

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

УТВЕРЖДЕНО
Проректор по учебной работе

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Теория управления
по направлению:	Системный анализ и управление
профиль подготовки:	Системный анализ и управление в технических, экономических и социальных системах
	Физтех-школа Аэрокосмических Технологий
	кафедра теоретической механики
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 6 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 45 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: В.А. Козьминых, канд. физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической механики 08.04.2021

Аннотация

Курс теории управления предназначен для студентов, успешно изучивших теоретическую механику и дифференциальные уравнения. В рамках курса рассматриваются как классические задачи теории управления, так и современные задачи управления космическими аппаратами.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Формирование базовых знаний по теории автоматического управления, оптимального управления, управления роботами для использования в областях и дисциплинах естественнонаучного профиля, формирование исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

Задачи дисциплины

Дать студентам базовые знания в области теории управления техническими системами. Научить студентов на примерах и задачах исследовать системы с обратной связью, самостоятельно анализировать точность и устойчивость систем управления, составлять уравнения движения мобильных роботов, формировать цель управления в виде функционала, искать оптимальные траектории

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
ОПК-1 Способен анализировать задачи управления в технических системах на основе приобретенных знаний	ОПК-1.2 Рассматривает возможные варианты решения задачи управления в технических системах, оценивает их достоинства и недостатки
ПК-2 Способен проводить анализ систем управления и их компонент	ПК-2.1 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умеет оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

Фундаментальные понятия, законы, теоремы классической и современной теории управления;
Области применения робототехнических систем и типы математических моделей роботов.

уметь:

Пользоваться своими знаниями для постановки задачи управления техническими системами;
Составить систему с обратной связью, исследовать ее точность и устойчивость;
Математически описать цель управления и ограничения на управляющие воздействия;
Составлять дифференциальные уравнения движения робототехнической системы;
Осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики.

владеть:

Математическим аппаратом теории управления
Методами теории управления

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	Возникновение теории управления, примеры практических задач управления техническими системами	5			5
2	Математический аппарат теории управления	7			7
3	Типовые звенья следящей системы, ее точность и устойчивость	5			5
4	Управляемость и наблюдаемость линейных систем	8			8
5	Системы с нелинейным элементом, предельные циклы, автоколебания	5			5
6	Вариационный анализ нелинейных систем управления	5			5
7	Необходимые условия оптимальности в форме принципа максимума Л.С.Понтрягина	10			10
Итого часов		45			45
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 6 (Весенний)

1. Возникновение теории управления, примеры практических задач управления техническими системами

- Исторические аспекты возникновения теории управления. Регулятор Уатта. Задача о брахистохроне. Объект управления, фазовые координаты, управляющие функции, уравнения состояния объекта, управляющее устройство. Расширенное фазовое пространство управляемой системы. Способы задания цели управления. Функционал задачи.
- Управление спуском КА в атмосфере планеты как характерный пример задачи управления. Замкнутые и разомкнутые системы управления. Программа управления, синтез управления. Обратная связь по координатам и по возмущениям. Аналитические подходы к решению линейных задач.

2. Математический аппарат теории управления

- Система управления с обратной связью и её математическое описание с помощью линейной системы дифференциальных уравнений. Звено системы управления и его описание с помощью линейного дифференциального уравнения n-го порядка. Операторный подход Хевисайда, операторная передаточная функция звена, её использование для исследования устойчивости по входу. Характеристический многочлен. Математическая формализация подхода Хевисайда с помощью преобразования Лапласа. Основные положения операционного исчисления. Передаточная функция звена $H(s)$, матричная передаточная функция линейной системы, смысл элементов матричной передаточной функции. Передаточная функция системы управления при различных видах соединения звеньев: последовательном, параллельном, с обратной связью.

- Свойства преобразования Лапласа. Теорема единственности. Таблица изображений для ряда элементарных функций. Преобразование Лапласа для свёртки функций. Алгебра передаточных функций. Перенос точки съёма сигнала и точки суммирования сигналов с целью получить более простую эквивалентную схему. Отклик системы на стандартные воздействия: дельта-функцию, тета-функцию, гармоническое колебание. Весовая функция, переходная функция, амплитудно-фазовая характеристика. Связь между весовой и переходной функциями. Связь между передаточной функцией и амплитудно-фазовой характеристикой. Использование весовой функции для нахождения отклика системы на произвольное внешнее воздействие.

3. Типовые звенья следящей системы, ее точность и устойчивость

- Типовые звенья как элементарные ячейки сложной системы управления. Получение уравнений типовых звеньев из общего вида линейного дифференциального уравнения n -го порядка. Идеальный усилитель, интегрирующее звено, дифференцирующее звено, апериодическое звено. Примеры этих звеньев как реальных устройств. Построение для перечисленных типовых звеньев передаточных, весовых, переходных функций и амплитудно-фазовых характеристик. Интерпретация этих функций и характеристик для реальных типовых звеньев. Пример получения чистого интегратора из апериодического звена и идеального усилителя, объединённых положительной обратной связью.

