

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

Рекомендована к утверждению
Решением Научно-технического
совета

Протокол № 3-20 от 11.06.2020

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

Направление подготовки

24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника

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

направленность (профиль) Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов

направленность (профиль) Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов

направленность (профиль) Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов

Химки, 2020

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

Форма проведения испытания:

Вступительное испытание по направлению подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника» 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.

Вопросы для подготовки к вступительному испытанию

Направление:

24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника»

направленность (профиль) «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов»

1. Проектирование летательных аппаратов

Летательный аппарат как объект проектирования, структура, состав, функции. Принципы системного подхода при проектировании, условия существования и развития. Определение и задачи проектирования. Жизненный цикл изделий, стадии разработки и создания ЛА.

Обобщенная исходная модель ЛА как многоступенчатого аппарата. Проектные параметры. Обобщенные управляющие функции. Обобщенная математическая весогабаритная модель ЛА. Математическая модель режимов движения ЛА.

Особенности боевого применения ЛА. Информационное обеспечение авиационно-ракетных комплексов. Комплекс ЛА - основная структурная единица. Отличительные особенности современных ЛА. Новое поколение ЛА - интеллектуальное высокоточное оружие. Новые условия боевых операций ЛА.

Общие и частные критерии оценки проектно-конструкторских решений. Содержание и методы разработки технического задания на проект ЛА. Проектное моделирование, весовой и баллистический анализ ЛА, модели оценки эффективности и затрат на создание. Выбор основных проектных параметров. Общий подход к оптимизации проектных параметров ЛА (проектных решений): задача, критерии, модели, математическая формулировка постановок задач проектирования, методы оптимизации. Особенности проектно - конструкторских задач - многокритериальный, многопараметрический, динамический, стохастический характер, основные методы поиска решений. Алгоритм решения проектных задач. Три составляющих процесса проектирования: изобретательство, инженерный анализ, принятие решений.

Конструктивно-компоновочная схема (ККС). Уравнения существования и функционирования ЛА. Тройственность процесса компоновки: аэродинамическая, объемно-массовая и конструктивно-силовая компоновка. Компоновка и центровка ЛА. Компоновочные чертежи, общие виды, теоретические чертежи, требования к ним.

Основные абсолютные и относительные параметры ЛА. Связи между характеристиками и параметрами ЛА. Влияние параметров ЛА на его летно-технические и технико - экономические характеристики. Анализ влияния основных проектных параметров ЛА на дальность полета, начальную массу, массу полезной нагрузки. Выбор расчетных случаев и условий для

проектирования ЛА, ограничения по числу М, скоростному напору, расчетной перегрузке и др. Выбор типовых траекторий полета ЛА.

Аэродинамика ЛА. Физические свойства воздуха. Воздушный поток и его свойства. Уравнения установившегося движения. Особенности сверхзвукового обтекания. Аэродинамические силы: подъемная и боковая силы, сила сопротивления. Поляра летательного аппарата. Аэродинамические моменты: моменты тангажа, рыскания и крена. Продольная балансировка и статическая устойчивость ЛА.

Задачи проектирования систем управления, стабилизации и наведения ЛА. Важнейшие характеристики управляемости и их связи с параметрами ЛА. Возмущающие факторы. Методы и реализация органов управления. Проектирование несущих поверхностей. Проектирование органов управления ЛА.

Управление летательными аппаратами. Физические основы управления. Уравнения движения ЛА. Формирование команды управления. Методы и траектории теленаведения. Контур управления при теленаведении. Контур управления при самонаведении. Формирование управляющих воздействий. Способы создания управляющих воздействий. Передаточные функции жесткого БЛА. Бортовая система стабилизации. Обоснование структуры и выбор основных параметров системы стабилизации при аэродинамическом способе управления. Влияние упругости конструкции на работу системы стабилизации. Передаточные функции упругого ЛА. Выбор способов обеспечения устойчивости контура стабилизации упругого ЛА. Особенности проектирования системы стабилизации поперечного движения ЛА (по тангажу, курсу) при сочетании аэродинамического и газодинамического способов создания сил и моментов.

Литература:

- 1) Аппазов Р.Ф., Лавров С.С., Мишин В.П. Баллистика управляемых ракет дальнего действия. Наука, 1966.
- 2) Беспилотные летательные аппараты. Основы устройства и функционирования / Под ред. И.С. Голубева и И.К. Туркина. 3-е изд.- М.: МАИ, 2010.
- 3) Новиков В.Н. Введение в ракетно-космическую технику. - М.: Изд-во МАИ. 2010.
- 4) Тарасов Е.В., Балык В.М. Методы проектирования двухсредных летательных аппаратов. Учебное пособие. М.: МАИ-ПРИНТ, 2008.
- 5) Голубев И.С., Самарин А.В. Проектирование конструкций летательных аппаратов: Учебник для студентов втузов,- М.: Машиностроение, 1991.
- 6) Гуцин В.Н. Проектирование искусственных спутников Земли. Тексты лекций. - М: МАИ, 1999, 56 с.
- 7) Гуцин В.Н. Управление разработками авиакосмических систем. Учеб, пособие. -М.: Изд-во МАИ, 1999.

