

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
радиотехники и компьютерных
технологий**

А.В. Дворкович

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Теория автоматического управления
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра интегрированных киберсистем
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

8 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: Л.Б. Рапопорт, доктор наук

Программа обсуждена на заседании кафедры интегрированных киберсистем 20.05.2020

Аннотация

Данный курс предназначен для изучения основ математической теории автоматического управления. В рамках данного курса рассмотрены принципы построения систем управления независимо от физической природы объекта управления. Студенты изучат методы построения автоматических систем. Курс состоит из двух частей, относящихся к линейной и нелинейной теории управления соответственно. В основу курса положен язык пространства состояний для описания конечномерных динамических систем. Курс проходит в формате лекционных и семинарских занятий. Для успешного прохождения данного курса необходимо посещение и конспектирование лекций и своевременное выполнение практических работ, а также самостоятельная работа с дополнительной литературой.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Целью курса является изучение основ теории автоматического управления системами физическо-технической природы.

Задачи дисциплины

- приобретение теоретических знаний по автоматическому управлению;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований построения систем управления;
- приобретение навыков синтеза систем управления объектами механической природы.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- ☐ фундаментальные понятия современной теории управления;
- ☐ современные методы синтеза систем управления.

уметь:

- ☐ абстрагироваться от несущественного при построении математических моделей объектов управления;
- ☐ пользоваться своими знаниями для решения прикладных и технологических задач;
- ☐ делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых системах;
- ☐ видеть в технических задачах управления физическое содержание;
- ☐ осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- ☐ эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- ☐ навыками освоения большого объема информации;
- ☐ навыками самостоятельной работы в лаборатории и интернете;
- ☐ уметь правильно ставить задачу и выбирать адекватный математический метод;
- ☐ навыками теоретического анализа реальных систем как в непрерывном, так и в дискретном времени.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Примеры систем автоматического управления, возникающие в различных областях техники. Основные понятия.	4			2
2	Математические методы описания линейных систем.	6			3
3	Устойчивость, управляемость, наблюдаемость.	7			4
4	Абсолютная и робастная устойчивость	6			3
5	Основы теории оценивания.	7			3
6	Нелинейные явления и нелинейные системы. Локальные и нелокальные методы исследования нелинейных явлений.	10			10
7	Бифуркации в нелинейных системах.	7			10
8	Методы синтеза нелинейных систем: Линеаризация обратной связью. Backstepping. Скользящие режимы.	13			10
Итого часов		60			45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

1. Примеры систем автоматического управления, возникающие в различных областях техники. Основные понятия.

Примеры непрерывных и дискретных систем автоматического регулирования, возникающие в промышленности, спутниковой навигации, робототехнике. Основные понятия: обратная связь, астатизм, качество регулирования, оптимизация процессов регулирования. Классификация САР.

2. Математические методы описания линейных систем.

Динамическая система как математическая модель системы управления. Описание системы в терминах пространства состояний.

Преобразование Лапласа. Свойства преобразования Лапласа. Передаточная функция линейного звена. Весовая функция, переходная функция. Передаточные функции типовых звеньев. Статические характеристики САР. Порядок астатизма. Частотные характеристики САР.

3. Устойчивость, управляемость, наблюдаемость.

Понятие устойчивости. Устойчивость линейных стационарных систем. Критерий Михайлова. Критерий Найквиста. Устойчивость линейных нестационарных систем.

Управляемость линейных систем, наблюдаемость. Ранговый критерий Калмана.

4. Абсолютная и робастная устойчивость

Понятие абсолютной устойчивости. Критерий Попова. Существование функции Лурье-Постникова. Знакоопределенность квадратичной формы в конусе.

Абсолютная устойчивость линейных нестационарных систем. Робастная устойчивость. Достаточные условия существования квадратичных функций Ляпунова. Линейные матричные неравенства.

5. Основы теории оценивания.

Постановка задачи линейного оценивания. Вычислительные методы рекуррентного оценивания. Применение к задачам навигации и управления движением.

Семестр: 8 (Весенний)

6. Нелинейные явления и нелинейные системы. Локальные и нелокальные методы исследования нелинейных явлений.

Нелинейные модели и явления. Примеры явлений, встречающихся в нелинейных системах. Предельные циклы. Явление Джанибекова и его объяснение. Солитоны.

Вращение векторного поля, индекс Пуанкаре. Теорема Хопфа. Теорема Бендиксона.

7. Бифуркации в нелинейных системах.

Примеры бифуркаций в нелинейных системах. Классификация бифуркаций.

8. Методы синтеза нелинейных систем: Линеаризация обратной связью. Backstepping. Скользящие режимы.

Синтез нелинейных систем управления. Стабилизация нелинейных систем. Линеаризация обратной связью. Применение к задаче об управлении колесным роботом, следующим вдоль криволинейного пути. Backstepping. Скользящие режимы. Явление чаттеринга.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Аудитория с мультимедийным проектором и компьютером, аудиторная доска.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Теория систем автоматического управления [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов .— 4-е изд., перераб. и доп. — СПб. : Профессия, 2004 .— 752 с.
2. Линейные многомерные системы управления [Текст], геометр. подход/М. Уонэм , пер. с англ. Э. Л. Наппельбаума , -М., Наука, 1980

Дополнительная литература

1. Курс теории автоматического управления [Текст] : учебное пособие / А. А. Первозванский .— М. : Наука, 1986 .— 615 с.
2. Робастная устойчивость и управление [Текст]/Б. Т. Поляк, П. С. Щербаков , -М., Наука, 2002

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

<https://web.stanford.edu/~boyd/lmibook/lmibook.pdf>

<http://cvxr.com/cvx>

<https://cloud.scilab.in/>

<https://www.scilab.org/download/6.0.2>

<https://web.stanford.edu/~boyd/lmibook/lmibook.pdf>

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Мультимедийные технологии, MS PowerPoint, демонстрация презентаций.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе);
- подготовку к экзамену и дифференцированному зачету.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра интегрированных киберсистем
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет
8 (весенний) - Экзамен

Разработчик: Л.Б. Рапопорт, доктор наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Теория автоматического управления» обучающийся должен:

знать:

- ☐ фундаментальные понятия современной теории управления;
- ☐ современные методы синтезасистем управления.

