

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

В.В. Никонов

**ПОСОБИЕ**

к изучению дисциплины

«Основы Автоматики»

*для студентов III курса  
специальности 130300  
всех форм обучения*

**Москва – 2006**

## 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Курс «Основы автоматики» является важной дисциплиной, формирующей как общие инженерные знания в области автоматизации систем летательных аппаратов (ЛА), так и специальные знания по вопросам построения конкретной поэлементной реализации систем автоматического управления силовой установкой. Курс призван так же привить навыки анализа условий работы, выявления типовых отказов и выполнения отладки автоматических устройств и систем.

Он базируется на знаниях полученных, студентами при изучении «Высшей математики», «Теории авиационных двигателей», «Гидравлики», «Конструкции и прочности авиадвигателей». В свою очередь курс «Основы автоматики» является предваряющим при изучении курсов «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей», «Самолеты и двигатели ГА» и т.п.

Математический аппарат дисциплины базируется во многом на теории линейных дифференциальных уравнений. Приступая к изучению дисциплины необходимо иметь знания о методах решения линейных дифференциальных уравнений, иметь ясное представление об операторной форме записи линейных дифференциальных уравнений, характеристических многочленах и уравнениях, комплексных числах и их представления в тригонометрической форме.

Изучение курса студентами предусматривает:

- прослушивание вводно-установочных лекций;
- самостоятельную работу над материалом;
- выполнение контрольных работ;
- прослушивание обзорных лекций, а также лекций по некоторым ключевым и наиболее сложным разделам курса;
- изучение принципиальных схем и конструкций элементов автоматики ЛА и газотурбинных двигателей (ГТД) на лабораторных занятиях;
- выполнение лабораторных работ.

К сдаче экзамена по дисциплине студент допускается при наличии зачетных контрольных работ, а также после выполнения лабораторных

работ. Для успешного усвоения данного курса необходимо хорошее знание и эффективное использование основных положений тех дисциплин, на которых он базируется. Так, например, при изучении элементов систем автоматического управления (САУ), обеспечивающих реализацию заданных законов управления ГТД, рекомендуется предварительно посмотреть раздел теории авиадвигателей, в котором рассматриваются возможные законы управления и эксплуатационные характеристики ГТД.

При рассмотрении автоматики осевых компрессоров необходимо вспомнить основные сведения о явлении помпажа в компрессорах, о принципе работы ступени осевого компрессора, изучаемые в курсе «Теория авиадвигателей», а также сведения об устройствах перепуска воздуха и поворота лопаток направляющих аппаратов, изучаемых в курсе "Конструкция и прочность авиадвигателей".

Теоретические разделы дисциплины, содержащие математические выкладки, даст возможность разобраться в той, какие физические процессы описывают рассматриваемые уравнения, какие величины входят в эти уравнения и как различные конструктивные и эксплуатационные факторы влияют на эти величины.

Работу элементов САУ и их взаимодействие рекомендуется изучать, используя структурные и принципиальные схемы конкретных систем. При изучении принципа работы и устройства автоматов полезно использовать функциональные схемы и чертежи.

Поэтому для быстрого и правильного понимания работы САУ и конструкции регуляторов необходимо иметь навыки чтения гидравлических и электрических схем и чертежей, знать стандарты единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

При рассмотрении процессов, происходящих в САУ, необходимо особое внимание уделить пониманию физической сущности изучаемых явлений, уяснить механизмы влияния различных факторов на изучаемый процесс.

Изучая конкретную систему автоматического управления, необходимо расчленить ее на отдельные функциональные элементы, выяснить, зачем то или иное автоматическое устройство введено в данную схему. После этого следует разобраться, как работает каждый элемент данной системы, как он обеспечивает реализацию предъявляемых к системе требований, выяснить преимущества и недостатки данного элемента по сравнению с другими элементами, обеспечивающими выполнение тех же функций в других известных САУ.

При изучении автоматических устройств наряду с усвоением принципа их действия надо обратить внимание на конструкцию основных элементов, в первую очередь датчиков, усилителей, сервомеханизмов и исполнительных органов. Конструкцию указанных устройств рекомендуется изучать на примере конкретных САУ.

Особое внимание при изучении конструкции агрегатов САУ следует обратить на регулировочные элементы, используемые при выполнении заводских и эксплуатационных настроек. В частности, необходимо уяснить, как влияет положение регулировочных устройств на протекание эксплуатационных характеристик регуляторов и автоматов САУ.

После изучения соответствующей темы следует проверить усвоение материала, отвечая на вопросы для самопроверки.

