

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

УТВЕРЖДАЮ

Одобрено на Ученом совете
ИПМаш РАН

Протокол № 10/22

«13» декабря 2022 г.



Директор ИПМаш РАН, д.т.н.

В.А. Полянский

2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«СЕТЕВЫЕ И МУЛЬТИАГНЕТНЫЕ СИСТЕМЫ. АДАПТИВНОЕ И
РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ»**

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

Дисциплина «Сетевые и мультиагентные системы. Адаптивное и робастное управление» реализуется в рамках элективной (обязательной) дисциплины профессиональной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН) для аспирантов очной формы обучения по научным специальностям: 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение; 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации; 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 программы «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 «Сетевые и мультиагентные системы. Адаптивное и робастное управление» 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 6 семестре.

Дисциплина «Сетевые и мультиагентные системы. Адаптивное и робастное управление» реализуется на третьем курсе.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины «Сетевые и мультиагентные системы. Адаптивное и робастное управление» - научить аспирантов методам анализа и синтеза сетевых и мультиагентных систем автоматического управления в условиях неопределенностей. 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 «Сетевые и мультиагентные системы. Адаптивное и робастное управление» имеют цель подготовить аспирантов к формализации и решению типовых задач управления сетевыми системами, поставленными на вербальном языке.

Основными задачами дисциплины «Сетевые и мультиагентные системы. Адаптивное и робастное управление» 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 сетевым системам;
- выполнять необходимые расчетные задания при помощи определенного набора специальных методов.

Курс «Сетевые и мультиагентные системы. Адаптивное и робастное управление» формирует у аспиранта следующие навыки:

- формализации задач управления сетевыми системами;
- 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 сетевых систем.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

2.1. Учебная дисциплина «Сетевые и мультиагентные системы. Адаптивное и робастное управление» 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 «Сетевые и мультиагентные системы. Адаптивное и робастное управление» служит основой для написания выпускной квалификационной работы (диссертации), а также для осуществления дальнейшей профессиональной деятельности.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Результаты освоения дисциплины «Сетевые и мультиагентные системы. Адаптивное и робастное управление»:

- 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 конкурентоспособности.

В результате изучения данной дисциплины аспирант должен:

знать основные принципы сетевого адаптивного и робастного 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 «Сетевые и мультиагентные системы. Адаптивное и робастное управление» осваивается на 3-ем курсе.

Разделы дисциплины

Наименование разделов и тем:
Тема 1. Постановка задачи адаптивного и робастного управления
Тема 2. Управление по состоянию
Тема 3. Управление по выходу объектами с единичной относительной степенью
Тема 4. Метод расширенной ошибки
Тема 5. Алгоритмы адаптации высокого порядка
Тема 6. Управление многосвязными системами
Тема 7. Управление мультиагентными и сетевыми системами
Вид контроля: экзамен

Краткое содержание разделов и тем

Темы, разделы	Результаты освоения дисциплины
1. Постановка задачи адаптивного и робастного управления	
1.1. Постановка задачи адаптивного и робастного управления. Постановка задачи и цели управления в условиях неопределенностей. Виды неопределенностей.	Знать особенности систем как объектов управления. Уметь составлять и анализировать расчетные схемы систем как объектов управления. Владеть основными понятиями дисциплины.
2. Управление по состоянию	
2.1. Управление по состоянию. Синтез алгоритмов адаптивного и робастного управления с измеряемым вектором состояния объекта.	Знать основные способы математического описания управляемых систем. Уметь составлять и анализировать математические модели систем как объектов управления. Владеть основными понятиями дисциплины.
3. Управление по выходу объектами с единичной относительной степенью	
3.1. Управление по выходу объектами с единичной относительной степенью. Синтез алгоритмов адаптивного и робастного управления по выходу объектами с единичной относительной степенью.	Знать методы анализа управляемых систем. Уметь синтезировать алгоритмы управления. Владеть основными понятиями дисциплины.
4. Метод расширенной ошибки	

4.1. Метод расширенной ошибки. Метод расширенной ошибки при известном и неизвестном высокочастотном коэффициенте усиления.	Знать возможности метода фазовых траекторий при анализе систем. Уметь исследовать управляемые системы методом фазовых траекторий. Владеть основными понятиями дисциплины.
5. Алгоритмы адаптации высокого порядка	
5.1. Алгоритмы адаптации высокого порядка. Классический и модифицированный алгоритмы адаптации высокого порядка.	Знать особенности периодических режимов в управляемых системах. Уметь использовать методы приближенного анализа периодических режимов систем. Владеть основными понятиями дисциплины.
6. Управление многосвязными системами	
6.1. Управление многосвязными системами. Методы адаптивного и робастного управления многосвязными системами в условиях неопределенностей подсистем и связей между ними.	Знать свойства случайных процессов в управляемых многосвязных системах. Уметь осуществлять преобразование случайных процессов. Владеть основными понятиями дисциплины.
7. Управление мультиагентными и сетевыми системами	
7. Управление мультиагентными и сетевыми системами. Управление группой объектов с учетом топологии связей между агентами сети.	Знать постановки задач управления сетевыми 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.

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 сетевыми линейными и

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

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

Темы практических занятий:

Тема 1. Постановка задачи адаптивного и робастного управления

Тема 2. Управление по состоянию

Тема 3. Управление по выходу объектами с единичной относительной степенью

Тема 4. Метод расширенной ошибки

Тема 5. Алгоритмы адаптации высокого порядка

Тема 6. Управление многосвязными системами

Тема 7. Управление мультиагентными и сетевыми системами

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Рекомендуемая литература

Основная литература

1. И.Б. Фуртат АДАПТИВНОЕ И РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫМИ СИСТЕМАМИ. Учебное пособие. Санкт-Петербург. 2016.
2. Фрадков А.Л., Ананьевский М.С., Амелина Н.О., Граничин О.Н., Пчелкина 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 осуществляемая на протяжении семестра.

1. Постановка задачи адаптивного и робастного управления
2. Управление по состоянию
3. Управление по выходу объектами с единичной относительной степенью
4. Метод расширенной ошибки
5. Алгоритмы адаптации высокого порядка
6. Управление многосвязными системами
7. Управление мультиагентными и сетевыми системами

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.