

Приложение № 16

к приказу № 949 от 29 сентября 2017 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)» МАИ

**ПРОГРАММА
ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ЭКЗАМЕНОВ
В МАГИСТРАТУРУ ПО НАПРАВЛЕНИЮ
24.04.03 «БАЛЛИСТИКА И ГИДРОАЭРОДИНАМИКА»**

В основу программы положены следующие вузовские дисциплины: «Аэрогидромеханика», «Гидроаэродинамика», «Динамика полета», «Управление движением летательных аппаратов», «Динамика ЛА», «Основы теории управления», «Управление в технических системах».

Часть 1.

Модели жидкостей и газов. Гипотеза сплошности. Принцип обратимости. Основные физико-механические параметры и свойства жидкостей и газов. Стандартная атмосфера. Режимы течений жидкостей и газов. Силовое воздействие потока на тело.

Установившееся и неустановившееся движения. Линия тока, траектория. Уравнение неразрывности. Поступательное, деформационное и вращательное движения частицы сплошной среды. Потенциальное и вихревое движения. Циркуляция вектора скорости.

Силы, действующие на частицу сплошной среды. Уравнения Эйлера и Навье-Стокса. Уравнение переноса полной энергии. Полная система уравнений, описывающая движение сплошной среды. Начальные и граничные условия.

Особенности динамики сжимаемой среды. Одномерное установившееся изоэнтропическое течение газа, параметры торможения, критические параметры. Сопло Лавалю, расчетный и нерасчетный режимы течения.

Распространение слабых возмущений в потоке газа, поверхности разрыва. Классификация разрывов в газе. Ударные волны и скачки уплотнения. Виды скачков уплотнения. Изменение параметров потока при переходе через скачок уплотнения. Слабые разрывы в газе. Волны разрежения.

Моделирование и подобие явлений. Виды подобия. Параметры подобия, формулы подобия. Критерии подобия. Полное и частичное подобие. Способы осуществления подобия при проведении экспериментальных исследований. Аэродинамические трубы и газодинамические установки.

Понятие пограничного слоя и общие сведения о пограничном слое. Уравнения пограничного слоя. Общие сведения о методах расчета параметров потока в ламинарном и турбулентном пограничном слое.

Аэродинамические характеристики профилей и крыльев конечного размаха. Теорема Н.Е. Жуковского о подъемной силе. Тонкий профиль в несжимаемом потоке. Вихревые модели крыла. Скол потока. Индуктивное сопротивление. Влияние формы крыла в плане на аэродинамические характеристики. Поляры крыла, аэродинамическое качество. Влияние сжимаемости на аэродинамические характеристики, критическое число Маха. Волновое сопротивление. Аэродинамические характеристики профиля и крыла при дозвуковых, околозвуковых и сверхзвуковых скоростях. Аэродинамика механизированного крыла. Назначение и принцип действия механизации. Механизация крыла (жесткая, струйная, комбинированная).

Геометрические параметры фюзеляжа в виде тела вращения. Картина обтекания при малых и больших углах атаки. Нелинейные аэродинамические характеристики.

Аэродинамика самолета в полетной, взлетной и посадочной конфигурациях. Интерференция частей самолета. Особенности обтекания оперения самолета. Аэродинамическая эффективность и шарнирные моменты рулей. Поляры, аэродинамическое качество самолета с отклоненными органами управления и без них. Аэродинамические характеристики самолета при отклоненной механизации. Влияние близости земли на аэродинамические характеристики

Понятие устойчивости и управляемости. Аэродинамические характеристики, определяющие продольную статическую устойчивость и управляемость. Аэродинамический момент тангажа. Центр давления и фокус по углу атаки. Понятие о балансировке самолета. Продольная балансировка. Балансировочная поляра. Аэродинамические моменты рыскания и крена. Аэродинамические характеристики, определяющие боковую статическую устойчивость и управляемость.

Критические режимы обтекания самолета. Обтекание самолета на больших углах атаки, срыв потока. Допустимый коэффициент аэродинамической подъемной силы.

Авторотация крыла. Механизация крыла, предназначенная для предотвращения срыва потока.

Аэродинамические характеристики самолета при неустановившемся движении. Методы расчета нестационарных аэродинамических характеристик. Демпфирующие моменты тангажа и крена. Запаздывание угла скоса потока.

Особенности гиперзвуковых скоростей. Закон гиперзвукового подобия. Расчет аэродинамических характеристик объектов при гиперзвуковых скоростях.

Аэродинамическая компоновка современных и перспективных самолетов. Используемые аэродинамические схемы и виды крыльев. Непосредственное управление силами. Управление отрывом потока.

