

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

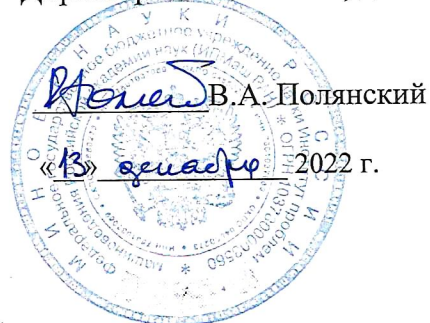
Одобрено на Ученом совете
ИПМаш РАН

Протокол № 10/22

«13» декабря 2022 г.

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИПМаш РАН, д.т.н.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ. ЛИНЕЙНЫЕ
МАТРИЧНЫЕ НЕРАВЕНСТВА»

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

«Управление системами с запаздыванием. Линейные матричные неравенства» 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 «Управление системами с запаздыванием. Линейные матричные неравенства» 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 в 4-ом семестре.

Дисциплина «Управление системами с запаздыванием. Линейные матричные неравенства» реализуется на втором курсе.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины «Управление системами с запаздыванием. Линейные матричные неравенства» - научить аспирантов методам анализа и синтеза систем с запаздыванием с использованием аппарата линейных матричных неравенств. Привить аспирантам навыки синтеза систем управления неопределенными взаимосвязанными линейными и нелинейными объектами.

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

Практические занятия по дисциплине «Управление системами с запаздыванием. линейные матричные неравенства» имеют цель подготовить аспирантов к формализации и решению типовых задач управления сетевыми системами, поставленными на вербальном языке.

Основными задачами дисциплины «Управление системами с запаздыванием. Линейные матричные неравенства» являются приобретение аспирантами знаний о разнообразных методах построения сетевых 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 сетевых систем управления при заданных условиях функционирования подсистем сети, 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 с запаздыванием;
- выполнять необходимые расчетные задания при помощи определенного набора специальных методов.

Курс «Управление системами с запаздыванием. Линейные матричные неравенства» формирует у аспиранта следующие навыки:

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

Изучение данной учебной дисциплины обеспечит:

- формирование навыков математической формализации вербально поставленных задач управления сетевыми 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 с запаздыванием.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП

2.1. Учебная дисциплина «Управление системами с запаздыванием. линейные матричные неравенства» 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 «Управление системами с запаздыванием. Линейные матричные неравенства» служит основой для написания выпускной квалификационной работы (диссертации), а также для осуществления дальнейшей профессиональной деятельности.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Результаты освоения дисциплины «Управление системами с запаздыванием. Линейные матричные неравенства:

- 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 системами с запаздыванием и способы их использования в управляемых системах;

уметь свободно оперировать теоретическими положениями дисциплины, формализовать вербально поставленные задачи управления системами с запаздыванием 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 «Управление системами с запаздыванием. Линейные матричные неравенства» осваивается на 2-ом курсе.

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

Наименование разделов и тем:
Тема 1. Модели с запаздыванием
Тема 2. Исследование устойчивости систем с запаздыванием и синтез систем управления с использованием функционалов Ляпунова-Красовского
Тема 3. Условия устойчивости, независимые от времени запаздывания
Тема 4. Условия устойчивости, зависящие от времени запаздывания
Тема 5. Управление дискретными по времени системами
Тема 6. Управление системами с запаздыванием во входном канале
Тема 7. Управление системами через цифровой канал приема-передачи данных
Вид контроля: экзамен

Краткое содержание разделов и тем

Темы, разделы	Результаты освоения дисциплины
1. Модели с запаздыванием	
1.1. Модели с запаздыванием. Постановка задачи и цели управления системами с запаздыванием. Типы моделей с запаздыванием. Решение дифференциальных уравнений с запаздыванием.	Знать особенности систем как объектов управления. Уметь составлять и анализировать расчетные схемы систем как объектов управления. Владеть основными понятиями дисциплины.