- 8) Основы проектирования летательных аппаратов (транспортные системы). Учебник для технических вузов / В.П. Мишин, В.К. Безвербый, Б.М. Панкратов и др.; Под ред. В.П. Мишина. -М.: Машиностроение, 1985.
- 9) Основы конструирования ракет-носителей космических аппаратов: Учебник для студентов вузов/ Б.В. Грабин, О.И. Давыдов, В.И. Жихарев и др.; Под ред. В.П. Мишина, В.К. Карраска. М: Машиностроение, 1991.
- 10) Проектирование зенитных управляемых ракет / Под ред. И.С. Голубева и В.Г. Светлова: 2-е изд. - М.: Изд-во МАИ, 2001.
- 11) Щеверов Д.Н., Матвеев Ю.А. Проектирование и управление разработкой ЛА. М. 1993.
- 12) Матвеев Ю.А., Методы проектирования модификаций ЛА при разработке. -М.: 1992.
- 13) Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. М.: Горячая линия-Телеком, 2002.
- 14) Леоненков А.В. Нечёткое моделирование в среде MatLab и Fuzzi Tech. СПб.: Изд-во ВНУ, 2011.
- 15) Мизрохи В.А. Проектирование управления зенитных ракет. Учебно-научное издание. -М.: Изд-во ООО «Экслибрис-Пресс», 2010.
- 16) Системы оборудования летательных аппаратов. Учебник. / Под ред. А.М. Матвеевко и В.И. Бекасова. -М.: Машиностроение, 1995.

2. Конструкция летательных аппаратов и их агрегатов

Принципы конструирования ЛА. Эволюция компоновок конструкций ЛА. Фактор преемственности конструкций. Прогнозирование развития конструкций. Методы формирования конструктивно-силовой схемы. Критерии качества и факторы, его определяющие. Конструкционные способы обеспечения качества: прочность конструкции, устойчивость, герметичность, долговечность, надежность.

Нормы прочности. Коэффициент безопасности. Нормы прочности для различных случаев нагружения.

Системный подход при проектировании агрегата. Основные положения системного подхода. Учет целостности системы. Исследование специфических связей элементов. Критерии эффективности. Связи подсистем в зависимости от числа составляющих. Прямые и опосредованные связи. Требования к агрегату, определяемые взаимодействием с другими элементами бортовой системы. Требования более высоких уровней структуры двухсредных ЛА. Требования к конструкции при эксплуатации в одной среде. Особенности конструкции агрегатов, предназначенных для работы в одной среде, в двух средах, герметичность, повышенная жёсткость и коррозионная стойкость.

Теоретические и методологические основы инженерного проектирования ЛА. Смысловое содержание инженерного проектирования. Разработка технического задания. Формирование концепции проекта.

Инженерный анализ альтернативных вариантов обликов изделий. Задачи принятия решения. Сущность и содержание эффективности технических систем. Целевая эффективность ЛА. Вероятность выполнения целевой задачи. Надежность ЛА. Проектная эффективность ЛА. Обобщенные свойства ЛА и их взаимосвязь. Содержание и показатели проектной эффективности. Общая характеристика стоимостных показателей ЛА. Себестоимость продукции. Цена продукции. Определение стоимостных показателей. Критериальный анализ проектных решений. Частные критерии анализа: технический уровень ЛА; начальная масса БЛА; средние затраты на выполнение целевой задачи. Системный анализ проектных вариантов БЛА: Разработка типовой операции; моделирование операции; анализ результатов.

Задачи обликового проектирования ЛА. Общая характеристика задач инженерного проектирования ЛА. Применение системного подхода к проектированию ЛА в составе большой технической системы. Стадии обликового проектирования и решаемые на них задачи Схемы ЛА и их анализ. Выбор схемы ЛА. Аэродинамические схемы. Газодинамические схемы и устройства. Комбинированные (аэрогазодинамические) схемы и устройства. Динамические свойства схем ЛА. Выбор схемы ЛА. Выбор типа двигательной установки. Увязка облика ЛА с бортовой системой управления. Предварительная оценка массово-геометрических параметров БЛА и его бортового оборудования. Баллистическое проектирование БЛА. Уточнение структуры, выбор параметров системы управления, оценка эффективности БЛА. САПР - инструмент проектанта.

Проектирование конструкций ЛА. Общая характеристика конструкций ЛА и процессов функционирования ЛА. Внутренние функции планера. Внешние функции планера. Силы и перегрузки, действующие на ЛА. Коэффициент безопасности. Характеристики теплового воздействия на ЛА. Динамика конструкций. Общая характеристика динамических процессов. Общая характеристика задач проектирования конструкций ЛА. Этапы проектирования конструкций ЛА. Понятие структуры конструкции. Конструктивно-силовая схема. Конструктивно-технологическое решение. Критерии в задачах проектирования. Критерий минимум массы - основной критерий. Частные критерии, используемые в задачах проектирования конструкций ЛА. Обеспечение минимальной массы конструкции. Технологичность конструкций в производстве и эксплуатации. Основные показатели и способы обеспечения технологичности. Прямые и обратные задачи проектирования конструкций ЛА.

Инженерные методы проектирования конструкций ЛА. Проектирование конструкций двигательных установок ЛА. Газодинамическое проектирование РДТТ. Выбор типа твердотопливного

заряда. Выбор рабочего давления в камере сгорания. Определение параметров камеры сгорания, твердотопливного заряда и соплового блока. Проектирование корпуса РДТТ. Выбор расчетных условий. Проектирование обечайки и днищ (конструкции, в том числе из композиционных материалов.

