



## ВВЕДЕНИЕ

Цель проведения отраслевой олимпиады «Газпром» – выявление талантливых студентов, обучающихся по направлению «Управление в технических системах» подготовки бакалавров и магистров, способных продолжить обучение в магистратуре, аспирантуре и/или осуществлять профессиональную деятельность на предприятиях Газпрома.

Область профессиональной деятельности выпускников по направлению «Управление в технических системах» – проектирование, исследование, производство и эксплуатация систем и средств управления в различных отраслях промышленности, в том числе в нефтегазовой отрасли, а также создание современных программных и аппаратных средств исследования и проектирования, контроля, технического диагностирования и промышленных испытаний систем автоматического и автоматизированного управления, включая предприятия Газпрома.

Объектами профессиональной деятельности выпускников по направлению «Управление в технических системах» являются системы автоматизации, управления, контроля, технического диагностирования и информационного обеспечения, методы и средства их проектирования, моделирования, экспериментального исследования, эксплуатация и техническое обслуживание оборудования на действующих объектах.

Основу базовой подготовки студентов по направлению «Управление в технических системах» составляют такие учебные дисциплины, как: «Теория автоматического управления» и «Моделирование объектов и систем управления». Эти дисциплины обеспечивают большинство общепрофессиональных и профессиональных компетенций Федеральных государственных образовательных стандартов подготовки бакалавров и магистров по направлению «Управление в технических системах». К их числу можно отнести: способность представлять адекватную современному уровню знаний картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики; способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат; способность выполнять эксперименты на действующих объектах по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств; способность проводить вычислительные эксперименты с использованием стандартных программных средств с целью получения математических моделей процессов и объектов автоматизации и

управления; способность формулировать цели, задачи научных исследований в области автоматического управления, выбирать методы и средства решения задач; способность выбирать методы и разрабатывать алгоритмы решения задач управления в технических системах; способность осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования систем и средств автоматизации и управления; способность производить расчеты и проектирование отдельных блоков и устройств систем автоматизации и управления и выбирать стандартные средства автоматики, измерительной и вычислительной техники для проектирования систем автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием; способность применять современные теоретические и экспериментальные методы разработки математических моделей исследуемых объектов и процессов, относящихся к профессиональной деятельности по направлению подготовки; способность применять современные методы разработки технического, информационного и алгоритмического обеспечения систем автоматизации и управления; способность к организации и проведению экспериментальных исследований и компьютерного моделирования с применением современных средств и методов; готовность к внедрению результатов разработок средств и систем автоматизации и управления в производство; готовность к участию в работах по изготовлению, отладке и сдаче в эксплуатацию систем и средств автоматизации и управления; способность настраивать управляющие средства и комплексы и осуществлять их регламентное эксплуатационное обслуживание с использованием соответствующих инструментальных средств; способность применять современный инструментарий проектирования программно-аппаратных средств для решения задач автоматизации и управления.

## **ДИСЦИПЛИНА «ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ»**

- **Аннотация дисциплины «Теория автоматического управления»**

Основные понятия теории управления. Линейные модели и характеристики систем управления. Анализ и синтез линейных систем управления.

Общие сведения о дискретных системах автоматического управления. Модели дискретных систем управления. Анализ и синтез цифровых и импульсных систем управления.

Нелинейные модели систем управления. Анализ равновесных режимов. Анализ поведения нелинейных систем на фазовой плоскости. Устойчивость положений равновесия.

Исследование периодических режимов.

Общие сведения о случайных процессах. Анализ и синтез линейных систем управления при случайных воздействиях.

- **Цели и задачи дисциплины:**

1. Изучение принципов управления, форм представления математических моделей объектов и систем управления, знание методов анализа и синтеза систем автоматического управления по линейным и нелинейным непрерывным и дискретным моделям при детерминированных и стохастических воздействиях.

2. Формирование умений исследования систем автоматического управления с помощью современных инструментальных средств.

3. Освоение практических навыков, закрепляющих теоретические знания о методах расчета систем управления.

- **Содержание дисциплины**

### **Введение**

Цели и задачи теории управления. Понятия об управлении и системах управления. Примеры технических и нетехнических объектов управления. Поведение объектов и систем управления. Информация и принципы управления. Типовые структуры систем управления. Алгоритмы управления в системах с обратной связью. Классификация систем управления по цели управления, типу сигналов — носителей информации и по энергетическому

признаку. Общие сведения о способах построения моделей объектов и систем управления. Классы операторов преобразования переменных. Модели систем управления с нетиповой и иерархической структурой.