Уравнения механики, описывающие движение центра масс и вращение вокруг центра масс. Уравнение Мещерского. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета. Внешние силы, действующие на летательный аппарат в полете. Системы координат, применяемые в динамике полета. Уравнения движения в проекциях на оси подвижной системы координат.

Установившиеся режимы полета летательного аппарата. Метод тяг Жуковского. Режимы полета на диаграмме потребных и располагаемых тяг. Метод мощностей. Расчет области возможных режимов горизонтального полета. Ограничения диапазона скоростей. Набор высоты. Статический и динамический потолки самолета.

Расчет дальности и продолжительности полета. Основные определения. Километровый и часовой расходы топлива. Расчет дальности полета самолета. Радиус действия самолета.

Маневренные характеристики самолета. Располагаемые перегрузки и ограничения на них. Криволинейное движение в горизонтальной плоскости. Вирав самолета. Криволинейное движение в вертикальной плоскости.

Взлетно-посадочные характеристики. Расчет взлетной дистанции самолета. Расчет посадочной дистанции самолета. Укороченный и вертикальный взлет самолета.

Метод малых возмущений. Линеаризация уравнений движения. Упрощения математической модели движения. Разделение системы на две независимых системы уравнений, описывающих соответственно продольное и боковое возмущенное движение.

Продольные моменты аэродинамических сил. Фокус самолета. Понятие о продольной статической устойчивости. Моменты органов продольного управления. Демпфирующие продольные моменты. Боковые аэродинамические моменты. Путевая и поперечная статические устойчивости. Моменты органов бокового управления. Боковые демпфирующие моменты. Моменты сил тяги. Шарнирные моменты органов управления.

Установившееся продольное движение. Балансировка самолета в горизонтальном полете. Продольная статическая устойчивость по скорости. Балансировка в криволинейном полете. Продольная статическая устойчивость по перегрузке. Расход ручки на единицу перегрузки. Продольная статическая устойчивость самолета со свободным рулем высоты. Усилия на рычагах управления. Диапазон центровок.

Установившееся боковое движение. Балансировка самолета при посадке с боковым ветром. Балансировка в прямолинейном полете при отказе бокового двигателя. Режим балансировки в криволинейном полете с креном и скольжением. Расходы перемещения ручки и педалей. Усилия на рычагах управления.

Краткие сведения из теории автоматического управления. Методы решения линейных дифференциальных уравнений. Передаточная функция линейной САУ. Переходная функция. Частотные характеристики. Элементарные звенья САУ. Критерии устойчивости линейных систем. Показатели качества переходных процессов.

Продольное возмущенное движение. Уравнения продольного возмущенного движения. Условия устойчивости продольного движения. Разделение уравнений. Короткопериодическое движение. Влияние конструктивных параметров самолета и режима полета на показатели короткопериодического движения. Улучшение характеристик продольной устойчивости и управляемости средствами автоматики.

Боковое возмущенное движение. Уравнения бокового возмущенного движения.

Условия устойчивости. Разделение уравнений движения. Изолированное движение крена. Изолированное движение рыскания. Взаимодействие движений крена и рыскания. Влияние режима полета на показатели бокового движения. Улучшение характеристик боковой устойчивости и управляемости средствами автоматики.

Взаимодействие продольного и бокового движений. Виды взаимодействия. Инерционное взаимодействие. Условия устойчивости углового движения. Критические скорости крена.

Полет самолета на больших углах атаки. Особенности полета на больших углах атаки. Критические режимы: сваливание, штопор и др.

Часть 2

Раздел 1. Основы баллистического проектирования

Полет ЛА как управляемое движение. Цели и задачи управления. Управляющие силы и моменты. Способы создания управляющих воздействий; динамические схемы ЛА. Органы управления. Место баллистического и динамического проектирования в процессе разработки комплекса управляемого ЛА.

Системы координат, применяемые в механике полета. Углы, используемые для определения положения ЛА. Модели движения, фигуры (формы) гравитационного поля Земли. Атмосфера Земли и ее модели. Активные силы и моменты, действующие на ЛА в полете.

Модель ЛА как системы переменного состава. Принцип затвердевания. Векторные уравнения движения центра масс ЛА в различных системах координат (инерциальной, земной, подвижной). Векторные уравнения вращательного движения ЛА относительно его центра масс.

Скалярные уравнения движения центра масс ЛА в проекциях на оси различных систем координат. Скалярные уравнения вращательного движения. Кинематические уравнения движения ЛА (векторные и скалярные). Геометрические соотношения.