и теплозащитного покрытия). Схемы газодинамических органов управления вектором тяги.

Проектирование конструкций двигательных установок с ЖРД. Выбор проектных параметров двигательных установок с ЖРД: давление в камере сгорания; давления наддува топливных баков; типа системы подачи топлива, способа изменения вектора тяги. Конструкция камеры ЖРД и определение ее основных параметров. Компоновочная и конструктивно-силовая схема баков; определение основных параметров силовой конструкции баков: обечайки и днищ.

Проектирование конструкций корпусов ЛА. Нагрузки, действующие на корпус ЛА. Требования к конструкции корпуса. Элементы силовой конструкции корпуса: обшивка, стрингеры, лонжероны, шпангоуты - функции и типовые сечения. Анализ конструктивно-силовых схем корпусов. Лонжеронный корпус. Стрингерный корпус. Бесстрингерные корпуса с однослойной и многослойной обшивкой. Ферменные и рамные конструкции. Конструктивно-технологические решения корпусов ЛА. Материалы корпусов. Фрезерованные, штампованные и литые отсеки корпуса. Отсеки вафельного типа. Гофрированные обшивки. Трехслойные обшивки с наполнителем. Клепаные, клееклепаные, сварные соединения элементов корпуса. Конструкции ЛА из композиционных материалов. Определение основных конструктивных параметров балочного корпуса. Гладкая оболочка монококового (бесстрингерного) отсека корпуса. Подкрепленная оболочка полумонококового (стрингерного) отсека корпуса.

Герметичные конструкции. Определение герметичности. Назначение герметичных конструкций в составе ЛА. Контур герметичности агрегата (системы).

Проектирование конструкций несущих поверхностей. Конструктивные схемы крыльев. Лонжеронная схема. Кессонная схема. Моноблочная схема. Функции элементов силовой конструкции крыла: обшивка, стрингеры, лонжероны, нервюры. Узлы крепления крыла к корпусу ЛА. Особенности конструктивных схем стреловидных и треугольных крыльев: крылья с переломом осей продольных силовых элементов у борта корпуса и крылья с внутренней подкосной балкой. Определение основных конструктивных параметров сечения крыла. Расчет параметров сечения кессонного (моноблочного) крыла. Расчет параметров сечения лонжеронного крыла. Особенности проектирования конструкций оперения ЛА. Типы оперения. Конструкции оперения. Определение основных параметров и характеристик оперения. Анализ и выбор

конструктивно-силовой схемы оперения и рулей. Конструкции складных несущих поверхностей.

Особенности совместного проектирования конструкции и системы управления ЛА. Физическая модель взаимодействия упругого ЛА и САУ в полете. Математические модели аэроупругих колебаний ЛА. Определение передаточных функций упругого ЛА. Анализ устойчивости контура «упругий ЛА - система стабилизации» с использованием частотного критерия. Анализ мероприятий, направленных на повышение запасов устойчивости. Мероприятия, связанные с изменением характеристик конструкции, параметров и характеристик системы стабилизации.

Требования, предъявляемые к энергетическим системам. Основные типы источников питания на борту ЛА. Гидравлические и газовые системы и их агрегаты, основные характеристики. Влияние вида и интенсивности действующих нагрузок на конструкцию ЛА. Массовые и жесткостные характеристики авиационных конструкции, работа силовых элементов и выбор силовых схем. Обеспечение прочности и жесткости авиационных конструкций. Учет явлений аэротермоупругости при проектировании. Массовая и экономическая оценка, конструктивно-проектировочных решений. Нагрев ЛА в полете и методы теплозащиты. Массовые эквиваленты различных характеристик ЛА и условия оптимальности конструктивно-проектировочных решений. Экономические характеристики авиационных конструкции. Характеристики и выбор органов управления ЛА. Требования к двигательной установке. Типы и характеристики двигателей ЛА. Установка двигателей на ЛА. Входные и выходные устройства двигателей. Топливные системы. Топливные отсеки в конструкции корпуса. Защита топлива от кинетического нагрева. Повторяемость нагрузок в полете и при движении ЛА по земле. Изменение состояния конструкции в условиях эксплуатации. Основы определения усталостного ресурса конструкции и анализ факторов, влияющих на усталостный ресурс. Пути повышения усталостной прочности конструкции. Прогнозирование, нормирование и обеспечение надежности, живучести и безопасности ЛА. Резервирование в системах управления. Обеспечение надежности энергетических систем в эксплуатации.

Литература:

- 1) Беспилотные летательные аппараты. Основы устройства и функционирования / Под ред. И.С. Голубева и И.К. Туркина. 3-е изд.- М.: МАИ, 2010.
- 2) Голубев И.С., Самарин А.В. Проектирование конструкций летательных аппаратов-М.: Машиностроение, 1991.
- 3) Патрушев В.И. Конструирование технических объектов. Учебное пособие.- М.:Изд-во МАИ, 1993.

4) Ильичев А.В., Волков В.Д., Грушанский В.А. Эффективность проектируемых элементов сложных систем. Учебное пособие. М.: Наука, 1989.

Основы устройства, проектирования, конструирования и производства летательных аппаратов (дистанционно-пилотируемые летательные аппараты) / Под ред. И.С. Голубева и Ю.И. Янкевича. - М.: Изд-во МАИ, 2006.

5) Парафесь С.Г., Сафронов В.С., Туркин И.К. Задачи оптимального проектирования беспилотных летательных аппаратов. Учебное пособие. - М.: Изд-во МАИ, 2002.

6) Парафесь С.Г., Туркин И.К. Методы и средства динамических испытаний конструкций летательных аппаратов. Учебное пособие. - М.: Изд-во МАИ, 2002.

7) Чернобровкин Л.С. Общие вопросы проектирования и выбор схемы летательного аппарата. Учебное пособие. - М.: Изд-во МАИ, 1987.

8) Чернобровкин Л.С. Аэродинамическая компоновка летательного аппарата. Баллистическое проектирование. Учебное пособие. - М.: Изд-во МАИ, 1988.

9) Петраш В.Я., Коваленко А.И. Расчет параметров и характеристик летательных аппаратов с устройствами газодинамического управления. Учебное пособие. - М.: Изд-во МАИ, 2003.

3. Энергосиловые системы

Типы и состав двигательных установок (ДУ), выбор параметров ДУ, соответствующих проектируемому ЛА. Выбор и согласование характеристик ЛА и двигательной установки.

Двигательные установки БЛА. Классификация двигательных установок БЛА. Основные параметры двигательных установок.

Ракетные двигатели твердого топлива. Особенности устройства и применения. Твердые ракетные топлива. Основные параметры РДТТ. Однорежимные РДТТ, двухрежимные РДТТ. РДТТ многократного включения.

Жидкостные ракетные двигатели. Устройство жидкостных ракетных двигательных установок (ЖРДУ). Перспективные ЖРДУ.

Воздушно-реактивные двигатели. Прямоточные воздушно-реактивные двигатели. Ракетно-прямоточные двигатели. Турбореактивные двигатели.

Поршневые двигатели. Особенности поршневых двигателей. Воздушные винты.

Выбор ДУ на воздушном участке траектории. Возможные схемы, основные параметры. Особенности ВРД одноразового применения. Выбор основных параметров, обеспечивающих повышенную эффективность. Комбинированные установки. Ракетно-прямоточные двигатели, и их

характеристики. Выбор двигательной установки для подводного участка траектории. Основные схемы: ракетные, водометные, прямоточные. Выбор основных параметров. Характеристики лопастных систем. Энергосиловые системы для глубоководных аппаратов. Увязка энергосиловой системы с аппаратом. Компоновка энергосиловой системы. Гидродинамическое согласование подсистем ЛА.

Литература:

- 1) Дубенец С.А., Кузин А.И. Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов. - М: Изд-во МАИ, 2008.
- 2) Кулагин В.В. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. - М. Машиностроение, 2002.
- 3) Попов В.В. Энергосиловые системы двухсредных аппаратов. - М.: Изд-во МАИ, 1979.
- 4) Теория и расчет воздушно-реактивных двигателей. / Под ред. СИ. Шляхтенко. 2 изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1987.

4. Технология производства летательных аппаратов

Основные определения, особенности производства ЛА. Понятие о технологии производства ЛА, как науки. Характеристика типов производства, виды производства (заготовительное, формообразование, сборочное, контроль качества продукции). Особенности производства ЛА. перспективы развития.

Качество продукции и технологические методы его обеспечения, показатели качества, методы оценки качества. Основные мероприятия по обеспечению качества продукции: при проектировании изделий, в период технологической подготовки производства и серийного изготовления изделий. Понятие технологичности конструкции. Задача проектирования технологии изготовления. Экономическая оценка технологических процессов. Критерии выбора вариантов технологического процесса. Пути повышения производительности труда и снижения себестоимости продукции. Общие понятия о технологической подготовке производства.

Основные функции и этапы технологической подготовки производства, связь с конструкторской подготовкой производства. Формы организации, перспективы совершенствования. Комплексная оптимизация конструкторско - технологических решений.

Технические средства увязки зависимого производства: плазово-шаблонный, эталонно-шаблонный и метод объёмной увязки. Их сравнительная характеристика, область применения, тенденции дальнейшего развития.

Технологические процессы изготовления конструкций из композиционных материалов (КМ). Оборудование и оснастка. Техника

безопасности. Процессы испытаний узлов, агрегатов и ЛА в целом. Виды и основные задачи испытаний (ГОСТ 16504-81): приемо-сдаточные (ПСИ), конструкторско-доводочные (КДИ), контрольно-выборочные (КВИ), периодические (ПИ). Классификация и общая характеристика испытаний по воздействующим факторам. Испытания на линейные перегрузки, вибродинамические, термовакуумные, климатические. Характеристика процессов пневмо- и гидроиспытаний. Процессы и средства испытаний конструкций на герметичность. Понятие герметичности, контрольного и пробного вещества, детектора течеискания, чувствительности испытаний, способы оценки степени негерметичности. Общая характеристика применяемых методов и способов испытаний, и область их применения. Виды испытаний ЛА и его систем в процессе ГС. Определение геометрических параметров ЛА и его агрегатов. Юстировка посадочных мест под установку приборов. Определение положения вектора тяги двигательной установки. Определение положения центра масс, статическая и динамическая балансировка КА.