### **Линейные модели и характеристики непрерывных систем управления**

Модели вход-выход: дифференциальные уравнения; передаточные функции; временные и частотные характеристики. Модели вход-состояние-выход. Взаимосвязь форм представления моделей: взаимосвязь между дифференциальным уравнением и передаточной функцией; получение передаточной функции и дифференциального уравнения по модели в форме пространства состояний; переход от дифференциального уравнения к форме пространства состояний. Построение временных и частотных характеристик. Типовые динамические звенья. Системы уравнений, структурные схемы и сигнальные графы. Характеристики систем управления с типовой и нетиповой структурой. Правило Крамера и формула Мэсона (Мэйсона). Полнота характеристик, управляемость и наблюдаемость систем управления. Критерии управляемости и наблюдаемости. Принцип дуальности. Получение канонических форм моделей: наблюдаемой, управляемой, диагональной. Модели систем с элементами запаздывания.

### **Анализ систем управления**

Задачи анализа систем управления. Устойчивость по начальным условиям, устойчивость по входу-выходу. Условие устойчивости линейных стационарных систем. Критерий устойчивости Гурвица. Диаграмма Вышнеградского. Принцип аргумента. Критерий Михайлова. Устойчивость систем с типовой структурой. Критерий Найквиста. Особенности применения критерия Найквиста. Метод корневого годографа. Инвариантность систем управления. Формы инвариантности. Селективная инвариантность к степенным и гармоническим воздействиям. Инвариантность систем с типовой структурой. Чувствительность систем управления. Функции чувствительности. Чувствительность систем с типовой и произвольной структурой. Анализ качества свободных, вынужденных и установившихся процессов управления. Анализ устойчивости систем с элементами запаздывания.

### **Синтез систем управления**

Задачи синтеза систем управления. Стабилизация неустойчивых объектов управления, представленных в форме дифференциального уравнения. Метод стандартных коэффициентов. Стабилизация объекта управления по модели в форме пространства состояний. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов. Метод размещения

собственных значений. Синтез наблюдателя состояний. Синтез следящих систем по требованию к точности воспроизведения задающего воздействия: степенного, гармонического. Коррекция систем управления. Метод динамической компенсации.

#### **Анализ линейных систем управления при случайных воздействиях**

Случайные воздействия. Преобразование случайного сигнала линейным звеном. Анализ объекта и замкнутой системы управления при случайных воздействиях. Способы вычисления дисперсии случайного сигнала. Использование идеального белого шума в качестве модели среды. Понятие о формирующем фильтре.

#### **Синтез линейных систем управления при случайных воздействиях**

Постановка задачи синтеза. Синтез оптимальной системы с заданной структурой. Синтез оптимальной системы с произвольной структурой: интегральное уравнение Винера–Хопфа. Определение оптимальной передаточной функции фильтра Винера с учетом физической реализуемости. Синтез оптимальной системы в пространстве состояний. Фильтр Калмана–Бьюси.

#### **Общие сведения о цифровых и импульсных системах управления**

Цифровые и импульсные системы управления. Примеры дискретных систем и объектов. Дискретно-событийные системы. Классификация систем по виду квантования сигналов по уровню и дискретизации во времени. Структурные схемы импульсных и цифровых автоматических систем.

#### **Линейные дискретные модели цифровых и импульсных систем управления**

Числовые последовательности и разностные уравнения. Примеры. Z-преобразование и его свойства. Дискретная передаточная функция. Модели дискретных систем в пространстве состояний. Однородные дискретные и непрерывные модели цифровых систем управления.

#### **Анализ цифровых и импульсных систем управления**

Устойчивость дискретных систем. Критерии устойчивости. Решение разностных уравнений и анализ процессов в цифровых и импульсных системах управления. Особенности временных и частотных характеристик дискретных систем. Установившиеся процессы в дискретных системах управления.

#### **Синтез цифровых и импульсных систем управления**

Особенности синтеза цифровых и импульсных систем. Методы синтеза по дискретным моделям. Стабилизация неустойчивых объектов управления. Синтез регулятора и наблюдателя состояний. Синтез дискретных систем по требованию к точности

воспроизведения задающего воздействия и подавления возмущений. Выбор периода дискретизации времени в системах цифрового управления непрерывными объектами.

### **Нелинейные модели систем управления**

Необходимость в нелинейных моделях. Безынерционные и динамические нелинейные элементы. Нелинейные модели с раскрытой структурой. Расчетные формы нелинейных моделей.