**2. ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ** (необходимый комплекс знаний и умений)

В результате изучения курса студенты должны **з н а т ь** :

- основные понятия и терминологию теории автоматического управления;

- требования, предъявляемые к автоматическим системам ЛА в соответствии с нормами летной годности и безопасности полетов;

- принцип действия, особенности конструктивного выполнения, условия работы и характеристики устройств, входящих в автоматические сис-

темы ЛА и силовых установок (СУ);

- принцип построения автоматических систем ЛА и СУ;
- пути улучшения эксплуатационных свойств автоматических систем, повышения надежности их работы и безопасности полетов;
- основные методы оценки качества процессов управления;
- основные правила эксплуатации систем управления СУ, физические основы установления эксплуатационных ограничений режимов работы;
- у м е т ь :
- анализировать автоматические системы по их структуре, функциональным связям и элементам;
- устанавливать причины и проводить инженерный анализ эксплуатационных отказов устройств, входящих в автоматические системы ЛА и СУ;
- выполнять отладку автоматических систем (АС);
- и м е т ь п о н я т и я :
- о направлениях совершенствования АС ЛА и СУ;
- перспективных системах автоматического управления ГТД.

### **3. ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.**

#### **3.1. Основная учебная литература**

1. Никонов В.В. Автоматика и управление. Часть 1. Основные понятия элементы и математические модели. –М.: МГТУ ГА, 2002 г. 109 с.
2. Никонов В.В. Автоматика и управление. Часть 2. Анализ и синтез систем автоматического управления. – М.: МГТУ ГА, 2005, 109 с.
3. Черкасов Б.А. Автоматика и регулирование воздушно-реактивных двигателей. – М. : Машиностроение, 1988, 360 с.

#### **3.2. Дополнительная литература**

1. Бессекерский Б.А., Попов Б.Е. Теория систем автоматического регулирования. – М. : Наука, 1975, 768 с.

2. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. – М. : ??????????, 1962.

3. Никонов В.В. Основы автоматики. Пособие по выполнению контрольной работы для студентов III курса специальности 130300 всех форм обучения. – М. : МГТУ ГА 2005 г. 32 с.

#### **4. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ «ОСНОВЫ АТОМАТИКИ»**

Дисциплина «Основы автоматики» в читаемом курсе подразделяется на девять разделов (рис. 1).

Раздел I, II, III содержат базовые понятия дисциплины и особенности регулирования авиационных объектов, прежде всего – летательного аппарата и двигателя. В этих разделах важно усвоить принципы регулирования и общую схему САУ, цели и задачи регулирования авиационной техники, знать параметры авиационных объектов регулирования, уметь выделить регулируемые, регулирующие и возмущающие факторы. Специфика дисциплины «Основы автоматики» для специальности 130300 ??????????????????????

Разделы IV и V посвящены методам построения математических моделей, описывающих работу систем автоматического управления. Здесь важно понять общие принципы построения математических моделей, усвоить понятия линейных математических моделей цели и методы их решения. Важно понять что такое математическая модель и для каких целей она строиться.

Разделы VI, VII, VIII дают знания об основных количественных характеристиках, позволяющих с использованием различных критериев оценить эксплуатационные качества систем автоматического управления. Здесь необходимо обратить особое внимание на понятие устойчивости и критерии устойчивости, хорошо усвоить понятия статических и динамических характеристик, уметь оценить качество систем автоматического регулирования по различным критериям. В разделе IX вводится понятие синтеза систем автоматического регулирования. Необходимо усвоить основные способы улучшения эксплуатационных свойств систем авто-

матического управления, смысл введения параллельных и последовательных корректирующих устройств.



Рис.1. Структура дисциплины основы автоматике

# **ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ «ОСНОВЫ АВТОМАТИКИ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ ПРОГРАММЫ**

## **РАЗДЕЛ I. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ АВТОМАТИКИ. ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ.**

Тема 1. Основные понятия автоматики.

Определение автомата. Краткий исторический обзор

Влияние условий эксплуатации авиатехники на надежность и безопасность полетов. Требования к знаниям инженерно-технического состава принципов работы и конструкции систем по нормам ИКАО.

Вопросы метрологии и эргономики в дисциплине. Влияние автоматизации на повышение экономичности авиационной техники (АТ). Автоматы и защита окружающей среды. Роль автоматики в деле охраны труда.

Цели и задачи автоматического управления. Управляемый объект и управление. Роль обратной связи в процессе управления. Управляющие устройства, автоматические системы и регуляторы, элементы автоматических систем. Воздействие и сигнал.

