

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
"Национальный исследовательский университет  
"Высшая школа экономики"**

Московский институт электроники и математики  
Департамент электронной инженерии

**Программа дисциплины МАГОЛЕГО**  
Современная теория управления.  
Основные принципы и математические методы.

уровень – магистр

Разработчик программы:

Туманов М.П., канд. техн. наук, профессор

Одобрена на заседании департамента электронной инженерии «2» июня 2016 г

Руководитель департамента Б.Г. Львов \_\_\_\_\_

**Москва, 2016**

*Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями  
университета и другими вузами без разрешения подразделения-разработчика  
программы.*



Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает минимальные требования к знаниям и умениям студента и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа разработана в соответствии с:

- Положением об учебных планах образовательных программ бакалавриата, специалитета и магистратуры.

### 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины "Современная теория управления. Основные принципы и математические методы" является формирование устойчивых знаний по теории математического конструирования непрерывных и дискретных систем управления, развития умений мыслить в терминах теории управления и принципов управления. Для усвоения изучаемого материала достаточно общих сведений из математического анализа, алгебры, теории случайных процессов, теории систем.

### 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Компетенция	Код по ФГОС
Способен к абстрактному мышлению, анализу, синтезу.	ОК-1
Готов к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала.	ОК-3
Способен разрабатывать эффективные математические методы решения задач естествознания, техники, экономики и управления.	ОПК-2
Способен анализировать сложные технические системы управления.	ПК-1
Способен синтезировать сложные технические системы управления.	ПК-2
Способен разрабатывать научно-техническую документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований.	ПК-3
Способен к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов.	ПК-4
Способен разрабатывать и исследовать математические модели объектов, систем, процессов и технологий, предназначенных для проведения расчетов, анализа, подготовки решений.	ПК-7
Способен и готов проводить научные эксперименты, оценивать результаты.	ПК-9

В результате освоения дисциплины студент должен:

#### Иметь представление:

- Об основных видах математических моделей систем управления;
- Об общих принципах анализа и синтеза систем управления;
- О требованиях, предъявляемых к системам управления;
- О современных пакетах компьютерной математики;

#### Знать:



- Методы формирования задачи управления разнообразными системами; Методы математического моделирования систем с использованием современных компьютерных программ.

**Уметь:**

- Формализовать задачи синтеза систем управления с использованием современного математического аппарата;
- Выбирать среду для моделирования конкретных задач управления;

**Владеть навыками:**

- Конструктивного (инженерного) анализа и синтеза систем управления;
- Умение работать в среде MATLAB и пакетов расширения среды MATLAB - Control System Toolbox и Simulink для моделирования и синтеза систем управления.

**3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Настоящая дисциплина относится к циклу специальных дисциплин.

Изучение данной дисциплины базируется на следующих дисциплинах:

Настоящая дисциплина относится к математическому и естественнонаучному циклу дисциплин, обеспечивающих подготовку магистра.

Изучение данной дисциплины базируется на следующих дисциплинах:

- Математический анализ.
- Теория функций комплексного переменного.
- Линейная алгебра и геометрия.
- Теория случайных функций.

Для освоения учебной дисциплины, студенты должны владеть следующими знаниями и компетенциями:

- знание основ физики, математического анализа и теории обыкновенных дифференциальных уравнений, умение дифференцировать и интегрировать функции нескольких переменных, решать простейшие дифференциальные уравнения с постоянными коэффициентами, разлагать функции в ряды Фурье, быть способным применять упомянутые знания и умения для анализа и синтеза динамических систем управления.

Компетенции, которые студент приобретает после изучения дисциплины:

Компетенция	Код по ФГОС
Способен к абстрактному мышлению, анализу, синтезу.	ОК-1
Готов к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала.	ОК-3
Способен разрабатывать эффективные математические методы решения задач естествознания, техники, экономики и управления.	ОПК-2
Способен анализировать сложные технические системы управления.	ПК-1
Способен синтезировать сложные технические системы управления.	ПК-2
Способен разрабатывать научно-техническую документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований.	ПК-3



Компетенция	Код по ФГОС
Способен к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов.	ПК-4
Способен разрабатывать и исследовать математические модели объектов, систем, процессов и технологий, предназначенных для проведения расчетов, анализа, подготовки решений.	ПК-7
Способен и готов проводить научные эксперименты, оценивать результаты.	ПК-9

