

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ (МГТУ ГА)**

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по УМР  
\_\_\_\_\_ В.Криницин  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2007 г.

**РАБОЧАЯ УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**СД.09. Системы автоматического управления полетом**

(Наименование, шифр по ГОС)

Специальность (специализация) \_\_\_\_\_ 160903 \_\_\_\_\_

(Шифр по ГОС)

Факультет «Авиационных систем и комплексов»

Кафедра «Технической эксплуатации авиационных электросистем и  
пилотажно-навигационных комплексов»

Курс 4, Форма обучения очная, Семестр 7, 8

Общий объем часов на дисциплину: 190 час.

В том числе:

<b>Вид занятий</b>	<b>Всего часов</b>	<b>Семестр 7</b>	<b>Семестр 8</b>
Лекции	60	38	22
Практические занятия	-	-	-
Лабораторные занятия	40	12	28
Самостоятельная работа	90	40	50
Курсовой работа	-	-	-
Зачет	-	-	-
Экзамен	7,8-й семестр	Экзамен	Экзамен

МОСКВА – 2007 г.

Рабочая программа составлена на основании примерной учебной программы дисциплины и в соответствии с Государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускника по специальности 160903.

Рабочую программу составил:  
Кузнецов С.В., профессор, д.т.н.

(подпись)

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры «ТЭАЭС и ПНК»,  
протокол № 11 от "30" мая 2007 г.

Заведующий кафедрой  
Воробьев В.Г., профессор, д.т.н.

(подпись)

Рабочая программа одобрена методическим советом по специальности 16903  
«Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов».

Протокол № 5 от "19" июня 2007 г.

Председатель методического совета  
Константинов В.Д., профессор, к.т.н.

(подпись)

Рабочая программа согласована с Учебно-методическим управлением (УМУ).

Начальник УМУ: Логачев В.П.

(подпись)

## 1. Цели и задачи дисциплины

Целью дисциплины является изучение студентами теории и практики автоматизированного и автоматического управления полетом воздушных судов, принципа действия, устройства и особенностей автоматических средств.

Данная дисциплина является одной из специальных дисциплин, служащих основой для формирования специалиста по технической эксплуатации авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов.

## 2. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

2.1. Студент должен иметь представление:

об основных научно-технических проблемах развития САУП;

о методах эксплуатации и стратегиях технического обслуживания в передовых авиакомпаниях.

2.2. Знать:

основные положения динамики управления полетом ВС, свойства самолета как объекта управления;

основы теории построения, принцип действия, устройство и работу, особенности управления, особенности законов управления и эксплуатационные особенности САУП;

проводить анализ причин, внешних проявлений и последствий отказов и неисправностей в САУП;

рассчитывать и уметь экспериментально определять передаточные коэффициенты в законах управления САУП.

2.3. Уметь:

работать с принципиальными электрическими схемами САУП и экспериментально определять их статических и динамические характеристики.

2.4. Иметь опыт использования средств контроля технического состояния систем автоматического управления полетом.

## 3. Объем дисциплины и виды учебной работы (см. титульный лист)

### 4. Содержание дисциплины

#### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ЛР
1	Самолет как объект управления. Основные положения динамики управления полетом.	*	-
2	Математические модели пространственного движения самолета.	*	*
3	Динамика продольного движения самолета.	*	*
4	Динамика бокового движения самолета	*	*
5	Автоматизированное управление полетом. Автоматизированное управление рулями.	*	-
6	Демпфирование колебаний движения самолета	*	*
7	Улучшение устойчивости и управляемости.	*	*
8	Автоматическое управление полетом. Стабилизация и управление угловым положением.	*	*

#### 4.2. Содержание разделов дисциплины

## **Раздел 1. Самолет как объект управления. Основные положения динамики управления полетом (10 часов).**

**Лекция 1.** Элементы конструкции и органы управления самолетом. Параметры положения и движения самолета. Нормальная земная система координат. Поступательное движение самолета. Нормальная система координат. Вращательное движение самолета. Связанная система координат. Угол рыскания. Угол тангажа. Угол крена. Земная скорость. Путевая скорость. Скорость самолета. Воздушная скорость. Скоростная система координат. Угол атаки. Угол скольжения. Траекторная система координат. Угол пути. Угол наклона траектории. Угловая скорость. Скорость крена. Скорость рыскания. Скорость тангажа.