Принципы автоматического управления по отклонению, по возмущению, комбинированное управление и управление по принципу адаптации.

ЛИТЕРАТУРА: []

### **Методические указания**

При изучении материала темы следует усвоить основные понятия и определения, терминологию, преимущества автоматического управления перед ручным, понять смысл автоматического управления, изучить основные принципы построения регуляторов. В процессе изучения темы необходимо четко усвоить понятия:



объект автоматического управления, управляемые параметры, управляющие факторы, управляющие воздействия, задающие воздействия, автоматическое управляющее устройство, чувствительный элемент, усилительное устройство, исполнительное устройство, управляющий орган, система автоматического управления, структурная схема системы. Нужно научиться читать и составлять структурную схему САУ. Изучить основные принципы автоматического управления.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется объектом управления и САУ?
2. Что называется автоматическим управляющим устройством (регулятором)?
3. Перечислите основные элементы систем автоматического управления.
4. Назовите и охарактеризуйте основные принципы автоматического управления.
5. Начертите обобщенные структурные схемы САУ, построенные по принципу компенсации и отклонения.
6. Вычертите обобщенную структурную схему САУ, построенную по принципу комбинированного управления.

## **Тема 2. Классификация автоматических систем и области их применения.**

Общие свойства систем автоматического управления. Системы прямого и непрямого действия, статические и астатические. Классы автоматических систем. Системы автоматической стабилизации. Автоматические следящие системы. Системы программного управления. Позиционные программирующие автоматы. Системы самонастраивающиеся и системы с самонастройкой по параметру, с выбором программы, с выбором структуры. Системы управления с ЭВМ.

ЛИТЕРАТУРА: [1, с.9-21]

## **Методические указания**

При изучении настоящей темы необходимо в первую очередь уяснить принципы классификации САУ. используя конкретные примеры, изучить три класса САУ. Примером следящей САУ может служить регулятор расхода топлива некоторых ТРДД. Примером программных САУ являются гидрозамедлители. В качестве стабилизирующей САУ можно рассмотреть регулятор частоты вращения ротора ГТД. При рассмотрении систем автоматического управления различных ГТД, рекомендуется составлять соответствующие обобщенные структурные схемы САУ.

Вопросы для самопроверки.

1. Проанализируйте структурную схему САУ ТВД по частоте вращения.
2. Проанализируйте следящую систему на примере регулятора расхода топлива ТРДД.
3. Проанализируйте систему управления на примере гидрозамедлителя.

## **РАЗДЕЛ II. АВИАЦИОННЫЕ ОБЪЕКТЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И ИХ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ.**

### **Тема 1. Летательный аппарат и авиационный ГТД как объект автоматического регулирования**

Понятие об авиационной объекте управления. Общие технические и метрологические требования, предъявляемые к автоматическим системам ЛА и ГТД, пути их реализации. Основные этапы создания АС. Вопросы стандартизации, унификации и модульности конструкция АС ЛА и ГТД.

Самолет как объект управлений, Уравнения динамики полета самолета.

ГТД как объект автоматического управления. Основные динамические параметры. Собственная устойчивость ГТД как объекта управления.

Управляемые параметры, управляющие факторы и управляющие органы автоматических систем ГТД. Укрупненные структурные схемы САУ ГТД. Законы управления авиационными двигателями на максимальном режиме и при дросселировании. Собственная устойчивость ГТД. Понятие о собственной устойчивости ГТД, способы анализа собственной устойчивости. Влияние условий полета режимов работы на собственную устойчивость. Расчетные и экспериментальные методы определения статических и динамических характеристик ГТД.

ЛИТЕРАТУРА: [1, с. 2-23]

### **Методические указания**

При рассмотрении характеристик ЛА и ГТД как объектов управления нужно выяснить их управляемые параметры, управляющие факторы и управляющие органы, уяснить их физический смысл.

Студент должен знать основные технические и метрологические требования, предъявляемые к автоматическим системам управления ЛА и авиационным ГТД, их обоснование и пути реализации; связь технических и метрологических требований, предъявляемых к САУ, с вопросами надежности ГТД, а также с обеспечением безопасности полетов при непрерывно увеличивающейся интенсивности воздушного движения.

При изучении самолета как объекта управления необходимо уяснить основные принципы автоматического управления полетом. При изучении системы автоматического управления самолетом, назначения и принципа действия отдельных элементов системы обратите особое внимание на принцип работы автопилота.