3 модуль: 10 ч лекций, 12 ч практических

4 модуль: 10 ч лекций, 10 ч практических, реферат, экзамен

#### 4. Тематический план учебной дисциплины

№	Название раздела	Всего часов	Аудиторные часы		
			Лекции	Семинары	Практические занятия
1	<b>Раздел 1. ВВЕДЕНИЕ</b> Динамические системы и их структурные свойства. Постановка задачи управления. Принципы управления. Основные фундаментальные проблемы. Особенность настоящего состояния предметной области.	1	1		
2	<b>Раздел 2. Математические модели СУ с непрерывным временем.</b>	7	4		5
3	<b>Раздел 3. Устойчивость САУ.</b>	6	3		3
4	<b>Раздел 4. Точность и качество САУ. Методы повышения точности. Классические методы синтеза корректирующих устройств.</b>	4	2		3
5	<b>Раздел 5. Помехи в САУ. Случайные процессы в САУ.</b>	4	2		2
6	<b>Раздел 6. Импульсные САУ.</b>	4	2		2
7	<b>Раздел 7. Оптимальное управление – общие понятия и методы.</b>	6	3		3
8	<b>Раздел 8. Оптимальное управление линейными объектами.</b>	4	2		2
9	<b>Раздел 9. Принцип адаптации.</b>	2	1		1



## 5. Формы контроля знаний студентов

Тип контроля	Форма контроля	Кол-во	Параметры
Текущий (неделя)	Контрольная работа	2	письменные работы, по 30 мин.
	Реферат	1	Оформленная с помощью ЭВМ работа
Итоговый	Экзамен		2 часа

**Текущая аттестация** проводится еженедельно на практических занятиях. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к семинарам.

## 6. Содержание дисциплины

### Введение

Определяется понятие систем управления, которые рассматриваются в данном курсе. Определяются принципы управления. Формулируются основные математические задачи, возникающие при исследовании таких систем. Оговаривается терминология предметной области и её отличие от смежных областей. Принцип сложности, отличающий техническую систему от других типов систем, встречающихся в природе.

### Математические модели СУ

Способы получения дифференциальных уравнений объекта регулирования. Линеаризация нелинейных уравнений объекта и систем уравнений. Вырожденная и невырожденная линеаризация. Стационарные СУ с одним входом и выходом. Передаточные функции и типовые входные воздействия.

Частотный метод исследования СУ. Частотные характеристики. АФЧХ, ЛАЧХ. Связь преобразования Фурье с преобразованием Лапласа. Непрерывный и дискретный спектры сигналов.

Дробно-рациональные передаточные функции.

Типовые звенья ТАУ. Приведение произвольной передаточной функции к виду соединения типовых звеньев. Физическая реализуемость передаточной функции.

Рассмотрение типовых передаточных функций (звеньев ТАУ) со стандартными характеристиками. Примеры реализации типовых звеньев ТАУ.

Трансцендентные передаточные функции на примере звена чистого запаздывания. Распределённые САУ.

Многомерные САУ.

Передаточные матрицы и описание в пространстве состояний. Нецелесообразность использования многомерных частотных характеристик, целесообразность матричных методов исследования многомерных СУ с использованием ЭВМ. Канонические формы. Управляемость и наблюдаемость.

Структурные схемы САУ. Преобразования структурных схем. Частные передаточные функции.



### **Устойчивость САУ.**

Понятие об устойчивости САУ, как о критерии и методе проектирования СУ. Определение устойчивости асимптотической и по Ляпунову А.М.. Устойчивость линейных систем - вопрос о расположении корней характеристического уравнения. Получение характеристического уравнения для передаточной функции, передаточной матрицы, системы линейных д.у. с постоянными коэффициентами. Теоремы Ляпунова А.М. о связи устойчивости нелинейной и линеаризованной систем.

Критерии устойчивости. Необходимые и достаточные условия устойчивости. Алгебраические и частотные критерии устойчивости. Критерии Гурвица, Михайлова, Найквиста. Устойчивость по ЛАЧХ и ФЧХ. Запас устойчивости по амплитуде и фазе. Влияние звена чистого запаздывания на запас устойчивости.

### **Точность и качество САУ. Методы повышения точности. Классические методы синтеза корректирующих устройств.**

Передаточная функция по ошибке и коэффициенты ошибок в стандартной следящей САУ. Астатизм САУ и методы повышения порядка астатизма. Связь устойчивости и точности СУ. Обеспечение заданной точности и устойчивости с помощью стандартного ПИД - регулятора. Принцип инвариантности и метод комбинированного управления. Синтез последовательных и параллельных корректирующих устройств. Метод диаграмм Солодовникова - классический метод последовательной коррекции с использованием частотных характеристик.

Модальный регулятор- метод синтеза САУ в пространстве состояний. Управление объектом при косвенном измерении состояния, задача построения «наблюдателя» - восстановления состояния объекта. Теорема о разделении задачи построения «наблюдателя» и задачи построения модального регулятора.

### **Помехи в САУ. Случайные процессы в САУ. Фильтрация.**

Линейные СУ при действии случайных помех. Восстановление полезного сигнала на фоне шума- задача фильтрации. Оптимальный фильтр Н.Винера. Частотный метод построения стационарного фильтра Винера.

Фильтрация в нестационарных системах. Оптимальный и квазиоптимальный фильтр Р. Калмана. Теорема разделения в задаче фильтрации совместной с управлением.