**Лекция 2.** Виды движения самолета. Силы и перегрузки, действующие на самолет. Опорное движение самолета. Возмущенное движение самолета. Собственное возмущенное движение самолета. Вынужденное возмущенное движение самолета. Установившееся движение самолета. Горизонтальный попет. Вираж. Разворот. Правильный вираж или разворот. Набор высоты и снижение. Тяга. Аэродинамическая сила. Аэродинамическая сила лобового сопротивления. Аэродинамическая подъемная сила. Аэродинамическая боковая сила. Сипа тяжести. Результирующая сила. Поляра. Перегрузка.

**Лекция 3.** Моменты сил, действующие на самолет. Аэродинамический момент. Результирующий момент.

**Лекция 4.** Управляющие воздействия. Управляющее воздействие по крену. Управляющее воздействие по рысканию. Управляющее воздействие во тангажу. Управляющее балансирующее воздействие по тангажу. Управляющее воздействие по силе лобового сопротивления. Управляющее воздействие по аэродинамической подъемной силе. Управляющее воздействие по аэродинамической боковой силе. Управляющее воздействие по тяге.

**Лекция 5.** Внешние возмущения. Результирующая внешняя сила. Результирующий внешний момент. Скорость ветра. Угол ветра. Наклон ветра.

## **Раздел 2. Математические модели пространственного движения самолета (10 часов).**

**Лекция 6.** Уравнения движения самолета. Собственная и вынужденная составляющие движения.

**Лекция 7.** Линеаризованные уравнения движения самолета. Метод малых возмущений. Метод замороженных коэффициентов.

**Лекция 8.** Уравнения движения самолета в форме Коши.

**Лекция 9.** Уравнения движения в пространстве состояний. Метод пространства состояний.

**Лекция 10.** Уравнения продольного и бокового движения в пространстве состояний.

## **Раздел 3. Динамика продольного движения самолета (10ч).**

**Лекция 11.** Структура продольного движения. Виды продольного движения. Продольное движение самолета. Продольное короткопериодическое движение. Продольное длиннопериодическое движение. Продольное траекторное движение. Моделирование про-

дольного движения. Движение по первичным и вторичным параметрам. Быстрое и медленное движение. Траекторное движение.

**Лекция 12.** Устойчивость продольного движения. Характеристики устойчивости продольного движения. Условия устойчивости продольного движения. Фокус по углу атаки. Степень продольной статической устойчивости по перегрузке. Время затухания собственных продольных короткопериодических колебаний.

**Лекция 13.** Управляемость продольного движения. Характеристики управляемости продольного движения. Маневренность самолета. Балансировочный режим полета в продольном движении. Балансировочные отклонения рулей высоты и стабилизатора. Градиент перемещения колонки штурвала по перегрузке. Градиент усилия на колонке штурвала по перегрузке. Время срабатывания по нормальной перегрузке. Моделирование управляющих воздействий в продольном движении. Передаточные и переходные функции самолета в продольном короткопериодическом движении по управляющим воздействиям.

**Лекция 14.** Передаточные и переходные функции самолета в продольном длиннопериодическом движении по управляющим воздействиям. Передаточные и переходные функции самолета в полном продольном вынужденном движении по управляющим воздействиям. Передаточные и переходные функции самолета в продольном движении по внешним возмущениям. Анализ переходных процессов. Реакция самолета на ступенчатые и импульсные отклонения органов управления.

**Лекция 15.** Внешние возмущения в продольном движении. Влияние эксплуатационных факторов на продольное движение. Моделирование внешних возмущений в продольном движении. Передаточные и переходные функции самолета в продольном короткопериодическом движении по внешним возмущениям. Передаточные и переходные функции самолета в продольном длиннопериодическом и полном вынужденном движении по внешним возмущениям. Реакция самолета на импульсные и ступенчатые внешние возмущения и вертикальные ветровые внешние возмущения.