- Следящая система. Передаточные функции для ошибки по задающему воздействию и по возмущению. Исследование точности следящей системы. Различные подходы к синтезу инвариантной системы: увеличение коэффициента усиления, введение положительной обратной связи, введение корректирующих звеньев. Принципиальные сложности синтеза инвариантных систем при управлении по отклонению. Исследование точности следящей системы на больших интервалах времени и в предельном случае. Понятие о статической ошибке и устранение этой ошибки путём введения в контур управления интегрирующих звеньев. Астатические системы.

- Устойчивость системы управления по начальным данным и её устойчивость по входу. Ограниченность входного и выходного сигналов. Суждение об устойчивости системы по её весовой и передаточной функциям. Связь устойчивости системы с расположением корней характеристического полинома. Алгебраические и графические критерии устойчивости (необходимое условие, критерий Рауса-Гурвица, критерий Михайлова). Непрерывная зависимость корней полинома от его коэффициентов. Граница устойчивости в комплексной плоскости корней полинома и граница устойчивости в плоскости параметров системы. Метод Д-разбиения для нахождения областей устойчивости в плоскости параметров. Пример использования метода Д-разбиения.

- Характеристический полином системы управления с отрицательной обратной связью. Графический метод исследования устойчивости замкнутой системы управления. Суждение об устойчивости замкнутой системы по амплитудно-фазовой частотной характеристике разомкнутой системы (критерий Найквиста). Использование АФЧ-характеристик для анализа устойчивости сложных систем при отсутствии их точной математической модели. Передаточная функция звена запаздывания. Устойчивость системы с обратной связью при наличии запаздывания.

- Структурная устойчивость систем управления. Пример системы с двойным интегратором и апериодическим звеном. Пример системы с одним интегратором и неустойчивым звеном. Локальная обратная связь как один из способов изменения структуры системы управления и устранения структурной неустойчивости. Переход от операторного описания систем управления к их описанию в пространстве состояний (алгоритм). Обобщение линейной системы управления на случай векторного входа и векторного выхода. Матричная передаточная функция. Весовая функция, переходная функция, характеристический полином для многомерной линейной системы управления общего вида.

- Робастная система управления, как система, сохраняющая свои основные свойства при некотором изменении её параметров. Робастная устойчивость линейных систем. Теорема Харитонова о робастной устойчивости полинома с независимыми коэффициентами.

4. Управляемость и наблюдаемость линейных систем

- Свойства управляемости и наблюдаемости линейных систем. Необходимые и достаточные условия управляемости и наблюдаемости. Нелинейные элементы в системе управления. Примеры нелинейных элементов и их характеристик. Характерные особенности нелинейных элементов - зона нечувствительности и участок неоднозначности (гистерезис).
- Метод фазовой плоскости при исследовании следящей системы с одним нелинейным элементом. Фазовый портрет, предельный цикл, автоколебание.

5. Системы с нелинейным элементом, предельные циклы, автоколебания

- Устойчивые и неустойчивые предельные циклы в нелинейных системах. Принципиальное отличие предельного цикла от фазового портрета типа «центр» у линейной системы. Автоколебание, как физическая реализация устойчивого предельного цикла.

6. Вариационный анализ нелинейных систем управления

- Постановка задачи оптимального управления: система уравнений, начальные и краевые условия, ограничения на управление или допустимые управления, критерий оптимальности, заданный с помощью терминального функционала. Сведение интегрального функционала к терминальному.
- Вариационный анализ нелинейных систем управления. Формула для малых изменений фазовых переменных при изменении начальных условий и управлений. Информационная матрица $P(t)$. Дифференциальные уравнения и граничные условия для $P(t)$. Пример вычисления информационной матрицы для гармонического осциллятора.
- Формула для малых приращений терминального функционала при изменении начальных условий и управлений. Простейшая задача оптимального управления.

7. Необходимые условия оптимальности в форме принципа максимума Л.С.Понтрягина

- Сопряжённые переменные, функция Гамильтона-Понтрягина, сопряжённая система, условия трансверсальности. Принцип максимума Л.С. Понтрягина - необходимое условие оптимальности.
- Типичные задачи теории оптимального управления для механических систем. Описание условий старта и финиша траектории с помощью гиперповерхности в расширенном фазовом пространстве.
- Решение задач по теме «Принцип максимума Л.С. Понтрягина»: максимальное отклонение гармонического осциллятора под действием ограниченной по модулю силы, наибо́льший разворот твёрдого тела под действием ограниченного по модулю момента.