Модель движения центра масс ЛА с учетом формы и вращения Земли. Полная модель движения ЛА без учета формы и вращения Земли в проекциях на оси траекторной СК. Связь с уравнениями систем наведения и стабилизации. Идеальные связи как методы наведения. Классификация и сравнительный обзор методов наведения, основные особенности соответствующих им траекторий.

Обзор методов решения уравнений движения. Учет особенностей участка траектории. Разделение пространственного движения ЛА на продольное и боковое. Составление моделей движения центра масс ЛА. Расчет траекторий ЛА при полете по программе. Понятие об основных летных характеристиках ЛА. Методы определения скорости, высоты и дальности полета. Динамические уравнения движения центра масс ЛА в частных случаях.

Понятие об устойчивости, управляемости и маневренности. Перегрузка ЛА. Проекция перегрузки на оси различных СК. Уравнения движения ЛА в терминах перегрузок. Зависимость перегрузки от режима полета, от углов атаки, скольжения и отклонения рулей. Перегрузки потребные и располагаемые. Задача ограничения перегрузок.

Раздел 2. Основы динамического проектирования

Постановка задачи о реализации расчетной (номинальной) траектории. Понятие о невозмущенном и возмущенном движениях. Переход к уравнениям возмущенного движения. Линеаризация полученных уравнений. Метод малых возмущений. Расщепление уравнений на уравнения продольного возмущенного движения и на уравнения бокового возмущенного движения.

Уравнения продольного возмущенного движения ЛА, их преобразование и упрощения. Исследование свободного возмущенного движения. Характеристическое уравнение и его корни. Частотные характеристики ЛА. Оценка динамических свойств ЛА по известным частотным характеристикам.

Основные требования к динамическим свойствам ЛА и пути их удовлетворения: демпфирования, статическая устойчивость, собственная частота колебаний, эффективность органов управления, стабильность.

Уравнения бокового возмущенного движения ЛА, их преобразование и упрощения. Три этапа в развитии бокового возмущенного движения. Упрощение уравнений движения. Разделение бокового движения на движение рыскания и на движение крена. Передаточные функции и частотные характеристики для соответствующих движений. Анализ по ним динамических свойств ЛА в боковом возмущенном движении.

Раздел 3. Основы механики полета космических летательных аппаратов

Невозмущенное движение КЛА в ньютоновском центральном поле тяготения. Модель поля притяжения. Ньютоновский потенциал. Формирование и постановка задачи двух тел. Понятие о грависферах. Сфера притяжения, сфера действия, сфера влияния. Силовая функция.

Управление движения КЛА в задаче двух тел и возможные пути их исследования. Интеграл площадей. Интеграл энергии. Интеграл Лапласа. Уравнение орбиты. Типы и общие характеристики орбит. Кеплеровы элементы невозмущенного движения.

Движение КЛА по эллиптическим орбитам. Истинная и эксцентрическая аномалия. Уравнение Кеплера и пути его решения. Движение КЛА по круговым орбитам. Круговая скорость. Местная круговая скорость. Первая космическая скорость. Трасса ИСЗ, ее построение и прогнозирование. Суточные или синхронные ИСЗ. Спутники экваториальные и полярные. Геостационарные спутники и их трассы.

Движение КЛА по параболическим и гиперболическим орбитам. Скорость отрыва. Вторая космическая скорость. Восходящие и нисходящие участки траектории.

Основные виды импульсных орбитальных переходов. Импульсные переходы между круговыми компланарными орбитами. Примеры. Полуэллипсы Гомана. Перелеты между круговыми и эллиптическими орбитами. Некомпланарные перелеты. Повороты плоскости орбиты. Сравнительная оценка потребных энергетических затрат.

Маневры сближения КЛА и встреча аппаратов на орбите. Возможные схемы и этапы сближения. Уравнения относительного движения аппаратов. Начальные условия для обеспечения встречи.

Межпланетные перелеты. Формирование межпланетных орбит; формирование орбит с использованием гравитационных маневров. Классификация и оптимизация схем полета.

Возмущенное движение КЛА. Общая характеристика возмущений и возмущенного движения. Метод оскулирующих элементов. Составление уравнений движения КЛА в оскулирующих элементах. Обсуждение возможных методов исследования. Эволюция движения. Применение приближенных аналитических методов. Оценка изменений оскулирующих элементов за один виток.

Действие возмущений, вызываемых нецентральностью гравитационного поля Земли. Геопотенциал для данной задачи. Формирование возмущающих ускорений. Возмущения элементов орбиты; возмущения вековые и периодические. Оскулирующий период обращения. Реальная круговая орбита.