#### **Раздел 4. Динамика бокового движения самолета (8ч).**

**Лекция 16.** Структура бокового движения. Виды бокового движения. Боковое движение самолета. Быстрое боковое движение. Боковое спиральное движение. Движение "чистого" крена. Движение "чистого" рыскания. Движение "голландский шаг". Боковое траекторное движение. Моделирование бокового движения. Движение по первичным и вторичным параметрам. Быстрое и медленное движение. Траекторное движение.

**Лекция 17.** Устойчивость бокового движения. Характеристики устойчивости бокового движения. Фокус по углу скольжения. Степень путевой статической устойчивости по углу скольжения. Степень поперечной статической устойчивости по углу скольжения. Время затухания собственных боковых короткопериодических колебаний. Условия устойчивости бокового движения. Быстрое креновое движение. Медленное спиральное движение. Быстрое колебательное движение. Движение по первичным параметрам.

**Лекция 18.** Управляемость бокового движения. Характеристики управляемости бокового движения. Балансировочный режим полета в боковом движении. Балансировочные отклонения элеронов и рулей направления. Градиент перемещения штурвала по углам скольжения и крена. Градиент усилия на штурвале по углам скольжения и крена. Градиент перемещения педалей по углам скольжения и крена. Градиент усилия на педалях по углам скольжения и крена. Время срабатывания по боковой перегрузке. Моделирование управляющих воздействий в боковом движении. Передаточные и переходные функции самолета в быстром боковом вынужденном движении по управляющим воздействиям. Передаточные и

переходные функции самолета в траекторном и полном боковом вынужденном движении по управляющим воздействиям. Реакция самолета на ступенчатые отклонения органов управления в боковом движении.

**Лекция 19.** Внешние возмущения в боковом движении. Влияние эксплуатационных факторов на боковое движение. Моделирование внешних возмущений в боковом движении. Передаточные и переходные функции самолета в быстром боковом вынужденном движении по внешним возмущениям. Передаточные и переходные функции самолета в полном боковом вынужденном движении по внешним возмущениям. Реакция самолета на импульсные и ступенчатые внешние возмущения и ветер.

#### **Раздел 5. Автоматизированное управление полетом. Автоматизированное управление рулями (4ч).**

**Лекция 20.** Автоматизированное управление полетом. Управление полетом и рулями. Состав систем управления полетом. Виды систем управления рулями. Система управления полетом. Состав системы управления полетом. Схема прямой обратимой системы управления рулями. Схема бустерной системы управления рулями. Схема электродистанционной системы управления рулями.

**Лекция 21.** Рулевые приводы и сервоприводы. Принцип действия РП, РА, РМ. Электромеханические и электрогидравлические сервоприводы. Схема рулевого привода. Схема электромеханического сервопривода. Схема электрогидравлического сервопривода. Кинематика ручного и автоматизированного управления. Кинематика включения в механическую проводку управления РП, РА и РМ. Кинематика сопряжения ручного и автоматического управления. Реакция рулевых приводов и сервоприводов на управляющие воздействия. Модели РП, РА и РМ. Реакция рулевых приводов и сервоприводов на управляющие воздействия. Модели ЭГ СП ЖОС, ЭМ СП ЖОС, ЭМ СП СОС, ЭМ СП ЖОС и СОС, ЭМ СП ИОС.

#### **Раздел 6. Демпфирование колебаний движения самолета (6ч)**

**Лекция 22.** Автоматическое демпфирование колебаний по тангажу. Принцип действия демпферов тангажа. Демпфер тангажа. Закон управления демпфера тангажа. Передаточный коэффициент по скорости тангажа. Схема демпфера тангажа. Проверка работоспособности, передаточных коэффициентов, регулировка. Влияние демпферов тангажа на характеристики продольной устойчивости и управляемости. Особенности законов управления демпферов тангажа. Влияние отказов и характеристик ДТ на управление продольным движением. Моделирование демпфирования колебаний по тангажу. Передаточные и переходные функции замкнутой системы «самолет- демпфер тангажа». Анализ переходных процессов.