уметь:

- ☐ абстрагироваться от несущественного при построении математических моделей объектов управления;
- ☐ пользоваться своими знаниями для решения прикладных и технологических задач;
- ☐ делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых системах;
- ☐ видеть в технических задачах управления физическое содержание;
- ☐ осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- ☐ эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- ☐ навыками освоения большого объема информации;
- ☐ навыками самостоятельной работы в лаборатории и интернете;
- ☐ уметь правильно ставить задачу и выбирать адекватный математический метод;
- ☐ навыками теоретического анализа реальных систем как в непрерывном, так и в дискретном времени.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Примерный перечень вопросов к контрольной работе, примеры заданий контрольных работ:

1. Выписать передаточные функции от управления к состоянию для прямого и перевернутого управляемого математического маятника
2. Выписать представление в терминах пространства состояний для RLC контура и двухмассовой механической системы
3. Анализ устойчивости с помощью критерия Михайлова полиномов степеней 2, 3.
4. Анализ устойчивости с помощью критерия Найквиста замкнутой системы, описываемой полиномами степеней 2, 3.
5. Синтез стабилизирующего управления для примеров системы степени 2, 3.
6. Синтез стабилизирующего управления для одновременной стабилизации двух линейных систем. Сведение к разрешимости LMI.
7. Численное построение фазового портрета нелинейного колебательного контура с туннельным диодом при различных значениях постоянной ЭДС.
8. Построение фазового портрета системы «бусинка на вращающемся кольце» при различных угловых скоростях вращения.
9. Построение фазового портрета одномерного осциллятора с сухим трением.
10. Анализ устойчивости одномерных систем с графически заданной правой частью
11. Анализ абсолютной устойчивости систем порядка 2, 3.
12. Анализ устойчивости автопилота, замкнутого контроллером с насыщением и контроллером с мертвой зоной и насыщением.
13. Синтез стабилизирующего управления методом линеаризации обратной связью для перевернутого маятника на тележке. Численное исследование полученного решения.
14. Синтез стабилизирующего управления методом линеаризации обратной связью для перевернутого маятника на тележке с упругой пружиной. Численное исследование полученного решения.
15. Синтез стабилизирующего управления методом линеаризации обратной связью для колесного робота. Исследование фазового портрета при ограничениях на управление.
16. Синтез стабилизирующего разрывного управления для линейного осциллятора. Исследование фазового портрета.
17. Стабилизация верхнего положения маятника методом бэкстеппинга при различных значениях массы маятника и коэффициента трения.
18. Синтез оптимального управления в задаче о перемещении массы за кратчайшее время. Построение фазового портрета.

Примерные темы рефератов:

1. Обзор методов стабилизации вертикального положения перевернутого маятника с учетом ограничений на управление.
2. Обзор методов управления колесным роботом с учетом ограничений на угол поворота колеса. Критерии бальной оценки различных форм текущего контроля успеваемости
1. Отлично (8-10): Тема изучена, задание выполнено, вычисления проведены полностью и без ошибок.
2. Хорошо (5-7): Тема изучена, задание выполнено не полно или с небольшими ошибками.
3. Удовлетворительно (<5): Тема изучена, но задание выполнено с ошибками.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень экзаменационных вопросов:

1. Астатизм, порядок астатизма системы управления.
2. Классификация САУ.
3. Динамическая система как математическая модель системы управления.
4. Преобразование Лапласа. Свойства преобразования Лапласа.
5. Передаточная функция линейного звена. Весовая функция, переходная функция.
6. Частотные характеристики типовых звеньев.

7. Статические характеристики САР.
8. Понятие устойчивости. Устойчивость линейных стационарных систем.
9. Критерий Михайлова.
10. Критерий устойчивости Найквиста.
11. Устойчивость линейных нестационарных систем.
12. Абсолютная устойчивость нелинейных систем управления. Частотная теорема.
13. Абсолютная устойчивость нелинейных систем управления. Критерий Попова.
14. Круговой критерий.
15. Управляемость систем управления.
16. Наблюдаемость систем управления.
17. Нелинейные модели и явления. Примеры явлений, возникающих только в нелинейных системах.
18. Индекс Пуанкаре. Теорема Хопфа. Теорема Бендиксона.
19. Бифуркации. Классификация бифуркаций.
20. Синтез систем управления. Линеаризация обратной связью.
21. Синтез систем управления. Backstepping.
22. Синтез систем управления. Скользящие режимы.

Билет 1.

1. Астатизм, порядок астатизма системы управления.
2. Синтез систем управления. Скользящие режимы.

Билет 2.

1. Классификация САР.
2. Синтез систем управления. Backstepping.

Критерии оценивания

Оценка отлично (10) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8) выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Дифференцированный зачет и экзамен проводится в устной форме.

При проведении устного дифференцированного зачета и экзамена обучающемуся предоставляется не менее 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины.