

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина»
(АО «НПО Лавочкина»)

Рекомендована к утверждению
Решением Научно-технического совета
Протокол № 02-22 от «25» марта 2022 г.

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

научной специальности

2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов

образовательная программа высшего образования –
программа подготовки научных и научно-педагогических кадров в
аспирантуре

Программа вступительного испытания сформирована на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования.

Форма проведения испытания:

Вступительное испытание по специальной дисциплине для поступления на обучение по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре проводится в виде собеседования с обязательным оформлением ответов на вопросы билета в письменном виде. Собеседование проводится с целью выявления у абитуриента объема научных знаний, научно-исследовательских компетенций, навыков системного и критического мышления, необходимых для обучения в аспирантуре. Абитуриент должен показать профессиональное владение теорией и практикой в предметной области, продемонстрировать умение вести научную дискуссию.

Структура испытания:

Испытание состоит из ответов на вопросы билета и дополнительные вопросы в рамках программы вступительного испытания.

Критерии оценки результатов испытания:

Оценка «отлично» ставится при следующем условии:

даны исчерпывающие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией.

Оценка «хорошо» ставится при следующих условиях:

- 1) даны полные, достаточно глубокие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией;
- 2) ответы на вопросы даются полно, но логическая последовательность не всегда соблюдается.

Оценка «удовлетворительно» ставится при следующих условиях:

- 1) даны в основном правильные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией;
- 2) ответы на вопросы даются в основном полно, но при слабом логическом оформлении высказываний.

Оценка «неудовлетворительно» ставится в случае, когда не выполнены условия, позволяющие поставить оценку «удовлетворительно».

Решения экзаменационной комиссии принимаются большинством голосов.

1. Динамика полета в атмосфере

Системы координат, применяемые в механике полета. Углы, используемые для определения положения ЛА. Координатные преобразования.

Модели движения, фигуры (формы) гравитационного поля Земли. Атмосфера Земли и ее модели.

Активные силы и моменты, действующие на ЛА в полете.

Полет ЛА как управляемое движение. Цели и задачи управления. Управляющие силы и моменты. Способы создания управляющих воздействий; динамические схемы ЛА. Органы управления.

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).

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 траекторией СК. Связь с уравнениями систем наведения и стабилизации.

Идеальные связи как методы наведения. Классификация и сравнительный обзор методов наведения, основные особенности соответствующих им траекторий.

Разделение пространственного движения ЛА на продольное и боковое. Составление моделей движения центра масс ЛА.

Динамические уравнения движения центра масс ЛА в частных случаях.

Понятие об устойчивости, управляемости и маневренности. Перегрузка ЛА. Зависимость перегрузки от режима полета, от углов атаки, скольжения и отклонения рулей. Перегрузки потребные и располагаемые. Задача ограничения перегрузок.

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 в отклонениях и динамические коэффициенты. Методы и приемы исследования уравнений и расчета динамических коэффициентов.

Уравнения продольного возмущенного движения ЛА; их преобразование и упрощения. Динамические коэффициенты и их анализ.

Исследование свободного возмущенного движения. Характеристическое уравнение и его корни. Получение и анализ структуры движения. Постановка и решение задачи об устойчивости, использование критериев устойчивости. Поведение ЛА в переходных процессах.

Разделение свободного движения на два этапа. Физические причины такого разделения. Упрощения характеристического многочлена и уравнений движения. Упрощенные условия устойчивости ЛА в свободном движении и характер свободного движения.

Переходные процессы в ЛА при скачкообразных воздействиях. Передаточные коэффициенты ЛА.

Частотные характеристики ЛА. Примеры и их анализ. 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. Динамические коэффициенты и их анализ. Свободное возмущенное движение. Характеристическое уравнение и его корни. Получение и анализ структуры движений. 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.

2. Наведение и навигация ЛА

Системы координат. Модель гравитационного поля Земли. Кажущаяся скорость и ускорение. Измерение кажущихся параметров. Алгоритмы формирования истинных параметров движения. Методические и инструментальные погрешности инерциальных систем навигации с ГСП. Способы начальной выставки системы.

Варианты технической реализации бесплатформенной инерциальной системы наведения (БИСН). Кинематические уравнения. Матрица направляющих косинусов. Структура алгоритма решения навигационной задачи БИСН. Получение избыточной информации. Методические и инструментальные погрешности. Способы повышения точности статистической обработкой информации. Способы начальной выставки БИСН.

Методы и системы функционального наведения. Понятие функционального наведения. Понятие конечных условий и гиперповерхности конечных условий наведения. Аппроксимация гиперповерхностей. Гиперповерхности продольной и боковой дальности, линия их пересечения. Процедура реализации метода функционального наведения. Линейные функционалы управления дальностью и боковым отклонением. Особенности управления дальностью и боковым отклонением ракет с жидкостно-ракетными и твердотопливными двигателями. Наведение по «жестким» и «гибким» траекториям. Структура алгоритмов при функциональном наведении. Навигация РН при функциональном методе наведения.

Понятие терминальных методов наведения. Классификация терминальных методов наведения. Наведение по методу требуемой скорости на левом конце и требуемой скорости на правом конце траектории выведения. Наведение по методу требуемого ускорения. Структура алгоритмов терминального метода наведения. Схема реализации терминальных методов. Особенности наведения на начальном участке траектории, комплексирование терминального наведения с наведением по «гибким» траекториям.

Задачи наведения различных типов крылатых ракет. Классификация методов наведения. Кинематические уравнения относительного движения ЛА и цели. Методы постоянного упреждения, параллельного и пропорционального сближения и др. Системы управления, реализующие методы наведения: системы командного телеуправления, система лучевого наведения, системы самонаведения. Оценка промаха.

3. Механика космического полета

Модель поля притяжения. Ньютоновский потенциал. Формирование и постановка задачи двух тел. Понятие о грависферах. Сфера притяжения, сфера действия, сфера влияния. Силовая функция.

Управление движения КА 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 КА по эллиптическим орбитам. Истинная и эксцентрическая аномалия. Уравнение Кеплера и пути его решения.

Движение КА по круговым орбитам. Круговая скорость. Местная круговая скорость. Первая космическая скорость. Трасса КА (ИСЗ); ее построение и прогнозирование. Суточные или синхронные ИСЗ. Спутники экваториальные и полярные. Геостационарные спутники.

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

Определение положения КА по известным элементам его орбиты. Нахождение элементов орбиты по нескольким положениям КА. Задача Ламберта.

Общие характеристики маневров, выполняемых под действием импульсной тяги (тангенциальной, нормальной и бинормальной). Условия минимизации импульсного изменения скорости.

Основные виды импульсных орбитальных переходов. Импульсные переходы между круговыми компланарными орбитами. Полуэллипсы Гомана. Перелеты между круговыми и эллиптическими орбитами.

Некомпланарные перелеты. Повороты плоскости орбиты. Сравнительная оценка потребных энергетических затрат.

Маневры сближения КА 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.

Задача n-тел и методы ее решения. Ограниченная задача трех тел. Общая характеристика возмущений и возмущенного движения. Метод оскулирующих элементов. Составление уравнений движения КЛА в

оскулирующих элементах. Эволюция движения. Применение приближенных аналитических методов. Оценка изменений оскулирующих элементов за один виток.

Действие возмущений, вызываемых нецентральной 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. Понятие о солнечно-синхронных и геосинхронных орбитах.

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

Спуск КА с орбиты искусственного спутника Земли. Общая схема спуска с использованием аэродинамического торможения. Внеатмосферный участок спуска. Участок основного аэродинамического торможения. Участок мягкой посадки. Скользящий и планирующий спуск. Понятие о коридоре входа. Особенности спуска КА в атмосферах планет.

Анализ моментов сил, действующих на КА. Используемые системы координат. Моменты, действующие на КА 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 КА (ИСЗ) в ньютоновском поле сил. Уравнения движения и положения равновесия. Плоские колебания ИСЗ на круговой и эллиптической орбите. Эксцентриситетные колебания. Системы гравитационной стабилизации ИСЗ.

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 КА. Управление угловым движением КА с помощью: реактивных двигателей, двигателей-маховиков, гироскопического стабилизатора, магнитопривода.

Литература:

- 1) Остославский И.В., Стражева И.В. Динамика полета. Траектории летательных аппаратов. - М: Машгиз., 1969.
- 2) Остославский И.В., Стражева И.В. Динамика полета. Устойчивость и управляемость летательных аппаратов. -М: Машгиз., 1965.

- 3) Лебедев А.А., Чернобровкин Л.С. Динамика полета беспилотных летательных аппаратов. - М.: Машгиз., 1973.
- 4) Механика космического полета. Под ред. акад. Мишина В.П. – М.: Машиностроение, 1989.
- 5) Разоренов Г.Н., Бахрамнов Э.А., Титов Ю.Ф. Системы управления летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 2003.
- 6) Баллистика и навигация ракет: Учебник для втузов / А.А. Дмитриевский. Н.М. Иванов. Л.Н. Лысенко и др. М.: Машиностроение. 1985.
- 7) Иванов Н.М., Лысенко Л.Н., Дмитриевский А.А. Баллистика и навигация космических аппаратов: Учебник для втузов. М: Машиностроение. 1986.