



НПО ЭНЕРГОМАШ

ИМЕНИ АКАДЕМИКА В.П. ГЛУШКО

Акционерное общество
«НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко»

СОГЛАСОВАНО:

**Заместитель генерального
директора – Главный конструктор**

канд. техн. наук. П.С. Левочкин

« 26 » сентября 2018

УТВЕРЖДАЮ:

**Заместитель генерального
директора по персоналу и
социальной политике**

канд. экон. наук Н.А. Егоренкова

« 27 » сентября 2018

**ПРОГРАММА
вступительного экзамена
для поступающих в аспирантуру**

по специальной дисциплине

направление подготовки
24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника

Направленность программы
«Тепловые, электроракетные двигатели и энергетические установки
летательных аппаратов»

Программа вступительного испытания в аспирантуру по специальной дисциплине для направления подготовки 24.06.01 – Авиационная и ракетно-космическая техника.

Программа содержит характеристику основных тем названных разделов, список литературы, перечень вопросов, необходимые для подготовки к сдаче вступительного экзамена.

Программа рассмотрена и
рекомендована к утверждению

На заседании НТС

Протокол № 8/и от «13» сентября 2018г.

Председатель НТС АО «НПО Энергомаш» [подпись] /Левочкин П.С./

Программа одобрена:

Заведующий аспирантурой

[подпись] /Сорокина Е.В./

«17» сентября 2018г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Данная программа предназначена для поступающих в аспирантуру АО «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко» на заочную форму обучения.

Программа разработана в соответствии с государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования ступеней «Специалист» и «Магистр» и содержит требования к подготовке по специальным дисциплинам в объеме вузовского курса. Рабочая программа отвечает требованиям Приказа Министерства образования и науки РФ от 16 марта 2011 г. для следующих научных направлений: 24.06.01 – Авиационная и ракетно-космическая техника.

Программа включает основные разделы, знание которых является необходимым для поступления в аспирантуру и учебно-методические указания по подготовке к экзамену, отмечая наиболее важные аспекты дисциплин и наиболее часто встречающиеся ошибки, допускаемые на экзамене.

Цель программы – помочь экзаменуемым подготовиться к вступительным экзаменам в аспирантуру.

ОГЛАВЛЕНИЕ

I. ОРГАНИЗАЦИОННО–МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	5
II. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ	6
1. Теория ракетных двигателей.....	6
1.1. Общие вопросы теории ракетных двигателей.	6
1.2. Камера сгорания и газогенератор ЖРД.	6
1.3. Турбонасосный агрегат.....	7
1.4. Динамика и регулирование ЖРД.....	8
2. Проектирование и конструкция ЖРД.	9
2.1. Общие вопросы проектирования и конструирования.	9
2.2. Камера сгорания и газогенератор.	10
2.3. Турбонасосный агрегат.....	11
2.4. Агрегаты автоматики, регулирования и управления.	11
2.5. Информационно-измерительные и управляющие системы ЖРД.....	13
2.6. Динамика и прочность ДЛА.	13
2.7. Математическое моделирование рабочего процесса ЖРД.	15
2.8. Автоматизированное проектирование.	16
3. Технология производства энергосиловых установок летательных аппаратов.....	17
3.1. Теоретические основы проектирования технологических процессов.....	17
3.2. Методы формообразования и обработки поверхностей элементов конструкций.	18
3.3. Технологические методы повышения надежности.	20
3.4. Механизация и автоматизация производства.....	21
3.5. Технология сборки.	21
3.6. Испытания ЖРД.....	22
3.7. Технология производства мощных ЖРД.....	23
3.8. Функциональная диагностика ЖРД.....	26
3.9. Методы контроля конструкционных материалов, используемые в процессе изготовления, испытаний и эксплуатации ЖРД.....	27
III. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ВСТУПИТЕЛЬНОМУ ЭКЗАМЕНУ.	30
IV. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ.....	35
V. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ	36

I. ОРГАНИЗАЦИОННО–МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Поступающие в аспирантуру АО «НПО Энергомаш» сдают вступительный экзамен по специальной дисциплине в объеме программы курса для высших учебных заведений.

Программа вступительного экзамена в аспирантуру АО «НПО Энергомаш» составлена в соответствии с требованиями государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования ступеней «Специалист» и «Магистр» и содержит требования к подготовке в объеме вузовского курса. Рабочая программа отвечает требованиям Приказа Министерства образования и науки РФ от 16 марта 2011 г. для научного направления 24.06.01 – Авиационная и ракетно-космическая техника..

Данная программа отражает обязательный для каждого поступающего в аспирантуру, единый минимум требований к уровню подготовки в области теории, расчета и проектирования РД.

На экзамене комиссией могут быть заданы дополнительные или уточняющие вопросы. Оценки объявляются по окончании экзамена для всей группы. Экзамены принимает комиссия методом собеседования. После ответа экзаменуемые сдают свои черновые записи и билеты председателю комиссии. Записи должны быть подписаны с указанием числа сдачи экзамена. Все записи экзаменуемые ведут на листах бумаги, выдаваемых комиссией на экзамене. В помещении, где проводятся вступительные экзамены, одновременно находятся не более десяти экзаменуемых.