Нужно уметь вывести уравнения динамики полета ДА, знать особенности переходных процессов, протекающих при управлении, и их зависимость от величины динамических параметров.

При рассмотрении управления ГТД особое внимание следует уделить законам управления на максимальном режиме и при дросселировании современных ТРДД и ТВД.

Необходимо также знать возможные ограничения, накладываемые на режимы работы ГТД, прежде всего ограничения по прочности и по устойчивости работы компрессора, по устойчивости горения топлива в камере сгорания.

Наряду с управляющими факторами, управляющими органами и управляемыми параметрами (величинами), одной из важнейших характеристик ГТД как объекта управления является его собственная устойчивость. Для более глубокого анализа статическое устойчивости необходимо уяснить физический смысл и способы определения постоянной времени двигателя и коэффициента усиления двигателя по перемещению управляющего органа или подаче топлива.

При изучении способов определения показателей динамических свойств ГТД особое внимание необходимо уделять экспериментальным методам получения динамических характеристик ГТД.

Вопросы для самопроверок

1. Объясните физический смысл процесса автоматического управления ЛА и ГТД.
2. Перечислите технические требования, предъявляемые к САУ ЛА и ГТД.
3. Объясните работу системы автоматического управления самолетом в режиме стабилизации угловых координат.
4. Объясните принцип работы автопилота.
5. Назовите динамические параметры, входящие в уравнения динамики полета самолета, и объясните их влияние на переходные процессы, вызванные изменением режима полета или изменением внешних условий.
6. Какие основные задачи решаются с помощью САУ ГТД?
7. Какие требования предъявляются к САУ ГТД ГА?

8. Назовите основные управляемые параметры, управлявшие факторы и управляющие органы различных ГТД.

9. Назовите наиболее распространенные законы управления на максимальном режиме двухвального ТРДД и ТВД ГА.

10. Как влияют высота и скорость полета на устойчивость ГТД?

## **Тема 2. Автоматические системы управления летательными аппаратами гражданской авиации**

Системы регулирования давления и температуры воздуха в пассажирской кабине.

Автоматическое поддержание заданного давления в гидрогазовых системах ЛА ГА. Цели и задачи систем. Принципы построения. Структурные и функциональные схемы систем. Эксплуатационные свойства и способы отладки. Характерные неисправности систем и их влияние на безопасность полетов.

Основные понятия об автоматизированных бортовых системах управления и о системах захода на посадку по нормам ИКАО. Цели и задачи систем. Метрологические требования. Структурный состав систем.

ЛИТЕРАТУРА: [ ??????? ]

### **Методические указания**

Для поддержания нормальной жизнедеятельности экипажа и пассажиров ЛА оборудуются высотными системами, которые автоматически поддерживают в гермокабинах требуемое давление, температуру и влажность воздуха.

При изучении автоматических регуляторов, входящих в состав высотных систем, следует изучить используемые на современных ЛА способы регулирования давления и температуры воздуха в гермокабинах, состав высотных систем, а также применяемые для высотных систем автоматические устройства, предъяв-

ляемые к ним требованиям, принцип работы и особенности конструктивного выполнения.

В этой же теме необходимо изучить вопросы автоматического поддержания заданного давления в гидрогазовых системах ЛА ГА, уяснить цели и задачи гидрогазовых систем, их состав, предъявляемые к ним требования, а также принцип построения структурных схем.

При проработке вопросов, связанных с использованием автоматического регулирования высотных и гидрогазовых системах ЛА» следует также рассмотреть возможные неисправности систем, характерные признаки проявления неисправностей и их влияние на безопасность полетов.

При изучении АС управления, обеспечивающих пилотирование ДА на различных участках полета, включая взлет и посадку, необходимо особое внимание обратить на задачи, решаемые системами, и требования, предъявляемые к ним по точности управления. Нужно ознакомиться ее структурными схемами систем управления и посадки ЛА, с блок-схемой, конструкцией и принципом работы автопилота. Следует также изучить состав и принцип работы автоматизированных систем захода и посадки самолета.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите рекомендуемые и предельные значения параметров воздуха, поддерживаемые высотными системами в гермокабинах ЛА ГА.

2. Перечислите автоматические устройства, входящие в высотную систему ЛА,

3. Каковы основные требования, предъявляемые к регуляторам давления и температуры воздуха?

### **Тема 3. Системы ручного управления частотой вращения ротора ГТД.**

Системы ручного управления частотой вращения ротора. Области их применения. Функциональные и принципиальные схемы систем ручного управления с регуляторами постоянной подачи топлива. Эксплуатационные свойства таких систем.