Литература:

- 1) Зернов И.А. Сборочные и монтажные работы в производстве космических аппаратов-М.: Машиностроение, 1992.
- 2) Милованов А.П., Малинкина Т. Н. Композиционные материалы и технология изготовления деталей ЛА: Учебное пособие - М.: МАИ, 1990.
- 3) Технология сборки и испытаний космических аппаратов: Учебник для вузов. /Под общ. ред. И.Т. Белякова и И.А. Зернова - М.: Машиностроение, 1990.
- 4) Беляков И.Т., Борисов Ю.Д. Технологические проблемы проектирования летательных аппаратов - М.: Машиностроение 1978.
- 5) Колесов И.М. Основы технологии машиностроения, Москва, Высшая школа, 2001.
- 6) Цыплаков О.Г. Конструирование изделий из композиционных волокнистых материалов. -М/. Машиностроение, 1984.

5. Управление разработкой и автоматизация проектирования и конструирования

Многоуровневое программно-целевое управление разработкой. Задачи макропроектирования. Постановка задачи оптимизации управления разработкой. Декомпозиция общей задачи. Виды неопределенности и их учет. Методы оптимизации решений с учетом компромиссного характера задачи, динамики и неопределенностей. Методы математического программирования. Основные понятия теории вероятности и математической статистики. Статистический метод многоуровневой

согласованной оптимизации проектных решений. Методики решения проектных задач с учетом риска и компромисса. Методика комплексной оптимизации конструкторско - технологических параметров изделий.

Пути формализации процесса проектирования, не формализуемые условия. Роль современных вычислительных средств. Математическая формулировка задач проектирования. Динамические методы оптимизации. Возможности машинной компоновки.

Принципы организации и структура систем автоматизированного проектирования и конструирования - САПР. Комплекс технических средств, математическое обеспечение, банки данных, пакеты прикладных программ. Роль человека в САПР.

Принципы разработки и структура пакетов прикладных программ. Модульный принцип построения функциональных блоков САПР. Управление процессами разработки проекта. Блок-схема некоторых типичных комплексных программ проектного анализа и синтеза ЛА и его подсистем.

Литература:

- 1) Щеверов Д.Н., Матвеев Ю.А. Проектирование и управление разработкой ЛА. М. 1993.
- 2) Коптев Ю.Н., Мишин В.П., Матвеев И.З.А. Задачи проектирования и управления развитием ЛА \ Уч. пособ. Под ред. О.М. Алифанова. М.: 1997.
- 3) Матвеев Ю.А. Методы проектирования модификаций ЛА при разработке. -М.: 1992.

направленность (профиль) «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

1. Теория упругости

Упругое деформирование твердых тел. Основные гипотезы теории упругости. Теория деформаций. Соотношения Коши. Уравнения совместности деформаций.

Теория напряжений. Дифференциальные уравнения равновесия. Статические граничные условия.

Обобщенный закон Гука. Свойства упругих постоянных. Потенциальная и дополнительная потенциальная энергия. Формулы Грина, Кастильяно и Клапейрона. Обобщенный закон Гука для изотропного, ортотропного и трансверсально-изотропного материалов.

Температурные задачи теории упругости. Уравнения термоупругости. Вариационные принципы и методы теории упругости. Принцип Лагранжа и принцип Кастильяно. Методы Ритца – Тимошенко, Бубнова – Галеркина и Канторовича – Власова.

2. Строительная механика

Механика стержневых упругих систем. Основные понятия и определения. Необходимый признак геометрической неизменяемости. Степень статической неопределимости. Статически определимые стержневые системы: определение внутренних сил в стержнях ферм, об определении внутренних сил в элементах рамнобалочных системах, дополнительная потенциальная энергия термоупругой стержневой системы, определение перемещений. Статически неопределимые стержневые системы: метод сил, определение перемещений, сущность метода перемещений.

Балочная теория цилиндрических оболочек. Исходные положения. Основные гипотезы Интегральные внутренние силы и их связь с обобщенными перемещениями. Статические соотношения для интегральных внутренних сил. Определение нормальных напряжений. Определение потоков касательных сил: открытая оболочка, однозамкнутая оболочка, многозамкнутая оболочка. Центр изгиба.

Цилиндрические стрингерные оболочки открытого профиля. Основные допущения. Уравнения равновесия в обобщенных силах и смещениях. Уравнения равновесия в главных координатах. Главная секториальная площадь и главный бимомент инерции. Определение нормальных напряжений и потоков касательных сил. Определение бимомента. Определение положения центра изгиба.

3. Теория колебаний

Система с одной степенью свободы. Свободные колебания. Вынужденные гармонические колебания. Резонанс. Реакция на действие произвольной возмущающей силы.

Система с конечным числом степеней свободы. Уравнения малых колебаний в обобщенных координатах. Собственные колебания. Условия ортогональности собственных форм. Уравнения в нормальных координатах. Учет демпфирования.

Система с распределенными параметрами. Составление уравнений колебаний. Приведение к системе с конечным числом степеней свободы. Методы сосредоточенных масс, Ритца, конечных элементов.

Поперечные колебания балки. Условия ортогональности собственных форм. Уравнения в нормальных координатах. Учет демпфирования. Применение методов Бубнова-Галеркина и метода Ритца. Учет сдвига и инерции вращения. Применение метода конечных элементов.

Колебания пластин и оболочек. Применение методов Ритца, Бубнова-Галеркина и конечных элементов.