Уравнения движения в форме Гамильтона. Канонические уравнения. Переход к элементам Делоне. Разделение переменных на быстрые и медленные. Усреднение канонических уравнений. Эволюционные уравнения и их свойства. Обсуждение полученных результатов. Понятие солнечно-синхронных и геосинхронных орбит.

Аэродинамические воздействия на КЛА. Модели атмосферы и соответствующих возмущений. Уравнения движения КЛА в оскулирующих элементах. Приближенная оценка изменений элементов. Обсуждение полученных результатов. Понятие о критической орбите, минимально-возможной высоте и минимальном периоде.

Спуск КЛА с орбиты искусственного спутника Земли. Общая схема спуска с использованием аэродинамического торможения. Внеатмосферный участок спуска. Участок основного аэродинамического торможения. Участок мягкой посадки. Скользящий спуск. Планирующий спуск.

Особенности спуска на поверхность Земли с лунных и межпланетных траекторий возвращения. Понятие о коридоре входа. Вход с гиперболическими скоростями. Управление КЛА на гиперболических траекториях возвращения.

Анализ моментов сил, действующих на КЛА. Используемые системы координат. Моменты, действующие на КЛА в ньютоновском поле сил. Моменты аэродинамических сил и их аппроксимации. Моменты магнитного поля и сил светового давления. Оценка относительного влияния моментов различных сил.

Свободное стабилизационное движение КЛА (ИСЗ) в ньютоновском поле сил. Уравнения движения и положения равновесия. Плоские колебания ИСЗ на круговой и эллиптической орбите. Эксцентриситетные колебания. Системы гравитационной стабилизации ИСЗ. Влияние добавочных факторов на стабилизацию ИСЗ. Влияние аэродинамических моментов и сжатия Земли на вращательные движения ИСЗ.

Взаимосвязь поступательного и вращательного движения ИСЗ в ньютоновском поле сил. Исследования устойчивости положений относительного равновесия. Возмущенное движение и уравнения в оскулирующих элементах. Влияние гравитационных возмущений. Влияние аэродинамических возмущений. Общий случай динамически несимметричного ИСЗ. Случай круговой и эллиптической орбиты. Взаимодействие основных возмущений.

Способы создания управляющих моментов для КЛА. Управление угловым движением КЛА с помощью: реактивных двигателей, двигателей-маховиков, гироскопического стабилизатора, магнитопривода.

Раздел 4 Анализ и синтез линейных систем автоматического управления

Основные понятия теории автоматического управления (управление, средства управления, объект управления, переменные, управляемые переменные, программа, возмущающие и управляющие воздействия). Основная задача автоматического управления. Принципы управления. Закон управления, его свойства, виды законов управления. Режимы работы САУ. Переходный процесс, установившееся состояние. Показатели качества переходных процессов и требования, предъявляемые к ним. Типовые переходные процессы.

Математическое описание линейных САУ. Характерные особенности линейных систем. Уравнения динамики и статики, статическая характеристика системы. Способы описания линейных САУ. Передаточная функция. Частотная передаточная функция. Частотные характеристики и их взаимосвязь. Характерные точки частотных характеристик, полоса пропускания системы. Логарифмические частотные характеристики.

Описание линейных систем и процессов управления в пространстве состояния. Естественные переменные и переменные состояния. Уравнения состояния в нормальной форме. Управляемость и наблюдаемость линейных стационарных систем.

Основные понятия теории устойчивости по А.М.Ляпунову. Характеристическое уравнение системы и его корни. Теоремы А.М.Ляпунова об устойчивости и неустойчивости невозмущенного движения. Критерии устойчивости. Необходимые условия устойчивости.

Передаточная функция ошибки и ее нахождение. Расчет точности системы в установившемся состоянии. Коэффициенты ошибки. Связь статической точности системы с ее параметрами. Статические системы, астатические системы, порядок астатизма. Придание системе астатизма.

Общая постановка задачи синтеза САУ и ее упрощение. Обзор способов синтеза САУ и их сравнительный анализ. Способы включения корректирующих устройств и их сравнительный анализ. Процедура синтеза САУ при последовательном включении корректирующего устройства. Синтез САУ при включении корректирующего устройства в цепь обратной связи и его особенности.

Раздел 5 Анализ нелинейных систем автоматического управления

Нелинейных системы, их классификация и характерные особенности. Статические нелинейности и их физические источники. Метод фазовой плоскости. Фазовый портрет. Особенности процесса функционирования нелинейных систем. Линии переключения. Системы со скользящим процессом. Системы с логическим управлением.