Автоматические системы управления частотой вращения роторов ГТД. Назначение систем, эксплуатационные и метрологические требования к ним. АС управления частотой вращения роторов серийных ГТД ГА с регуляторами, имеющими различные корректирующие устройства. Статические и динамические свойства АС, способы их отладки. Характерные неисправности систем и их влияние на безопасность полетов. Мероприятия по повышению надежности и долговечности систем управления частотой вращения ротора ГТД.

### **Методические указания**

Рекомендуется вначале рассмотреть работу систем ручного управления частотой вращения ротора ГТД с регуляторами постоянной подачи топлива. При этом необходимо уяснить различия в схемах указанных регуляторов, включающих клапаны постоянного давления и клапаны постоянного перепада давлений на дроссельном кране.

При изучении автоматических систем управления частотой вращения рекомендуется вначале уяснить признаки классификации регуляторов частоты вращения, оценить достоинства и недостатки различных регуляторов частоты вращения, целесообразные области их применения. Завершить изучение регуляторов частоты вращения рекомендуем рассмотрением САУ нескольких конкретных двигателей, в том числе одного двигателя из числа вспомогательных силовых установок, одного турбовинтового и одного турбореактивного или двухконтурного двигателя.

При знакомстве с принципиальной схемой регулятора частоты вращения конкретного ГТД рекомендуется каждый раз составлять структурную схему изучаемого регулятора.

Завершить изучение регуляторов частоты вращения необходимо уяснением причин неустойчивости системы, включающей указанный регулятор, на пониженных частотах вращения.

Вопросы для самопроверки

1. Какие эксплуатационные требования предъявляются к САУ частотой вращения роторов авиационных двигателей?

2. Почему возникает необходимость в разделении всего диапазона эксплуатационных частот вращения на два поддиапазона: поддиапазон ручного управления частотой вращения и поддиапазон автоматического управления?

3. Дайте сравнительную оценку САУ частотой вращения с регуляторами следующих типов: прямого действия, непрямого действия, простейшей схемы, непрямого действия с жесткой обратной связью, непрямого действия с изотропной обратной связью.

4. Пользуясь принципиальной схемой САУ одного из ТЗДД или ТВД ГА, составьте структурную схему его регулятора частоты вращения.

5. Изобразите настроечную характеристику регулятора постоянной подачи топлива прямого действия.

## **РАЗДЕЛ III. РЕГУЛЯТОРЫ ГТД И ИХ ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА.**

### **Тема 1. Элементы автоматических систем.**

Общая функциональная схема САУ. Классификация элементов по назначению, по функциональным признакам, по происходящим в них физическим процессам.

#### **Методические указания**

При изучении классификации по функциональному признаку на примере конкретной функциональной схемы нужно усвоить наименование, назначение и возможный конструктивный состав элементов САУ.

Перед рассмотрением характеристик типовых звеньев и их классификации по статическим и динамическим свойствам следует обратиться к разделам курсов «Высшая математика» и «Теоретическая механика», связанным с



составлением линеаризацией и решением дифференциальных уравнений динамики.

В результате работы над темой должны быть усвоены понятия: статическая характеристика, переходная динамическая характеристика, передаточная функция, статическое звено, интегрирующее звено, дифференцирующее звено, апериодическое и колебательное звенья. Вопросы для самопроверки

1. Как классифицируются элемента САУ по функциональным признакам, по статическим и динамическим свойствам?

2. Поясните физический смысл постоянной времени и коэффициента усиления.

3. Как можно определить динамические параметры звена по амплитудно-фазовой частотной характеристике (АФЧХ)?

4. Как определить постоянную времени интегрирующего звена по его переходной характеристике?

5. Перечислите типовые динамические звенья САУ.

6. Изобразите переходную характеристику; апериодического звена, колебательного устойчивого звена, колебательного неустойчивого звена.

7. Изобразите статическую характеристику: астатического интегрирующего звена, астатического дифференцирующего звена, пропорционального звена.

## **Тема 2. Элементная база автоматических систем**

Чувствительные (измерительные) элементы САУ. Преобразующие устройства, Задающие и счетно-решающие устройства. Усилители. Исполнительные механизмы. Корректирующие устройства. Их принцип действия. Особенности конструктивного исполнения, статические, динамические и эксплуатационные характеристики. Способы настройки. Особенности эксплуатации,

ЛИТЕРАТУРА: [????????????].

