, Л.Б. Рапопорт. Математическая теория автоматического управления: учебное пособие. М.: ЛЕНАНД, 2019.
5. Андриевский Б.Р., Балашов М.В., Бахтадзе Н.Н., Галяев А.А., Глумов В.М., Губко М.В., Емельянова Ю.П., Карабутов Н.Н., Коргин Н.А., Кудинов Ю.И., Кушнер А.Г., Лотоцкий В.А., Макаренко А.В., Матвеев А.С., Пакшин П.В., Новиков Д.А., Пашенко Ф.Ф., Рубинович Е.Я., Тремба А.А., Чеботарев П.Ю., Честнов В.Н., Ядыкин И.Б., Петросян Л.А. Теория управления (дополнительные главы). – М.: Издательская группа URSS, ООО «ЛЕНАНД», ИПУ РАН, 2019.

Дополнительная литература

1. И.В. Мирошник, В.О. Никифоров, А.Л. Фрадков, Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами, Спб., Наука, 2000.
2. Х.К. Халил. Нелинейные системы. М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2009.

7.2. Технические средства обеспечения дисциплины

Программное обеспечение персональных компьютеров; информационное, программное и аппаратное обеспечение локальной компьютерной сети; информационное и программное обеспечение глобальной сети ИНТЕРНЕТ. Лицензионное программное обеспечение для решения задач теории управления.

8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Критерии оценивания

Оценка качества освоения дисциплины определяется устным экзаменом. Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляется на протяжении семестра.

Оценочные средства

1. Структуры систем автоматического управления.
2. Принципы управления.
3. Классификация САУ.
4. Основные задачи ТАУ.
5. Способы математического описания САУ и их элементов.
6. Линеаризация дифференциальных уравнений САУ.
7. Типовые входные воздействия.
8. Передаточные функции линейных динамических звеньев и их основные свойства.
9. Переходная функция и функция веса.
10. Частотные характеристики линейных звеньев. Формы представления частотных характеристик.
11. Передаточные функции замкнутой САУ в режимах управления и стабилизации.
12. Правила эквивалентных преобразований структурных схем.
13. Частотные характеристики для различных соединений звеньев.
14. Понятия устойчивости линейных систем.
15. Необходимое и достаточное условие устойчивости линейных САУ.
16. Критерий устойчивости Гурвица.
17. Критерий устойчивости Рауса.
18. Частотный критерий устойчивости Михайлова.
19. Критерий Найквиста.
20. Анализ устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам.
21. Понятие запасов устойчивости по модулю и по фазе.
22. Построение областей устойчивости методом D-разбиения по двум комплексным параметрам.
23. Задача анализа качества процессов управления. Прямые оценки качества САУ по виду переходного процесса.
24. Корневые оценки качества процессов в САУ.
25. Частотные оценки качества процессов в САУ.
26. Интегральные оценки качества.
27. Анализ точности САУ при произвольном воздействии методом коэффициентов ошибок.
28. Понятие астатизма. Способы повышения статической точности САУ.
29. Задача синтеза САУ. Виды корректирующих устройств.
30. Основные способы коррекции динамических свойств САУ.
31. Последовательные корректирующие устройства и их влияние на динамику САУ.
32. Корректирующие обратные связи и их влияние на динамику САУ.

33. Определение коэффициентов характеристического уравнения по заданному распределению корней. Стандартные коэффициенты характеристического уравнения.
34. Аналитический метод синтеза САУ.
35. Синтез последовательного корректирующего устройства методом ЛАХ. Выбор желаемой ЛАХ.
36. Особенности нелинейных систем.
37. Методы исследования нелинейных систем.
38. Метод фазового пространства. Общие понятия.
39. Фазовые траектории линейных систем второго порядка.
40. Фазовые траектории нелинейных систем.
41. Расчет движения изображающей точки на фазовой траектории.
42. Понятие устойчивости по Ляпунову.
43. Абсолютная устойчивость.
44. Метод гармонической линеаризации.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Все этапы изучения дисциплины сопровождаются как групповыми, так и индивидуальными консультациями. Рекомендуется основной объем базовых знаний преподнести на лекциях и практических занятиях, а указанную литературу использовать для закрепления и расширения полученных знаний. Также рекомендуется больше внимания уделять самостоятельной работе аспирантов с тем, чтобы, ознакомившись на практических занятиях с методами решения типовых задач, они имели возможность закрепить практические навыки в области применения методов математического и компьютерного моделирования в задачах управления механическими системами, работая при этом в удобном режиме времени и пользуясь консультациями преподавателя.