**Лекция 23.** Автоматическое демпфирование колебаний по крену. Принцип действия демпферов крена. Демпфер крена. Закон управления демпфера крена. Передаточный коэффициент по скорости крена. Схема демпфера крена. Проверка работоспособности, передаточных коэффициентов, регулировка. Моделирование демпфирования колебаний по крену. Передаточные и переходные функции замкнутой системы «самолет- демпфер крена». Анализ переходных процессов.

**Лекция 24.** Автоматическое демпфирование колебаний по рысканию. Принцип действия демпферов рыскания. Демпфер рыскания. Закон управления демпфера рыскания. Передаточный коэффициент по скорости рыскания. Схема демпфера рыскания. Проверка работоспособности, передаточных коэффициентов, регулировка. Влияние демпферов крена и рыскания на поперечную и путевую устойчивость и управляемость. Особенности законов управления демпферов рыскания. Моделирование демпфирования колебаний по рысканию.

Передаточные и переходные функции замкнутой системы «самолет- демпфер рыскания». Анализ переходных процессов.

## **Раздел 7. Улучшение устойчивости и управляемости (8ч).**

**Лекция 25.** Автоматическое улучшение устойчивости по перегрузкам. Принцип действия автоматов устойчивости. Автомат продольной устойчивости. Законы управления автоматов продольной устойчивости. Передаточный коэффициент по углу атаки. Передаточный коэффициент по нормальной перегрузке. Схема автомата продольной устойчивости. Автомат боковой устойчивости. Законы управления автоматов боковой устойчивости. Передаточный коэффициент по углу скольжения. Передаточный коэффициент по боковой перегрузке. Схема автомата боковой устойчивости. Проверка работоспособности, передаточных коэффициентов, регулировка. Проверка работоспособности, передаточных коэффициентов, регулировка. Автоматическое улучшение продольной устойчивости и управляемости. Принцип действия автоматов продольного управления. Проверка работоспособности, передаточных коэффициентов, регулировка.

**Лекция 26.** Автоматическое улучшение боковой устойчивости и управляемости. Принцип действия автоматов бокового управления. Проверка работоспособности, передаточных коэффициентов, регулировка. Автомат продольного управления. Законы управления автоматов продольного управления. Передаточный коэффициент по отклонению колонки штурвала. Схема автомата продольного управления. Автомат бокового управления. Законы управления автоматов бокового управления. Передаточный коэффициент по отклонению баранки штурвала. Передаточный коэффициент по отклонению педалей. Схема автомата бокового управления. Влияние автоматов продольной и боковой устойчивости на устойчивость и управляемость. Особенности законов управления автоматов продольной и боковой устойчивости. Влияние автоматов продольного управления на характеристики управляемости самолета. Особенности законов управления АПУ. Влияние отказов АПУ на управление продольным движением. Влияние автоматов бокового управления на характеристики управляемости самолета.

**Лекция 27.** Моделирование улучшения продольной устойчивости и управляемости. Передаточные и переходные функции замкнутой системы «самолет-автомат продольного управления». Анализ переходных процессов. Моделирование улучшения боковой устойчивости и управляемости. Передаточные и переходные функции замкнутой системы «самолет-автомат бокового управления». Анализ переходных процессов. Автоматическое регулирование продольного управления. Принцип действия автоматов регулирования продольного управления. Автомат регулирования продольного управления. Зависимость коэффициента штурвала руля высоты от скорости. Схема автомата регулирования продольного управления. Проверка работоспособности, передаточных коэффициентов, регулировка.

**Лекция 28.** Автоматическое регулирование путевого и поперечного управления. Принцип действия автоматов регулирования путевого и поперечного управления. Автомат регулирования поперечного управления. Зависимость коэффициента штурвала элеронов от скорости. Схема автомата регулирования поперечного управления. Автомат регулирования путевого управления. Зависимость коэффициента штурвала руля направления от скорости. Схема автомата регулирования путевого управления. Проверка работоспособности, передаточных коэффициентов, регулировка. Влияние автоматов регулирования управления на характеристики управляемости самолета. Влияние отказов и характеристик элементов автоматов регулирования управления на управление движением самолета.