## **Методические указания**

Данная тема является логическим продолжением третьей темы. При изучении принципа действия и конструктивных вариантов отдельных элементов САУ обратите внимание на условные обозначения, принятые в принципиальных схемах гидравлических, гидромеханических и электрических систем.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Каким динамическим звеном является: центробежный маятник, гидравлический сервопоршень, рычаг отрицательной обратной связи, золотниковый гидрораспределитель?

2. Что такое зона нечувствительности измерительного устройства?

3. Назовите типы задающих устройств и способы их настройки.

4. Какие причины вызывают колебательность измерительных устройств?

Способы ее устранения.

5. Выведите уравнение динамики центробежного маятника.

6. Выведите уравнение динамики клапана постоянного давления.

## **РАЗДЕЛ IV. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗВЕНЬЕВ И САУ В ЦЕЛОМ.**

### **Тема 1. Дифференциальное уравнение САУ.**

Способы описания САУ. Составление дифференциального уравнения ГТД как объекта управления по угловой скорости. Методы преобразования структурных схем. Передаточная функция САУ. Составление дифференциального уравнения движения САУ. Характеристическое уравнение САУ. Оценка статических свойств системы. Вывод дифференциального уравнения в операторной форме. Передаточные функции элементов. Основные характеристики: статические, временные, частотные. Типовые динамические звенья САУ.

ЛИТЕРАТУРА [1, с.150-155]

## Методические указания

Любая система автоматического управления призвана обеспечить заданный закон изменения управляемой величины. В соответствии с этим приняты следующие способы описания САУ: сложный; с помощью функциональных, структурных и принципиальных схем; математический способ описания.

Необходимо знать различные типы схем и принятые в них условные обозначения. Следует изучить правила составления уравнений динамики САУ по ; уравнениям динамики отдельных элементов и по передаточной функции, которая может быть получена по передаточным функциям отдельных звеньев. Нужно ознакомиться с разновидностями статических характеристик и способами их построения.

### Вопросы для самопроверки

1. Чем отличаются функциональные, структурные и принципиальные схемы САУ?
2. Что понимается под нагрузочной и настроечной статической характеристикой?
3. Как оценить статические свойства САУ с помощью передаточной функции?
4. Выведите выражение передаточной функции САУ по заданным передаточным функциям звеньев.

## РАЗДЕЛ V. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТИПОВЫХ ЗВЕНЬЕВ

ГТД.

### Тема 1. Математические модели регуляторов прямого действия.

Принципиальная, функциональная и структурные схемы регуляторов оборотов ГТД прямого действия, функционирующего по принципу компенсации внешних воздействий и по принципу отклонений. Принцип действия регуляторов. Динамические модели и передаточные функции отдельных звеньев. Динамические модели регуляторов. Статические характеристики и переходные процессы.

ЛИТЕРАТУРА: [1, с.73-80]

### Методические указания.

При изучении вопросов моделирования типовых звеньев нужно разобрать принципы работы регуляторов оборотов в режимах стабилизации и на переходных режимах. На схемах регуляторов проставить входные параметры и уяснить их смысл. Уяснить процедуру перехода от операторной записи математической модели САУ к записи в виде стандартного линейного уравнения. Уметь связать характер переходных процессов с конструктивными особенностями рассматриваемых регуляторов.

Вопросы для самопроверки.

1. Перечислить элементы входящие в состав регуляторов.
2. Что такое регулятор прямого действия?
3. Какими достоинствами и недостатками обладают регуляторы прямого действия?
4. Дать физическую трактовку характеристик переходных процессов, рассматриваемого типа регуляторов.
5. Для каких целей используются уравнения динамики и какие кон-

кретно характеристики можно получить из уравнений динамики САУ?

## **Тема 2. Типовые регуляторы ГТД с жесткими и гибкими обратными связями.**

Принципиальные функциональные и структурные схемы рассматриваемых регуляторов. Принцип действия регуляторов оборотов ГТД с обратными связями. Математическое описание обратных связей и их физический смысл. Звенья входящие в регуляторы оборотов. Динамические модели элементов и САУ в целом. Характер протекания переходных процессов. Особенности использования САУ с изодромными усилителями.

### **Методические указания.**

При рассмотрении настоящей темы необходимо в первую очередь уяснить принцип работы типовых регуляторов в режимах стабилизации и в переходном режиме. Следует различать статические регуляторы (регуляторы, дающие статическую ошибку) и астатические (регуляторы, способные воспроизводить задающий сигнал без ошибки). Важно с физической точки зрения уметь объяснять преимущества регуляторов с изодромными усилителями и уметь подкрепить выводы математическими формулами. Чаще всего математическую модель удобно составлять с использованием структурных схем и передаточных функций. Такой подход нужно хорошо усвоить и уметь подкреплять простейшими примерами.

