

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОВЕДЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИПМаш РАН)

Одобрено на Ученом совете

Протокол № 2/20
« 25 » февраля 2020 г.



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

Направление подготовки
27.06.01 «УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»

Направленность (профиль) программы:
05.11.16 «ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ
СИСТЕМЫ»
(Машиностроение)

РПД разработал:
Профессор, д.т.н. И.Б. Фуртат

Квалификация
Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения:
очная, заочная

Санкт-Петербург
2020

АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Управление системами с запаздыванием. Линейные матричные неравенства» реализуется в рамках **Блока 1** дисциплины по выбору 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 и заочной форм обучения по направлению подготовки 27.06.01 «Управление в технических системах», направление программы 05.11.16 «Информационно-измерительные и управляющие системы» (Машиностроение).

Рабочая программа разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 27.06.01 «Управление в технических системах» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 года № 866, зарегистрированного в Минюсте Российской Федерации 25 августа 2014 года № 33837, с изменениями и дополнениями от 30 апреля 2015 года и учебным планом программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки кадров высшей квалификации 27.06.01 «Управление в технических системах», направление программы 05.11.16 «Информационно-измерительные и управляющие системы» (Машиностроение).

Общая трудоемкость дисциплины «Управление системами с запаздыванием. Линейные матричные неравенства» по учебному плану составляет 3 зачетные единицы (108 часов), из них лекций – 36 часов, практических (семинарских) занятий – 36 часов, в том числе аудиторных занятий в интерактивной форме – 18 часов, лабораторных занятий – 0 часов, самостоятельной работы – 36 часов, в том числе творческой проблемно-ориентированной самостоятельной работы – 18 часов. 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 1 семестре.

Дисциплина «Управление системами с запаздыванием. Линейные матричные неравенства» реализуется на втором курсе, продолжительность обучения – 1 семестр.

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 ОПОП

2.1. Учебная дисциплина «Управление системами с запаздыванием. линейные матричные неравенства» входит в обязательную часть ОПОП по направлению подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлениям, 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 бакалавриате или специалитете.

2.3. Дисциплина «Управление системами с запаздыванием. Линейные матричные неравенства» служит основой для написания выпускной квалификационной работы, а также для осуществления дальнейшей профессиональной деятельности.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Управление системами с запаздыванием. Линейные матричные неравенства», направлено на формирование следующих компетенций в соответствии с ОПОП по направлениям подготовки, реализуемым ИПМаш РАН.

3.1. Универсальные компетенции:

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);

- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5).

3.2. Общепрофессиональные компетенции:

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-2).

3.3. Профессиональные компетенции:

- владеть культурой мышления, иметь способности к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (ПК-8);

- уметь логически верно, аргументированно и ясно строить устную и письменную речь (ПК-9);

- использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического и компьютерного моделирования в теоретических и расчетно-экспериментальных исследованиях (ПК-10);

- владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, иметь навыки работы с компьютером как средством управления информацией (ПК-11);

- уметь использовать фундаментальные законы природы, законы естественнонаучных дисциплин и механики в процессе профессиональной деятельности (ПК-12);

- быть способным выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ПК-13);

- применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности (ПК-14);

- 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 (ПК-15);

- выполнять расчетно-экспериментальные работы по многовариантному анализу характеристик конкретных механических объектов с целью оптимизации технологических процессов (ПК-16);

- 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 (ПК-17).

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 в 4-м семестре. Приводимая ниже таблица показывает распределение бюджета учебного времени, отводимого на освоение основных разделов курса согласно учебному плану на первый семестр. Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е. (108 часов).

4.1. Виды учебной работы

Виды учебной работы	Трудоемкость	
	ач/нед	ач/сем
Лекции	2	36
Лабораторные занятия	-	-
Практические занятия, семинары	2	36
в том числе аудиторные занятия в интерактивной форме	-	18
Самостоятельная работа	2	36
в том числе творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа	-	18
Экзамены (подготовка, сдача)	-	-
Общая трудоемкость освоения дисциплины	в академических часах	
	в зачетных единицах	
		108
		3

4.2. Разделы дисциплины и виды учебной работы

Наименование разделов и тем:	Всего учебных занятий (в академических часах)

	Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа
1	1	2	3
Тема 1. Модели с запаздыванием	4	4	6
Тема 2. Исследование устойчивости систем с запаздыванием и синтез систем управления с использованием функционалов Ляпунова-Красовского	5	5	5
Тема 3. Условия устойчивости, независящие от времени запаздывания	5	5	5
Тема 4. Условия устойчивости, зависящие от времени запаздывания	5	5	6
Тема 5. Управление дискретными по времени системами	4	4	3
Тема 6. Управление системами с запаздыванием во входном канале	5	5	5
Тема 7. Управление системами через цифровой канал приема-передачи данных	8	8	6
Итого по видам учебной работы, а. ч.	36	36	36
Итого по видам учебной работы, з. ед.	1	1	1
Общая трудоемкость освоения, а. ч./з. ед.	108 а. ч./ 3 з. ед.		
<i>Вид контроля: экзамен</i>			

4.3. 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, независящие от времени запаздывания	
3.1. Условия устойчивости, независящие от времени запаздывания. Условия устойчивости линейных и нелинейных систем, независящие 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	Знать возможности метода фазовых траекторий при анализе систем. Уметь исследовать управляемые

нелинейных систем, зависящие от времени запаздывания.	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.

4.4. 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.

Примерное распределение времени самостоятельной работы студентов

Вид самостоятельной работы	Примерная трудоемкость, а.ч.
Текущая самостоятельная работа аспирантов (СР)	
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	18
Опережающая самостоятельная работа	18
Итого текущей СР:	18
Творческая проблемно-ориентированная СР	
Творческая проблемно-ориентированная СР:	18
Итого творческой СР:	18
Общая трудоемкость СР	36

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	Объем, а. ч.
Интерактивные проблемные лекции по анализу устойчивости и управлению линейными и нелинейными системами с запаздыванием	4
Интерактивные практические занятия-семинары по методам решения типовых задач	6

6. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Не предусмотрен

7. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Программой предусмотрено углубленное рассмотрение основных теоретических положений дисциплины, а также решение типовых задач общей аудиторной трудоемкостью 36 часов.

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

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1. 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. 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., 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.

8.2. 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.

9. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

9.1. Критерии оценивания

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

9.2. Оценочные средства

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.