### **Анализ равновесных режимов**

Равновесные режимы. Анализ равновесных режимов по дифференциальным уравнениям и структурным схемам. Построение статических характеристик систем с типовой и произвольной структурой.

### **Анализ поведения систем на фазовой плоскости**

Метод фазовой плоскости. Поведение нелинейных систем в окрестности положений равновесия. Методы построения фазовых портретов. Особенности фазовых портретов нелинейных систем.

### **Устойчивость положений равновесия**

Понятие об устойчивости невозмущенного движения. Первый метод Ляпунова. Второй (прямой) метод Ляпунова. Применение второго метода. Частотный метод исследования абсолютной устойчивости. Круговой критерий.

### **Исследование периодических режимов методом гармонического баланса**

Основные положения приближенного метода гармонического баланса. Гармоническая линеаризация (эквивалентирование) нелинейного элемента. Способы вычисления коэффициентов гармонической линеаризации. Методики определения параметров периодических режимов. Устойчивость периодических режимов.

### **Синтез нелинейных систем**

Особенности синтеза нелинейных систем. Синтез по требованиям к положениям равновесия. Синтез по линеаризованным моделям. Примеры синтеза методом фазовой плоскости. Примеры синтеза прямым методом Ляпунова. Синтез с помощью критерия абсолютной устойчивости. Синтез на основе метода гармонического баланса.

## **ДИСЦИПЛИНА «МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ»**

- **Аннотация дисциплины «Моделирование объектов и систем управления»**

Основные понятия моделирования, принципы построения и исследования систем по математическим моделям, схема построения математических моделей. Введение в теорию подобия, применение преобразования подобия при моделировании. Представление моделей в форме уравнений Лагранжа и Гамильтона. Консервативные и диссипативные системы. Метод балансовых соотношений. Представление математических моделей систем управления по степени информативности. Методы анализа статических и динамических режимов моделей систем управления с сосредоточенными параметрами. Методы анализа моделей систем управления с распределёнными параметрами.

- **Цели и задачи дисциплины:**

1. Изучение основных принципов построения математических моделей, знание методов, необходимых при создании систем и средств автоматизации и управления.
2. Формирование навыков проведения вычислительных экспериментов при разработке математических моделей систем и средств автоматизации и управления с использованием современных программных средств, умение использовать современные методы математического моделирования при разработке систем и средств автоматизации и управления.
3. Освоение методов численного моделирования процессов в объектах и системах управления, владение навыками математического моделирования с применением современных компьютерных средств при проектировании объектов и систем управления различной природы

- **Содержание дисциплины**

### **Введение**

Основные понятия и определения. Понятие моделирования: объект моделирования; модель, её назначение и функции; частные модели. Роль модели в процессе познания. Натурный (физический) и вычислительный эксперименты, их достоинства и недостатки. Полунатурное моделирование.



## **Модели и моделирование**

Принципы построения и исследования математических моделей. Общая схема разработки математических моделей систем управления. Этапы математического моделирования. Основные требования к математическим моделям. Способы построения математических моделей: аналитический, экспериментальный (идентификация). Физические аналогии.

### **Введение в теорию подобия**

Изоморфные модели. Преобразование подобия. Константы подобия. Прямая (первая) теорема подобия. Критерии подобия. Преобразование подобия для моделей, представленных дифференциальными уравнениями. Применение преобразования подобия при моделировании.

### **Представление моделей систем в форме уравнений Лагранжа**

Получение уравнений Лагранжа на основе принципа Гамильтона. Модели консервативных и диссипативных систем.

### **Представление моделей систем в форме уравнений Гамильтона.**

#### **Консервативные и диссипативные системы**

Получение канонических уравнений Гамильтона. Свойство гамильтониана для консервативных систем. Сжатие фазового «объёма» диссипативных систем; дивергенция вектора фазовой скорости. Свойства диссипативных систем.

### **Метод балансовых соотношений**

Принцип балансовых соотношений. Баланс массы (вещества). Использование принципа балансовых соотношений для моделей нетехнической природы: модель гонки вооружений; модель распространения эпидемического заболевания; модель обмена потребительскими стоимостями. Логистические модели (модели Мальтуса и Ферхюльстера). Модель промышленного рыболовства.

### **Представление математических моделей систем управления по степени информативности**

Частные и обобщённые модели систем управления. Ранги неопределённости причинноследственных отношений моделей. Модели систем управления 1-го (топологического) ранга неопределённости. Теоретико-множественная (теоретико-графовая) форма представления: основные понятия теории графов; неориентированные и ориентированные гиперграфы; примеры. Алгебраическая (матричная) форма

представления (матрицы смежности, инцидентий, изоморфности). Пример определения контуров графа с помощью матрицы смежности.