2. Исследование устойчивости систем с запаздыванием и синтез систем управления с использованием функционалов Ляпунова-Красовского	
2.1. Исследование устойчивости систем с запаздыванием и синтез систем управления с использованием функционалов Ляпунова-Красовского. Метод Разумихина и функционалов Ляпунова-Красовского. Линейные матричные неравенства.	Знать основные способы математического описания управляемых систем. Уметь составлять и анализировать математические модели систем как объектов управления. Владеть основными понятиями дисциплины.
3. Условия устойчивости, независимые от времени запаздывания	
3.1. Условия устойчивости, независимые от времени запаздывания. Условия устойчивости линейных и нелинейных систем, независимые от времени запаздывания.	Знать методы анализа управляемых систем. Уметь синтезировать алгоритмы управления. Владеть основными понятиями дисциплины.
4. Условия устойчивости, зависящие от времени запаздывания	
4.1. Условия устойчивости, зависящие от времени запаздывания. Условия устойчивости линейных и нелинейных систем, зависящие от времени запаздывания.	Знать возможности метода фазовых траекторий при анализе систем. Уметь исследовать управляемые системы методом фазовых траекторий. Владеть основными понятиями дисциплины.
5. Управление дискретными по времени системами	
5.1. Управление дискретными по времени системами. Сведение дискретных по времени моделей к системам с пилообразным запаздыванием.	Знать особенности периодических режимов в управляемых системах. Уметь использовать методы приближенного анализа периодических режимов систем. Владеть основными понятиями дисциплины.
6. Управление системами с запаздыванием во входном канале	
6.1. Управление системами с запаздыванием во входном канале. Предиктор Смита. Предиктор Манитиуса и Олброта. Субпредиктор.	Знать свойства случайных процессов в управляемых системах с запаздыванием. Уметь осуществлять преобразование случайных процессов. Владеть основными понятиями дисциплины.
7. Управление системами через цифровой канал приема-передачи данных	
7. Управление системами через цифровой канал приема-передачи данных. Управление системами через цифровые каналы связи с неизвестным временем задержки данных.	Знать постановки задач управления системами с запаздыванием. 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
Опережающая самостоятельная работа
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 с запаздыванием
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:

Тема 1. Модели с запаздыванием

Тема 2. Исследование устойчивости систем с запаздыванием и синтез систем управления с использованием функционалов Ляпунова-Красовского

Тема 3. Условия устойчивости, независящие от времени запаздывания

Тема 4. Условия устойчивости, зависящие от времени запаздывания

Тема 5. Управление дискретными по времени системами

Тема 6. Управление системами с запаздыванием во входном канале

Тема 7. Управление системами через цифровой канал приема-передачи данных

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Рекомендуемая литература

Основная литература

1. E. Fridman. Introduction to Time-Delay Systems. Analysis and Control. Birkhauser, 2014.

2. Фрадков, А. Л., Ананьевский, М. С., Амелина, Н. О., Граничин, О. Н., Пчелкина, И. В. А. И. В. ., Проскурников, А. В., Фуртат, И.Б., ... Андриевский, Б. Р. (2015). Проблемы сетевого управления. Москва-Ижевск: Institute of Computer Science.
3. В.А. Бесекерский, Е.П. Попов, Теория систем автоматического управления. Учеб. пособие. Санкт-Петербург, Профессия, 2003.
4. А.А. Первозванский. Курс теории автоматического управления, 2-е изд. Лань, 2010.
5. Б.Р. Андриевский, Ф.Л. Фрадков. Избранные главы теории автоматического управления. СПб: Наука, 1999.
6. Б.Т. Поляк, М.В. Хлебников, Л.Б. Рапопорт. Математическая теория автоматического управления: учебное пособие. М.: ЛЕНАНД, 2019.
7. 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., Пащенко 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. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ

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

Вопросы экзамена:

1. Модели с запаздыванием

2. Исследование устойчивости систем с запаздыванием и синтез систем управления с использованием функционалов Ляпунова-Красовского
3. Условия устойчивости, независящие от времени запаздывания
4. Условия устойчивости, зависящие от времени запаздывания
5. Управление дискретными по времени системами
6. Управление системами с запаздыванием во входном канале
7. Управление системами через цифровой канал приема-передачи данных

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.