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

1. Компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, интерактивная доска)
2. Программные комплексы (учебные версии) – пакет компьютерной математики MatLab.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Основы теории управления [Текст]/А. И. Егоров, -М., Физматлит, 2004, 2007
2. Автоматическое управление [Текст] : учеб. пособие для вузов / Я. Н. Ройтенберг .— М. : Наука, 1971 .— 395 с.
3. Математическая теория оптимальных процессов [Текст]/Л. С. Понтрягин [и др.], -М., Наука, 1983
4. Курс теории автоматического управления, Электронная версия печатной публикации / А. А. Первозванский. — Санкт-Петербург, Лань, 2021

Дополнительная литература

1. Теоретическая механика [Текст] : учебник для вузов / А. П. Маркеев .— 4-е изд., испр. — М. ; Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2007 .— 592 с.

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

<http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтеха

<http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».

<http://www.umlub.ru/pages/index.php?id=1> – программа моделирования механических систем

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. Используются программные пакеты «MatLab» и «Универсальный механизм».

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

Успешное освоение курса «Теория управления» требует большой 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);
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях;
- подготовку к контрольным, самостоятельным работам и тестам.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Системный анализ и управление
профиль подготовки:	Системный анализ и управление в технических, экономических и социальных системах Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра теоретической механики
курс:	3
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 6 (весенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	В.А. Козьминых, канд. физ.-мат. наук, доцент

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
ОПК-1 Способен анализировать задачи управления в технических системах на основе приобретенных знаний	ОПК-1.2 Рассматривает возможные варианты решения задачи управления в технических системах, оценивает их достоинства и недостатки
ПК-2 Способен проводить анализ систем управления и их компонент	ПК-2.1 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умеет оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Теория управления» обучающийся должен:

знать:

Фундаментальные понятия, законы, теоремы классической и современной теории управления;
Области применения робототехнических систем и типы математических моделей роботов.

уметь:

Пользоваться своими знаниями для постановки задачи управления техническими системами;
Составить систему с обратной связью, исследовать ее точность и устойчивость;
Математически описать цель управления и ограничения на управляющие воздействия;
Составлять дифференциальные уравнения движения робототехнической системы;
Осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики.

владеть:

Математическим аппаратом теории управления
Методами теории управления

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

Перечень вопросов для текущего контроля:

1. Постановка задачи оптимального управления: система уравнений, начальные и краевые условия
2. Ограничения на управление или допустимые управления, критерий оптимальности, заданный с помощью терминального функционала.
3. Сведение интегрального функционала к терминальному.
4. Колесные формулы мобильных роботов. Дифференциальный привод.
5. Вариационный анализ нелинейных систем управления.
6. Формула для малых изменений фазовых переменных при изменении начальных условий и управлений.
7. Информационная матрица $P(t)$. Дифференциальные уравнения и граничные условия для $P(t)$.
8. Пример вычисления информационной матрицы для гармонического осциллятора.

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

Перечень примерных вопросов для дифференцированного зачета:

1. Кинематика робота с дифференциальным приводом. Гладкое движение по траектории.
2. Прямая и обратная задачи кинематики мобильного робота. Синтез программного движения.

3. Формула для малых приращений терминального функционала при изменении начальных условий и управлений.
4. Простейшая задача оптимального управления.
5. Кинематика робота с дифференциальным приводом. Движение по траектории с особыми точками.

Перечень примерных вопросов для экзамена:

1. Исторические аспекты возникновения теории управления. Регулятор Уатта. Задача о брахистохроне.
2. Структурная устойчивость систем управления. Пример системы с двойным интегратором и апериодическим звеном.
3. Типовые звенья как элементарные ячейки сложной системы управления. Получение уравнений типовых звеньев из общего вида линейного дифференциального уравнения n -го порядка.
4. Робастная система управления, как система, сохраняющая свои основные свойства при некотором изменении её параметров. Робастная устойчивость линейных систем. Теорема Харитонова о робастной устойчивости полинома с независимыми коэффициентами.
5. Следящая система. Передаточные функции для ошибки по задающему воздействию и по возмущению. Исследование точности следящей системы.
6. Управление спуском КА в атмосфере планеты как характерный пример задачи управления. Замкнутые и разомкнутые системы управления. Программа управления, синтез управления. Обратная связь по координатам и по возмущениям. Аналитические подходы к решению линейных задач.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Исторические аспекты возникновения теории управления. Регулятор Уатта. Задача о брахистохроне.
2. Структурная устойчивость систем управления. Пример системы с двойным интегратором и апериодическим звеном.

Билет 2.

1. Типовые звенья как элементарные ячейки сложной системы управления. Получение уравнений типовых звеньев из общего вида линейного дифференциального уравнения n -го порядка.
2. Робастная система управления, как система, сохраняющая свои основные свойства при некотором изменении её параметров. Робастная устойчивость линейных систем. Теорема Харитонова о робастной устойчивости полинома с независимыми коэффициентами.