Модели систем управления 2-го и 3-го (структурно-операторного и параметрического) рангов неопределённости. Модели внешней среды. Модели связей системы со средой. Модели смешанных рангов неопределённости.

Представление моделей в форме пространства состояний. Нормальная форма Коши. Общее и частное решения. Условия существования и единственности решений дифференциальных уравнений. Примеры.

Разнообразие форм представления моделей «вход-состояние-выход»: линейные; билинейные; аффинные. Первый интеграл и его свойства.

Представление моделей в форме системы дифференциальных уравнений различных порядков.

#### **Методы анализа статических (равновесных) режимов моделей систем управления**

Задачи и основные проблемы при анализе статики на ЭВМ. Численные методы анализа статики: метод установления, итерационные методы. Каноническая форма представления итерационного метода. Метод релаксации и его геометрическая интерпретация. Метод Ньютона и его геометрическая интерпретация. Модификации метода Ньютона. Контроль сходимости метода Ньютона. Нелинейные и гибридные итерационные методы. Повышение надёжности сходимости итерационных методов.

#### **Методы анализа динамических (переходных) режимов моделей систем управления с сосредоточенными параметрами**

Численные методы анализа моделей с сосредоточенными и распределёнными параметрами; дискретизация и континуализация; пример модели системы с «обострением» процесса. Задачи анализа динамики и основные понятия методов численного моделирования: сетка; сходимость в точке и на отрезке; порядок точности; погрешность аппроксимации разностного уравнения; порядок погрешности аппроксимации. Явные и неявные методы.

Методы Рунге–Кутты. Двухэтапные методы (метод предиктора–корректора). Явный  $m$ -этапный метод Рунге–Кутты.

Многошаговые разностные методы: явные  $m$ -шаговые методы Адамса–Бэшворта; неявные  $m$ -шаговые методы Адамса–Мултона. Устойчивость многошаговых разностных методов. Условно устойчивые и абсолютно устойчивые разностные методы.

Жёсткие модели систем управления, их особенности. Критерии жёсткости для стационарных и нестационарных линейных и нелинейных моделей. Чисто неявные разностные методы ( $m$ -шаговые методы Гира). Погрешности моделирования систем управления численными методами.

### **Особенности дискретизации при численном моделировании**

Квантование процесса. Интерполяционный полином Лежандра. Обоснование выбора шага дискретизации на основе неравенства С.Н. Бернштейна.

### **Методы анализа моделей систем управления с распределёнными параметрами**

Особенности моделей систем с распределёнными параметрами. Модели систем управления с распределёнными параметрами в форме канонического линейного дифференциального уравнения 2-го порядка. Классификация уравнений: эллиптические; параболические; гиперболические. Примеры уравнений эллиптического типа: Лапласа; Пуассона; Гельмгольца. Примеры уравнений параболического типа: процессы теплопередачи; диффузии. Примеры уравнений гиперболического типа: волновые процессы.

Нелинейные уравнения: изгиб балки переменной жёсткости; уравнение Кортевега–де Вриза. Краевые задачи: задача Дирихле; задача Неймана; задача смешанного типа.

Модели процессов распространения тепла в объектах управления. Передаточные функции полузапаздывающего (с распределённым запаздыванием), полуинтегрирующего и полуинерционного звеньев.

Численные методы анализа динамики моделей систем управления с распределёнными параметрами (на примере уравнения теплопроводности)

Основные понятия: пространственно-временная сетка; внутренние и граничные узлы; слой. Четырёхточечный шаблон. Послойное решение. Условия устойчивости. Чисто неявная разностная схема. Шеститочечный шаблон.

### **Хаотические модели**

Детерминированные, случайные и хаотические процессы (детерминированный хаос). Колебательные процессы в линейных и нелинейных моделях: гармонические и полигармонические, периодические и квазипериодические (почти периодические) колебания; предельные циклы. Основные признаки хаотического поведения.

Определения аттрактора, странного аттрактора, хаотической модели. Инвариантное множество. Сверхчувствительность к начальным данным. Примеры хаотических моделей.

## **Заключение**

Тенденции и перспективы развития методов и средств моделирования систем.  
Современные проблемы моделирования систем различной природы.