### **Импульсные САУ. Аппарат $Z$ - преобразования.**

Дискретные и импульсные системы. Квантование по уровню и по времени. Погрешности квантования по уровню в современных условиях.

Понятие идеального квантователя. Теорема Котельникова-Шеннона о выборке сигнала (квантование по времени). Спектр квантованного сигнала. Фиксатор.

Дискретное преобразование Лапласа и  $Z$  - преобразование. Импульсная передаточная функция, её вычисление. Импульсная система в пространстве состояний. Аналого-цифровые САУ. Введение фиктивных квантователей в САУ. Передаточная функция замкнутой импульсной системы.

Определение устойчивости импульсной САУ. Критерии устойчивости.

Точность и методы коррекции импульсных систем.

Реализация импульсной передаточной функции на ЭВМ.

### **Методы исследования нелинейных систем.**

Необходимость рассмотрения нелинейных САУ. Чисто нелинейные эффекты в САУ. Типовые нелинейности.

Суть метода гармонической линеаризации. Гипотеза фильтра для линейной части САУ. Вычисление коэффициентов гармонической линеаризации. Эквивалентная передаточная функция нелинейного элемента.



Вычисление параметров автоколебаний с помощью гармонической линеаризации. Колебания в системах без гистерезиса и с гистерезисом. Устойчивость автоколебаний. Фазовое пространство нелинейной системы. Фазовая плоскость. Особые точки на фазовой плоскости. Классификация особых точек и построение фазового портрета по особым точкам. Понятие линии переключения на фазовой плоскости. Скользящие режимы.

#### **Устойчивость нелинейных систем. Теория функций А.М. Ляпунова и теория абсолютной устойчивости По'пова.**

Функция Ляпунова и её построение. Использование функции Ляпунова в синтезе устойчивых систем. Экспоненциальная устойчивость.

Теория абсолютной устойчивости нелинейных систем. Критерий абсолютной устойчивости Попова и его обобщения- критерии Гелига, Чо-Нареандры. Абсолютная устойчивость релейных систем. Теорема Лурье об устойчивости нелинейных систем, её использование для синтеза многомерных нелинейных систем.

#### **Оптимальные и адаптивные САУ.**

Оптимальные системы в целом. Нелинейные оптимальные системы. Принцип максимума Понтрягина, как общий метод решения вариационных задач с ограничениями. Метод динамического программирования и уравнение Р.Беллмана. Построение оптимального регулятора в линейном случае.

Задача адаптации САУ. Адаптивные системы и алгоритмы адаптации. Нелинейный характер адаптивных систем. Самонастраивающиеся системы, как подкласс адаптивных систем. Задача идентификации параметров СУ.

### **7. Образовательные технологии**

Курс включает цикл лекций, практические занятия и курсовую работу. Курсовая работа заключается в синтезе оптимальной системы управления для предлагаемых объектов и математическое моделирование оптимальной системы с использованием пакета MatLab.

### **8. Порядок формирования оценок по дисциплине**

Итоговая оценка формируется как взвешенная сумма оценки, накопленной в течение курса, и оценки за экзамен.

*Накопленная оценка* ( $O_{\text{нак}}$ ) (максимум 10 баллов) включает оценку за выполнение домашних заданий (реферат)  $O_{\text{реф}}$  с учетом результатов контрольных работ  $O_{\text{кр1}}$ ,  $O_{\text{кр2}}$  и формируется по следующему правилу:

$$O_{\text{нак}} = 0,3 \cdot O_{\text{реф}} + 0,3 \cdot O_{\text{кр1}} + 0,4 \cdot O_{\text{кр2}}$$

*Итоговый экзамен* ( $O_{\text{экз}}$ ) (максимум 10 баллов): устный экзамен

*Результирующая оценка:*  $O_{\text{рез}} = 0,7 \cdot O_{\text{нак}} + 0,3 \cdot O_{\text{экз}}$



## **9. Образец экзаменационных вопросов по курсу**

1. Принципы управления.  
Устойчивость САУ.
2. Помехи и борьба с ними в САУ.  
Частотные характеристики САУ.
3. Типовые звенья ТАУ.  
Принцип оптимальности Беллмана.
4. Запас устойчивости системы по амплитуде и фазе.  
Ограничения в задачах оптимизации.
5. Абсолютная устойчивость и связанная с ней функция Ляпунова.  
Импульсный регулятор.

## **10. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **Базовый учебник**

1. Р.Дорф, Р.Бишоп. Современные системы управления. М.:2014

### **Дополнительная литература**

2. Туманов М.П. Учебное пособие курсу «Теория управления. Теория линейных САУ». Москва, МИЭМ 2005.
3. Туманов М.П. Учебное пособие курсу «Теория управления. Теория нелинейных и импульсных САУ». Москва, МИЭМ 2005.
4. Туманов М.П. Задачи по теории автоматического управления. Часть 1. Москва, МИЭМ 2008.

## **11. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Практические занятия могут проводиться в компьютерных классах. Пакеты прикладных программ: MathLab.