4. Теория пластин и оболочек

Основы теории изгиба пластин при действии поперечных нагрузок. Гипотезы Кирхгофа Дифференциальное уравнение изгиба пластины в прямоугольной системе координат. Постановка краевых задач Термоупругие уравнения изгиба пластин.

Методы расчета прямоугольных в плане пластин: двойных, одинарных тригонометрических рядов, интеграла Фурье. Осесимметричная задача для круглой пластины.

Безмоментная теория оболочек. Осесимметричная задача для безмоментной оболочки вращения: дифференциальные уравнения равновесия, геометрические и физические соотношения. Уравнения Лапласа и зоны для определения напряжений. Определение напряженного состояния сферических, цилиндрических, тороидальных и конических оболочек при постоянном и гидростатическом давлении.

Общая моментная теория круговых цилиндрических оболочек. Исходные уравнения: дифференциальные уравнения равновесия, геометрические и физические соотношения. Пути решения исходных уравнений: приведение к системе восьми дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка или к трем дифференциальным уравнениям относительно перемещений. Разрешающее дифференциальное уравнение в частных производных восьмого порядка при действии нормальной, продольной и окружной внешних нагрузок.

5. Теория пластичности и ползучести

Пластическое деформирование твердых тел. Предел текучести. Упрочнение. Остаточные деформации. Идеальная пластичность. Физические механизмы пластического течения. Понятие о дислокациях. Локализация пластических деформаций.

Идеальное упругопластическое тело. Идеальное жесткопластическое тело. Пространство напряжений. Критерий текучести и поверхность текучести. Критерии Треска и Мизеса. Пространство главных напряжений. Геометрическая интерпретация условий текучести. Условие полной пластичности. Влияние среднего напряжения. Основные теории ползучести (старения, течения, упрочнения). Ползучесть при сложном напряженном состоянии. Циклическая ползучесть. Линейная и нелинейная вязкоупругость.

6. Механика разрушения

Физические и микромеханические особенности процессов накопления повреждений и разрушения. Феноменологический и микромеханический подходы механики накопления рассеянных повреждений. Законы суммирования повреждений. Применение механики накопления рассеянных

повреждений к расчетам на длительную прочность. Применение механики накопления рассеянных повреждений к определению ресурса деформативности. Применение механики накопления рассеянных повреждений к расчету на малоцикловую усталость.

Критерий квазихрупкого разрушения в теории трещин. Коэффициенты интенсивности напряжений. Трещиностойкость конструкционных материалов. Расчет на прочность элементов конструкций с трещиноподобными дефектами. Методы расчета долговечности, основанные на анализе развития трещин.

7. Численные методы расчетов динамики и прочности

Решение систем линейных уравнений. Системы линейных алгебраических уравнений в задачах механики. Метод Гаусса. Выбор ведущего элемента и точность решения. Разложение матриц на треугольные множители. Представление об итерационных методах.

Задачи механики и алгебраическая проблема собственных значений. Степенной метод. Использование сдвига для улучшения сходимости. Метод Якоби.

Численное решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Задача Коши. Метод Эйлера. Методы Рунге-Кутты. Представление о многошаговых методах.

Метод конечных разностей (МКР). Основные положения метода. Формулы конечно-разностных аппроксимаций производных. Применение МКР для решения одномерных краевых задач. Обобщение МКР на многомерный случай. Обсуждение достоинств и недостатков метода.

Конечные элементы сплошной среды (плоские элементы). Плоский треугольный элемент. Плоский прямоугольный элемент. Четырехугольный изопараметрический элемент. Плоские изопараметрические элементы высших порядков.

Конечные элементы сплошной среды (оболочечные и трехмерные). Трехмерные конечные элементы. Тонкостенные конечные элементы.

8. Прочность конструкций летательных аппаратов

Общие сведения о прочности конструкций летательных аппаратов, их типах и конструктивно-силовых схемах, о применяемых конструкционных материалов.

Внешние силы, действующие на летательные аппараты в процессе их эксплуатации. Нагружение конструкций летательных аппаратов в процессе эксплуатации. Внутренние силовые факторы в конструкции и методы их определения. Температурные режимы элементов конструкций летательных аппаратов.

Нормирование нагружения и прочности конструкций летательных аппаратов. Расчет нагружения летательных аппаратов на различных этапах эксплуатации. Прочностные расчеты корпусов летательных аппаратов различных типов. Прочностные расчеты крыльев и органов аэродинамической стабилизации самолетов. Прочностной расчет конструкций шасси самолета.

Экспериментальная проверка прочности конструкции летательных аппаратов.

9. Динамика упругих систем

Составление уравнений колебаний конструкций ЛА. Расчетные математические модели. Приведение к системе с конечным числом степеней свободы. Методы Ритца, МКЭ, сосредоточенных масс. Приведение системы к нормальным координатам.

Колебания осесимметричных тонкостенных конструкций типа корпуса ЛА.

Продольные колебания корпуса. Приведение к эквивалентному стержню. Применение метода отсеков. Отсеки в виде безмоментной и моментной оболочек вращения. Поперечные колебания корпуса. Влияние сдвига и инерции вращения. Отсеки в виде оболочек вращения при изгибе-сдвиге. Уравнения колебаний корпуса как системы отсеков оболочек. Условия сопряжения отсека со шпангоутом.