ЛИТЕРАТУРА: [1, с.80-93]

Вопросы для самопроверки.

1. Поясните принцип действия регуляторов с обратной связью.
2. Перечислите элементы регуляторов.

3. Изобразите графически статические характеристики регуляторов.
4. Выведите уравнения динамики серводвигателя с жесткой и гибкой обратными связями.
5. Дайте сравнительную оценку рассматриваемых регуляторов.
6. Постройте примерные графики переходных процессов.

## **РАЗДЕЛ VI. КАЧЕСТВЕННЫЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ САУ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ.**

### **Тема 1. Оценка качества автоматических систем.**

Показатели качества процесса управления. Интегральные методы оценки качества, критерий к диаграмма Вышнеградского. Другие методы оценки качества. Методы коррекции качества управления. Введение производной и интеграла от управляемого параметра и закон управления. Влияние обратных связей на динамику процесса управления,

ЛИТЕРАТУРА: [?????????]

### **Методические указания**

При работе над темой необходимо усвоить основные показатели и критерии качества, принципы построения и использования диаграмм.

Для достижения желаемого качества процесса управления и требуемой точности системы используют дополнительные звенья - кор-ректирующие устройства. Нужно проанализировать способы параллельной и последовательной коррекции САУ, корректирующие устройства, включаемые 3 дополнительные обратные связи.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите показатели качества процесса управления.
2. Поясните влияние коэффициента усиления разомкнутой системы на точность и устойчивость управления в установившемся режиме.

3. Поясните интегральные критерии оценки качества.
4. Изобразите статические нагрузочные характеристики статической и астатической САУ частотой вращения ротора ГТД.

## **Тема 2. Особые системы автоматического управления.**

Импульсные САУ. Системы с ЭВМ в контуре управления. Существенно нелинейные системы и их особенности. Режимы автоколебания в нелинейной САУ. Эксплуатационные причины возникновения автоколебаний. Многомерные САУ. Проблемы автономности в многомерной системе управления.

ЛИТЕРАТУРА: [????????????????]

### **Методические указания**

При работе над темой нужно уяснить различие между линейными и существенно нелинейными системами, усвоить понятие дискретной САУ.

Необходимо рассмотреть виды переходных процессов, понятие об устойчивости и автоколебательных режимах нелинейных автоматических систем, подвод энергии от внешних источников, необходимой для поддержания автоколебаний, зависимость периода и амплитуды автоколебаний от параметров нелинейных автоматических систем.

Следует рассмотреть также возможные эксплуатационные причины автоколебания нелинейных систем: при изменении внешних условий (Высоты и скорости полета) и при изменении режима работы силовых установок; влияние автоколебаний автоматических систем управления на надежность и ресурс объекта управления, конструктивные меры предупреждения автоколебаний.

На примере САУ ТРД с изменяемой геометрией проточной части к САУ ТВД с винтом изменяемого шага нужно усвоить понятие многомерных автоматических систем.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение нелинейных автоматических систем,

2. Приведите примеры дискретных, нелинейных и многомерных автоматических систем. Объясните их особенности.

3. Вычертите структурную схему двумерной САУ ТВД с винтом изменяемого шага.

## **РАЗДЕЛ VII. УСТОЙЧИВОСТЬ САУ. КРИТЕРИИ УСТОЙЧИВОСТИ.**

### **Тема 1. Оценка устойчивости САУ.**

Понятие об устойчивости САУ. Математическая оценка устойчивости. Зависимость свойств системы от вида корней ее характеристического уравнения. Алгебраические критерии устойчивости. Частотные методы анализа. Графоаналитические критерии устойчивости.

ЛИТЕРАТУРА: [?????????????]

### **Методические указания**

Устойчивость является одной из важнейших характеристик САУ. Только устойчивая система способна реализовать заданный закон управления, поэтому проверка на устойчивость является обязательной. При изучении темы необходимо уяснить, какие существуют методы оценки устойчивости САУ, изучить алгебраические и частотные критерии, научиться использовать их при определении устойчивости АС по характеристикам и уравнениям.

Вопросы для самопроверки

1. Что понимается под устойчивостью САУ?
2. Сформулируйте алгебраический критерий Гурвица, графоаналитический критерий устойчивости Михайлова и частотный критерий устойчивости Найквиста.
3. Оцените устойчивость САУ по предложенным характеристикам.