Метод гармонической линеаризации, общая характеристика, основные допущения метода. Эквивалентный комплексный коэффициент усиления нелинейного элемента. Алгебраический и частотный методы определения периодических решений. Алгебраический и частотный критерии устойчивости периодических решений.

Раздел 6. Модальный синтез линейных регуляторов и наблюдателей

Нули и полюсы передаточной функции системы. Задача модального синтеза системы как задача размещения ее полюсов. Корневые показатели качества. Влияние взаимного положения нулей и полюсов на характер переходного процесса. Стандартные распределения корней.

Матричные передаточные функции. Основное соотношение модального управления. Управление отдельными модами. Многомерные системы, синтез многомерного регулятора.

Скалярное управление при неполной информации. Условия совместимости, различные формы их записи, алгоритм получения и физический смысл. Учет желаемого расположения корней при управлении по неполной информации. Нахождение коэффициентов желаемого полинома с учетом условий совместимости и желаемого расположения корней. Специальная форма записи условий совместимости для случая многомерного регулятора, допускающего скалярное управление. Алгоритм синтеза многомерного регулятора, допускающего скалярное управление, по вектору выхода.

Принцип действия, структурная схема и математическое описание наблюдающего устройства полной размерности. Полная наблюдаемость линейных стационарных систем и ее критерий. Структурная схема САУ с наблюдающим устройством и ее математическое описание. Теорема разделения корней. Выбор корней наблюдающего устройства с учетом желаемых корней САУ. Редуцированный наблюдатель и его математическое описание. Структурная схема редуцированного наблюдающего устройства и ее преобразование.

Рекомендуемая литература:

1. Артамонова Л.Г. Аэродинамика маневренных самолетов. (Особенности аэродинамического проектирования). МАИ, 1996. - 73 с.
2. Аэромеханика самолета / Под ред. Бочкарева А.Ф. – М.: Машиностроение, 1985, 358 с.
3. Бесекерский В.А., Попов Е. П. Теория систем автоматического управления. М.: Наука, 1975
4. Бондарев Е.Н. Аэрогидромеханика. Машиностроение, 1993. - 608 с.
5. Бюшгенс Г.С., Студнев Р.В. Аэродинамика самолета. Динамика продольного и бокового движения. М.: Машиностроение, 1979, 349 с.
6. Голубев А.Г. Аэродинамика. МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2010. - 687 с.
7. Гуськов Ю.П. Лекции по системам автоматического управления и навигации самолетов.– М.: МАИ, 1974, 117 с
8. Гуськов Ю.П., Загайнов Г.И. Управление полетом самолетов. – М.: Машиностроение, 1980, 212 с.
9. Ефремов А.В., Захарченко В.Ф., Овчаренко В.Н.и др. под. ред. Бюшгенса Г.С. Динамика полета. – М.: Машиностроение, 2011, 776 с.
10. Краснов Н.Ф. Аэродинамика. ЛИБРОКОМ, 2010. - 496 с.
11. Остославский И.В., Стражева И.В. Динамика полета. Траектории летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1969, 463 с.
12. Пашковский И.М. Устойчивость и управляемость самолета. – М.: Машиностроение, 1975, 328 с.
13. Радциг А.Н. Экспериментальная гидроаэромеханика. МАИ, 2004. - 294 с.
14. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.1. Линейные системы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 288 с.
15. Горбатенко С.А. Расчет и анализ траекторий наведения крылатых ЛА. - М.:МАИ 1996.
16. Иванов Н.М., Лысенко Л.Н. Баллистика и навигация КА. – М.: Дрофа, 2004. – 544с.

17. Лебедев А.А., Чернобровкин Л.С. Динамика полета беспилотных летательных аппаратов. - М.: Машгиз., 1973.
18. Лысенко Л.Н. Наведение и навигация БР: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2007. – 672 с.
19. Моисеев Д.В., Пакшин П.В. Модальный синтез линейных регуляторов: Тексты лекций. – М.: Изд-во МАИ, 1995. – 44с.
20. Моисеев Д.В., Пакшин П.В. Модальный синтез линейных регуляторов при неполной информации о векторе состояния: Тексты лекций. – М.: Изд-во МАИ, 1995. – 36с.
21. Остославский И.В., Стражева И.В. Динамика полета. Траектории летательных аппаратов. - М: Машгиз., 1969.
22. Остославский И.В., Стражева И.В. Динамика полета. Устойчивость и управляемость летательных аппаратов. - М: Машгиз., 1965.
23. Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1988.