Изгибно-крутильные колебания тонкостенных конструкций типа крыла и фюзеляжа.

Расчетные модели. Метод Ритца. Метод отсеков с учетом депланаций и искривлений контура поперечных сечений. Колебания крыла малого удлинения как составной тонкостенной конструкции.

Колебания упругих баков жидкостью. Формулировка задачи. Вариационные принципы. Собственные колебания. Уравнения в обобщенных координатах. Баки в форме оболочек вращения. Вариационных методы расчета колебаний жидкости в баках. Поперечные колебания жидкости в подвижной недеформируемой полости вращения. Учет сжимаемости жидкости.

10. Механика композитов

Структура полимерных волокнистых композитов. Свойства полимерных композитных материалов. Физическая модель однонаправленного материала. Физическая модель многослойного композита. Многослойный композит с общей анизотропией свойств, ортотропный композит. Нитяная модель материала.

Особенности и виды разрушения волокнистых композитов. Критерии прочности композиционных материалов.

Литература:

- 1) Анизотропные панели – плоская задача / А.А.Дудченко, А.Н. Елпатьевский, С.А. Лурье, В.В. Фирсанов - М.: Изд-во МАИ, 1991. 96 с.
- 2) Авдонин А.С., Фигуровский В.И. Расчет на прочность летательных аппаратов. Учебник для вузов. -М.: Машиностроение. 1985.440 с.
- 3) Волчков О.Д. Прочность ракет-носителей Часть I. - М.: Изд-во МАИ, 2007, 752 с.
- 4) Волчков О.Д. Прочность ракет-носителей Часть 2. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. 680 с.
- 5) Демидов С.П. Теория упругости. М.: Высшая школа. 1979, 432 с.
- 6) Дудченко А.А. Основы теории пластичности. М.: Изд-во МАИ. 1978. 72 с.
- 7) Дудченко А.А. Основы теории ползучести. М.: Изд-во МАИ, 1985. 36 с.
- 8) Мовчан А.А. Механика накопления рассеянных повреждений в элементах конструкций. -М.: МАИ, 1996. 64 с.
- 9) Морозов В.С. Численные методы решения прикладных задач строительной механики. - М.: МАИ, 1993. - 56с.
- 10) Образцов И.Ф. и др. Строительная механика летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1986. 536 с.
- 11) Образцов И.Ф., Савельев Л.М., Хазанов Х.С. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. - М.: Высшая школа, 1985. - 392с.
- 12) Победря Б.Е. Численные методы упругости и пластичности: М.: Изд-во МГУ, 1995. 366 с.
- 13) Рыбаков Л.С. Практикум по строительной механике ЛА. Плоская задача теории упругости. М.: Изд-во МАИ. 1991, 550 с.
- 14) Рыбаков Л.С. Введение в механику разрушения. - М.: МАИ, 1980. 81 с.
- 15) Тютюнников Н.П. Численные методы строительной механики. - М.: Изд-во МАИ, 2000.104 с.
- 16) Гришанина Т.В., Шклярчук Ф.Н. Колебания упругих систем. М.: Изд-во МАИ, 2013.100 с.
- 17) Шклярчук Ф.Н. Динамика конструкций летательных аппаратов. - М.: Изд-во МАИ, 1983 г. 80 с.

11. Характеристика околоземного космического пространства

Особенности внешних источников теплоты и основные задачи расчета. Физические характеристики околоземного космического пространства: давление и состав газа, электромагнитное излучение Солнца, корпускулярные потоки, микрометеорные потоки, собственное излучение Земли, отраженное от Земли солнечное излучение.

Математические модели внешнего теплообмена космического аппарата (КА). Модели излучения Солнца и планет для расчета внешнего теплового воздействия на КА. Расчет солнечного миделя поверхности КА. Расчет угловых коэффициентов для элементов поверхности КА.

Литература:

- 1) Малоземов В.В., Рожнов В.Ф., Правецкий В.Н. Системы жизнеобеспечения экипажей летательных аппаратов. Учебник. М.: Машиностроение, 1986.
- 2) Малоземов В.В. Тепловой режим космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1980.
- 3) Залетаев В.М., Капинос Ю.В., Сургучев О.Н. Расчет теплообмена космического аппарата. М.: Машиностроение, 1979.
- 4) Моделирование тепловых режимов космического аппарата и окружающей его среды / Под ред. Г.И. Петрова. М.: Машиностроение, 1971.

12. Подсистемы теплозащиты

Теплоограждающие подсистемы теплозащиты. Подсистемы на основе терморегулирующих покрытий. Подсистемы на основе экранно-вакуумной тепловой изоляции. Подсистемы на основе однородной теплоизоляции.

Теплорассеивающие подсистемы теплозащиты с конвективным охлаждением. Подсистемы с воздухонепроницаемой теплоизоляцией. Подсистемы с пористой теплоизоляцией. Нестационарный теплообмен в теплорассеивающей подсистеме теплозащиты с пористой теплоизоляцией.

Математическое моделирование и идентификация математических моделей процессов теплообмена. Математические модели подсистем теплозащиты ЛА. Методы и алгоритмы идентификации математических моделей сложного теплообмена. Оптимальное планирование тепловых экспериментов. Теплофизический эксперимент.