Билет 3.

1. Следящая система. Передаточные функции для ошибки по задающему воздействию и по возмущению. Исследование точности следящей системы.
2. Управление спуском КА в атмосфере планеты как характерный пример задачи управления. Замкнутые и разомкнутые системы управления. Программа управления, синтез управления. Обратная связь по координатам и по возмущениям. Аналитические подходы к решению линейных задач.

Критерии оценивания

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту по результатам экзамена, если он твердо знает материал экзаменационного билета, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту по результатам экзамена, если он знает материал экзаменационного билета, по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе много неточностей;

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту по результатам экзамена, если он знает материал экзаменационного билета, излагает его, умеет применять полученные знания на практике, не допускает в ответе грубых ошибок;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту по результатам экзамена, если во время ответа экзаменационного билета он показал фрагментарный, характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту по результатам экзамена, если во время ответа экзаменационного билета он показал разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется студенту по результатам экзамена, если во время ответа экзаменационного билета, он показал, что не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

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

Во время проведения экзамена и дифференцированного зачета при подготовке к ответу обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций. Экзамен проводится путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

по направлению:

профиль подготовки/магистерская программа:

факультет:

кафедра (название):

курс: _____ (бакалавриат/магистратура)

формы промежуточной аттестации:

семестры: _____ (осенний) – дифференцированный зачет

_____ (весенний) – экзамен

Разработчики:

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Освоение дисциплины направлено на формирование у обучающегося следующих общекультурных (ОК), общепрофессиональных (ОПК) и профессиональных (ПК) компетенций:

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «_____» обучающийся должен:

знать:

уметь:

владеть:

3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков

Промежуточная аттестация по дисциплине «Теория управления» осуществляется в форме дифференцированного зачета и экзамена в конце семестра. Экзамен проводится в устной форме. Билет содержит два теоретических вопроса и одну задачу.

3а. Примеры экзаменационных задач.

1. Используя преобразование Лапласа найти изображение от оригинала:

$$1. e^{\alpha t} \quad 2. t^n \quad 3. \sin(\omega t) \quad 4. \cos(\omega t)$$

2_а. Используя преобразование Лапласа решить задачу Коши:

$$x''(t) - x'(t) + 2x(t) = 6e^{-t}, x(0) = 2, x'(0) = 0$$

2_б. Используя преобразование Лапласа решить задачу Коши:

$$x''(t) + x'(t) = \cos(t), x(0) = 0, x'(0) = -2, x''(t) = 0$$

3б. Примеры экзаменационных билетов.

Билет 1.

1. Постановка задачи оптимального управления: система уравнений, начальные и краевые условия, ограничения на управление или допустимые управления, критерий оптимальности, заданный с помощью терминального функционала. Сведение интегрального функционала к терминальному.

2. Колесные формулы мобильных роботов. Дифференциальный привод.

Билет 2.

1. Вариационный анализ нелинейных систем управления. Формула для малых изменений фазовых переменных при изменении начальных условий и управлений. Информационная матрица $P(t)$. Дифференциальные уравнения и граничные условия для $P(t)$. Пример вычисления информационной матрицы для гармонического осциллятора.
2. Кинематика робота с дифференциальным приводом. Гладкое движение по траектории. Прямая и обратная задачи кинематики мобильного робота. Синтез программного движения.

Билет 3.

1. Формула для малых приращений терминального функционала при изменении начальных условий и управлений. Простейшая задача оптимального управления.
2. Кинематика робота с дифференциальным приводом. Движение по траектории с особыми точками.

3б. Примеры вопросов на дифференцированном зачете.

1. Характеристический полином системы управления с отрицательной обратной связью. Графический метод исследования устойчивости замкнутой системы управления.
2. Свойства преобразования Лапласа. Теорема единственности. Таблица изображений для ряда элементарных функций. Преобразование Лапласа для свёртки функций. Алгебра передаточных функций.
3. Весовая функция, переходная функция, амплитудно-фазовая характеристика. Связь между весовой и переходной функциями. Связь между передаточной функцией и амплитудно-фазовой характеристикой. Использование весовой функции для нахождения отклика системы на произвольное внешнее воздействие.
4. Робастная система управления, как система, сохраняющая свои основные свойства при некотором изменении её параметров. Робастная устойчивость линейных систем. Теорема Харитонова о робастной устойчивости полинома с независимыми коэффициентами.
5. Решение задач по теме «Принцип максимума Л.С. Понтрягина»: максимальное отклонение гармонического осциллятора под действием ограниченной по модулю силы, наибыстрейший разворот твёрдого тела под действием ограниченного по модулю момента.