## **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### **Дисциплина «Теория автоматического управления»**

1. Теория автоматического управления. Учебник для вузов / С.Е. Душин, Н.С. Зотов, Д.Х. Имаев и др.; под ред. проф. В.Б. Яковлева. М. Высш. шк., 2003, 2005, 2009.
2. Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB. СПб.: Наука, 1999.
3. Ким Д.П. Теория автоматического управления: Учеб. пособие. М.: Физматлит. Т. 1. Линейные системы. 2003. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. 2004.
4. Математические основы теории автоматического управления : учеб. пособие для вузов : в 3 т. / Иванов В. А., Медведев В. С., Чемоданов Б. К., Ющенко А. С. ; ред. Чемоданов Б. К. - 3-е изд., перераб. и доп. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006.
5. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы: Учебное пособие. СПб.: Питер, 2005. Нелинейные и оптимальные системы. СПб.: Питер, 2006.
6. Востриков А.С., Французова Г.А. Теория автоматического регулирования: Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 2004.
7. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. М.: Профессия. 2004, 2007.
8. Теория автоматического управления: Учеб. пособие в 2-х частях / М.М. Савин, В.С. Елсуков, О.Н. Пятина; под ред. проф. В.И. Лачина. Новочеркасск: УВД ЮРГТУ, 2004.
9. Певзнер Л.Д. Теория систем управления: Учеб. пособие. М. Изд-во МГТУ, 2002.
10. Певзнер Л.Д. Практикум по теории автоматического управления. М.: Высш. шк., 2006.
11. Лурье Б.Я., Энрайт П.Дж. Классические методы автоматического управления / Под ред. А.А. Ланнэ. СПб: БХВ-Петербург, 2004.
12. Филлипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. М.: Лаб. базовых знаний, 2001.

13. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. М.: Лаб. базовых знаний, 2002.
14. Никулин Е.А. Основы теории автоматического управления. Частотные методы анализа и синтеза систем: Учеб. пособие для вузов. СПб.: БХВ-Петербург, 2004.

**Дисциплина «Моделирование объектов и систем управления»**

1. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. М.: Физматлит, 2001.
2. Иванов В. А., Ющенко А. С. Теория дискретных систем автоматического управления: учеб. пособие для вузов / Иванов В. А., Ющенко А. С. ; МГТУ им. Н. Э. Баумана. - 2-е изд., доп. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. - 348 с.
3. Рапопорт Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределёнными параметрами: Учеб. пособие. М.: Высш. шк., 2003.
4. Душин С.Е., Красов А.В., Кузьмин Н.Н. Моделирование систем управления: Учеб. пособие. М.: ТИД ООО «Студент», 2012.
6. Душин С.Е., Красов А.В., Литвинов Ю.В. Моделирование систем и комплексов: Учеб. пособие. СПб: СПбГУ ИТМО. 2010.
7. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике: Учебник для вузов / Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. М.: Изд-во МГТУ, 2003.
8. Введение в математическое моделирование: Учеб. пособие / Под ред. П.В. Трусова. М.: Логос, 2005.
9. Бордовский Г.А., Кондратьев А.С., Чоудери А.Д.Р. Физические основы математического моделирования: Учеб. пособие. М.: Изд. центр «Академия», 2005.
10. Краснощеков П.С., Петров А.А. Принципы построения моделей: Учеб. пособие: М.: ФАЗИС, ВЦРАН, 2000.
11. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: Учеб. для академ. бакалавриата. М.: Изд-во Юрайт, 2015.
12. Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Моделирование систем. Динамические и гибридные системы: Учеб. пособие. СПб: БХВ-Петербург, 2006.
13. Тарасевич Ю.Ю. Математическое и компьютерное моделирование. Вводный курс: Учеб. пособие. М.: Эдиториал УРСС, 2001.
14. Анищенко В.С. Знакомство с нелинейной динамикой: Учеб. пособие. М., Ижевск. Институт компьютерных исследований, 2002.

15. Веригин А.Н., Вареных Н.М., Джангирян В.Г. Химико-технологические агрегаты. Инженерный анализ колебаний: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во «Менделеев», 2004.
16. Мэтьюз Дж. Г., Финк К. Д. Численные методы. Использование MATLAB. М.: Изд. Дом «Вильямс», 2001.
17. Решетникова Г.Н. Моделирование систем. Учеб. пособие. Томск: Изд-во ТУСУР, 2005, 2008.
18. Морозов В.К., Рогачев Г.Н. Моделирование процессов и систем. М.: Изд. центр «Академия», 2015.
19. Маликов Р.Ф. Основы математического моделирования: Учеб. пособие для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2010.