## **РАЗДЕЛ VIII. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.**

### **Тема 1. Критерии и показатели качества процессов управления.**

Количественные показатели точности, степени устойчивости и быстродействия. Оценка качества регулирования по переходным процессам. Основные характеристики переходных процессов.

ЛИТЕРАТУРА: [1, с.74-84]

#### **Методические указания.**

При работе над темой необходимо усвоить критерии качества и основные количественные показатели качества, такие как, величина перерегулирования, степень устойчивости, запасы по фазе и модулю, время регулирования и др.

Часто указанные выше характеристики можно получить из графиков переходных процессов. Нужно уметь оценить качественные и количественные характеристики по переходным характеристикам и уметь строить допустимые области переходных процессов с заданными показателями качества.

Вопросы для самопроверки.

1. Перечислите критерии качества.
2. Чем характеризуется степень устойчивости?
3. Какие количественные характеристики служат для оценки точности и быстродействия?
4. Что такое переходный процесс, какие основные виды переходных процессов вы знаете?
5. Как приблизительно оценить быстродействие процессов регулирования?
6. Изобразите примерный график переходного процесса и поясните процедуру получения характеристик качества систем регулирования.

## **РАЗДЕЛ IX. СИНТЕЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ.**

### **Тема 1. Выбор и расчет корректирующих устройств обеспечивающих заданные статические и динамические характеристики систем.**

Понятие синтеза механизмов. Инженерный синтез системы автоматического регулирования. Основные задачи синтеза. Корректирующие устройства и способы их включения. Параллельная коррекция и расчет передаточной функции. Жесткая и гибкая обратная связь и методы расчета. Последовательная коррекция и расчет скорректированной передаточной функции. Примеры последовательной коррекции.

#### **Методические указания.**

При изучении настоящей темы необходимо уяснить физический смысл корректирующих устройств на конкретных примерах, например параллельную коррекцию на примере сервогидравлических усилителей с различными видами обратных связей. Увязать расчетные соотношения передаточных функций скорректированных САУ с конкретным физическим смыслом.

ЛИТЕРАТУРА: [2, с.95-109]

Вопросы для самопроверки.

1. Что понимается под синтезом механических систем?
2. Какие основные задачи решаются при синтезе САУ?
3. Что такое корректирующее устройство?
4. Расчет передаточной функции при параллельной коррекции?
5. Расчет передаточной функции при последовательной коррекции?
6. Дайте сравнительную оценку сервоусилителей без обратной связи, с жесткими и гибкими обратными связями.
7. Приведите пример параллельной коррекции.

## **6. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКА.**

Контрольная работа включает в себя три задачи.

1. Построение математических моделей САР с использованием структурных схем и передаточных функций.
2. Построение динамических моделей типовых регуляторов оборотов ГТД.
3. Оценка устойчивости разомкнутых САР.

### **Цель контрольной работы.**

1. Закрепление теоретического материала, пройденного в процессе изучения дисциплины.
2. Усвоение основных понятий и аппарата дисциплины с целью создания прочной базы профессионального обучения.
3. Использования ПЭВМ в учебном процессе. Усвоить и закрепить на практике следующие понятия:
  - передаточная функция и правила преобразования структурных схем;
  - метод построения математических моделей САУ с использованием структурных схем и передаточных функций;
  - типовые регуляторы оборотов и принципы их работы;
  - уравнения динамики типовых звеньев и САУ в целом;
  - устойчивость САУ;
  - частотные и алгебраические критерии устойчивости САУ;

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
1. Общие методические указания .....	1
2. Задачи изучения дисциплины .....	4
3. Перечень рекомендуемой литературы .....	5
3.1. Основная учебная литература .....	5
3.2. Дополнительная литература .....	6
4. Структура дисциплины «Основы автоматики» .....	6
5. Программа дисциплины «Основы автоматики» и методические указания к изучению тем программы .....	8
Раздел I. Основные понятия автоматики. Принципы автоматического управления .....	8
Раздел II. Авиационные объекты автоматического управления и их математические модели .....	10
Раздел III. Регуляторы ГТД и их элементная база .....	16
Раздел IV. Математическое моделирование звеньев и САУ в целом ....	18
Раздел V. Математические модели типовых звеньев ГТД .....	20
Раздел VI. Качественные и количественные характеристики САУ и их элементов .....	22
Раздел VII. Устойчивость САУ. Критерии устойчивости .....	24
Раздел VII. Критерии оценки качества системы управления .....	25
Раздел IX. Синтез систем автоматического регулирования .....	26
6. Контрольная работа и ее характеристики .....	27