Рекомендуемая литература:

- 1) Алифанов О.М. Идентификация процессов теплообмена летательных аппаратов (введение в теорию обратных задач теплообмена). М.: Машиностроение, 1979.
- 2) Алифанов О.М., Артюхин Е.А., Ненарокомов А.В. Идентификация математических моделей сложного теплообмена. М.: Изд-во МАИ, 1999.
- 3) Алифанов О.М., Вабищевич П.Н., Михайлов В.В., др. Основы идентификации и проектирования тепловых процессов и систем. М.: Логос, 2001.

- 4) Малоземов В.В., Рожнов В.Ф., Правецкий В.Н. Системы жизнеобеспечения экипажей летательных аппаратов. Учебник. М.: Машиностроение, 1986.
- 5) Малоземов В.В. Тепловой режим космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1980.
- 6) Рожнов В.Ф. Основы теории инженерного эксперимента. М.: Изд-во МАИ, 2011.

13. Системы обеспечения теплового режима КА

Внутренние источники теплоты. Тепловой режим экипажа. Математические модели теплового режима экипажа. Выделение теплоты оборудованием.

Подсистемы терморегулирования. Конвективные подсистемы терморегулирования. Разомкнутые подсистемы с изменением агрегатного состояния хладагента. Замкнутые подсистемы с изменением агрегатного состояния хладагента. Анализ совместной работы замкнутой подсистемы терморегулирования и энергетической установки.

Подсистема поддержания влажности. Основные параметры влажного воздуха. Способы поддержания влажности. Математическая модель подсистемы поддержания влажности.

Подсистемы обеспечения вентиляции. Приточные вентиляционные струи. Способы подачи и удаления воздуха. Схемы вентиляции гермоотсеков.

Рекомендуемая литература:

- 1) Малоземов В.В., Рожнов В.Ф., Правецкий В.Н. Системы жизнеобеспечения экипажей летательных аппаратов. Учебник. М.: Машиностроение, 1986.
- 2) Малоземов В.В. Тепловой режим космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1980.
- 3) Залетаев В.М., Капинос Ю.В., Сургучев О.Н. Расчет теплообмена космического аппарата. М.: Машиностроение, 1979.
- 4) Малоземов В.В., Кудрявцева Н.С. Системы терморегулирования космических аппаратов М.: Машиностроение, 1995.
- 5) Малоземов В.В., Кудрявцева Н.С. Проектирование систем обеспечения теплового режима КА: Учебное пособие. М.: МАИ, 1995.
- 6) Малоземов В.В., Кудрявцева Н.С. Оптимизация систем терморегулирования космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1988.
- 7) Кудрявцева Н.С. Основы проектирования эффективных систем терморегулирования космических аппаратов, М.: Изд-во МАИ, 2012.

14. Проектирование систем терморегулирования КА

Методология проектирования систем терморегулирования (СТР) КА. Общая постановка задачи проектирования СТР. Особенности математического моделирования СТР. Идентификация в математическом моделировании и проектировании. Оптимизация в задаче проектирования.

Математическое моделирование агрегатов, элементов и СТР. Теплообменники. Радиаторы - излучатели. Трубопроводы. Гермокабина. Радиоэлектронное оборудование. Регуляторы. Математическое моделирование СТР на ЦВМ.

Оптимизация проектных параметров СТР. Критерии оптимизации. Методы оптимизации. Математическое моделирование агрегатов и СТР в задачах оптимального проектирования.

Автоматическое регулирование параметров СТР. Нелинейные автоматические системы терморегулирования. Определение параметров автоколебаний в системе терморегулирования методом припасовывания. Показатели качества процесса регулирования теплового режима. Пульсирующие режимы в СТР и способы их устранения. Оценка оптимальных параметров автоматической системы терморегулирования.

Литература:

- 1) Алифанов О.М. Идентификация процессов теплообмена летательных аппаратов (введение в теорию обратных задач теплообмена). М.: Машиностроение, 1979.
- 2) Алифанов О.М., Артюхин Е.А., Ненарокомов А.В. Идентификация математических моделей сложного теплообмена. М.: Изд-во МАИ, 1999.
- 3) Алифанов О.М., Вабищевич П.Н., Михайлов В.В., др. Основы идентификации и проектирования тепловых процессов и систем. М.: Логос, 2001.
- 4) Малоземов В.В., Рожнов В.Ф., Правецкий В.Н. Системы жизнеобеспечения экипажей летательных аппаратов. Учебник. М.: Машиностроение, 1986.
- 5) Малоземов В.В. Тепловой режим космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1980.
- 6) Залетаев В.М., Капинос Ю.В., Сургучев О.Н. Расчет теплообмена космического аппарата. М.: Машиностроение, 1979.
- 7) Малоземов В.В., Кудрявцева Н.С. Системы терморегулирования космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1995.
- 8) Малоземов В.В., Кудрявцева Н.С. Проектирование систем обеспечения теплового режима КА: Учебное пособие. М.: МАИ, 1995.
- 9) Малоземов В.В., Кудрявцева Н.С. Оптимизация систем терморегулирования космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1988.
- 10) Кудрявцева Н.С. Основы проектирования эффективных систем терморегулирования космических аппаратов, М.: Изд-во МАИ, 2012.

направленность (профиль) «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»

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 полущенных 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. Геоостационарные 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 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. 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.