**Раздел 8. Автоматическое управление полетом. Стабилизация и управление угловым положением (4ч)**

**Лекция 29.** Автоматическая стабилизация и управление углом тангажа. Пилотажная задача. Автопилот угла тангажа. Закон управления автопилота угла тангажа. Передаточный коэффициент по углу тангажа. Схема электромеханического автопилота угла тангажа. Схема электрогидравлического автопилота угла тангажа. Принцип действия автопилотов угла тангажа. Проверка работоспособности, передаточных коэффициентов, регулировка. Автоматическая стабилизация и управление углом крена. Принцип действия автопилотов угла крена. Автопилот угла крена. Закон управления автопилота угла крена. Передаточный коэффициент по углу крена. Схема автопилота угла крена. Проверка работоспособности, передаточных коэффициентов, регулировка.

**Лекция 30.** Виды курсов. Истинный курс. Магнитный курс и его связь с истинным курсом. Ортодромический курс и его связь с истинным курсом. Локсодромия и ортодромия. Автоматическая стабилизация и управление курсом. Принцип действия автопилотов курса прямой схемы. Автопилот курса прямой схемы. Закон управления автопилота курса прямой схемы. Передаточный коэффициент по курсу. Схема автопилота курса в канале рулей направления. Проверка работоспособности, передаточных коэффициентов, регулировка. Принцип действия автопилотов курса перекрестной схемы. Автопилот курса перекрестной схемы. Закон управления автопилота курса перекрестной схемы. Передаточный коэффициент по курсу в контуре угла крена. Схема автопилота курса в канале элеронов. Проверка работоспособности, передаточных коэффициентов, регулировка.

## 5. Лабораторный практикум

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
Л.р.1	1-4	Моделирование продольного движения самолета (6ч)
Л.р.2	1-4	Моделирование бокового движения самолета (6ч)
Л.р.3	5-7	Исследование динамики системы "самолет – демпфер тангажа" в продольном движении (4ч)
Л.р.4	5-7	Исследование динамики системы "самолет – демпфер крена" и "самолет – демпфер рыскания" в боковом движении (4ч).
Л.р.5	8	Исследование динамики системы "самолет - АП" в продольном движении (4ч).
Л.р.6	8	Исследование динамики системы "самолет - АП" в боковом движении (4ч).
Л.р.7	8	Исследование АП-28Л1 (8ч).
Л.р.8	8	Исследование АП-34Б2 (4ч).

## 6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 6.1. Рекомендуемая литература

#### а) основная литература:

Воробьев В.Г, Кузнецов С.В. Автоматическое управление полетом самолетов. Транспорт, 1995.

#### б) дополнительная литература:

В.Г.Воробьев, В.П.Зыль, Кузнецов С.В. Комплексы цифрового пилотажно-навигационного оборудования, часть 1, М.: РИО МГТУ ГА, 1998г, 140 с

В.Г.Воробьев, В.П.Зыль, Кузнецов С.В. Комплексы цифрового пилотажно-навигационного оборудования, часть 2 печ. М.: РИО МГТУ ГА, 1998г, 116 с

А.А.Гусев, С.В.Кузнецов. Учебно- методическое пособие, контрольные задания (К1 и К2) и задания к курсовой работе по дисциплине «САУ и ПНК», М.: РИО МГТУ ГА, 1998г, 40 с

А.А.Гусев, С.В.Кузнецов. Методические указания по изучению дисциплины «Динамика управления полетом», М.: РИО МГТУ ГА, 1998г, 40 с

С.В.Кузнецов. Обмен информацией двуполярным кодом в оборудовании летательных аппаратов по РТМ 1495-75. Пособие по изучению систем и комплексов авионики. М.: РИО МГТУ ГА, 2001г, 24с.

Михалев И.А., Окоёмов Б.Н., Павлина И.Г., Чекулаев М.С. Системы автоматического и директорного управления самолетом. М., "Машиностроение", 1987.

## **7.2. Средства обеспечения освоения дисциплины**

Программы моделирования систем автоматического управления полетом на персональных ЭВМ.

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

Системы автоматического управления полетом с КПА: автопилоты АП-28, АП-34, АП-40, автоматическая система АСУУ-86.