На подготовку к ответу сдающим предоставляется не более 60-ти минут. При подготовке к ответу разрешается пользоваться только программой, выдаваемой комиссией. Продолжительность экзаменационного собеседования с каждым экзаменуемым не более 30-минут.

Комиссия оценивает выполнение каждого задания отдельно, затем после обсуждения выставляется итоговая оценка по результатам всех трех разделов экзамена.

Апелляцию рассматривает как правило, в тот же, день специально создаваемая Генеральным директором (заместителем Генерального директора по персоналу и социальной политике) группа (комиссия). Во время апелляции поступающий не может вносить в свой «состоявшийся ответ» (записи, сделанные в ходе подготовки к экзамену) никаких дополнений или изменений. Члены апелляционной комиссии анализируют исключительно так называемый «лист устного ответа» поступающего.

II. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

1. Теория ракетных двигателей

1.1. Общие вопросы теории ракетных двигателей.

Понятие тяги ракетного двигателя и его выражение из уравнения И.В. Мещерского. Уравнение К.Э. Циолковского и идеальная скорость ракеты. Реальная скорость ракеты. Основные параметры ракетных двигателей. Характеристическая скорость и ее использование для оценки совершенства конструкции двигателя.

Особенности устройства ЖРД и области применения.

Зависимость состава продуктов сгорания, температуры и удельного импульса от коэффициента избытка окислителя.

Выражение тяги в импульсной форме и его анализ.

Выражение тяги в газодинамической форме. Коэффициент тяги и его выражение.

Удельный импульс и его различные выражения, пути повышения удельного импульса.

Теоретическая скорость истечения и её определение через адиабатическую работу газа.

Соотношение тяги и экономичности ЖРД. Дроссельные и высотные характеристики.

Особенности работы сопла на режимах перерасширения. Испытания двигателей с внешними соплами. Массовый эквивалент удельного импульса и его применение.

Основные схемы ЖРД, особенности и области применения.

Методы оценки совершенства камеры двигателя. Потери в камере двигателя и их причины. Цель и задачи термодинамического расчета в камере ЖРД. Особенности термодинамического расчета горения в КС, истечение на срезе сопла и в критическом сечении.

Особенности топлив, используемых в ЖРД, и их влияние на основные параметры двигателя.

1.2. Камера сгорания и газогенератор ЖРД.

Картина рабочего процесса в камере сгорания: последовательность элементарных процессов; прогрев и испарение жидких капель.

Проектирование камер сгорания и газогенераторов: расчет геометрических параметров; проектирование смесительной головки; внутреннее охлаждение; показатели интенсивности рабочего процесса.

Оценка энергетических показателей камеры сгорания: коэффициент полноты давления (камеры и сопла); однослойная и двухслойная модель смесеобразования.

Характеристики форсунок: расходная характеристика; коэффициент расхода; угол распыла.

Основы теории и расчета форсунок: струйная форсунка; центробежная форсунка.

Особенности теплообмена в камерах сгорания: конвективный; лучистый.

Основные способы теплозащиты и их особенности: внешнее (проточное); внутреннее; теплозащитные покрытия; транспирационное.

Классификация и особенности газогенераторов: однокомпонентные; двухкомпонентные (однозонные, многозонные).

Особенности схем и конструкций ракетных двигателей малой тяги.

1.3. Турбонасосный агрегат.

Определение лопаточной машины. Классификация. Основные свойства. Кинематические соотношения для лопаточных машин. Течение на входе, в межлопаточном канале и на выходе колеса. Треугольники скоростей. Уравнение Эйлера для лопаточных машин. Силы, действующие на лопатки осевой решетки. Связь момента кориолисовых сил инерции с моментом колеса радиальной лопаточной машины. Осевое и радиальное усилия, действующие на рабочее колесо лопаточной машины. Основные соотношения одномерной теории течения в каналах колеса лопаточных машин. Отклоняющие свойства лопаточных решеток. Учет трехмерности потока при расчете лопаточных машин.

Шнековая осевая ступень. Особенности и преимущества.

Подобие лопаточных машин. Критерии подобия. Коэффициент быстроходности. Подобие неустановившихся режимов работы насоса.

Потери в лопаточных машинах. Классификация потерь.

КПД лопаточных машин.

Основные термодинамические соотношения и тепловые диаграммы.

Теоретический напор центробежного колеса с учетом конечного числа лопаток. Энергетические характеристики шнекоцентробежного насоса.

Теоретические и действительные характеристики. Теоретический напор осевой ступени. Энергетические характеристики. Теоретическая характеристика шнекового насоса. Действительные характеристики шнекового насоса.

Кавитация в насосах ЖРД. Основные понятия. Срывной кавитационный запас. Кавитационный коэффициент быстроходности. Влияние физических свойств перекачиваемого рабочего тела на кавитационные качества насоса.

Основные положения выбора проточной части насоса, обеспечивающие максимальные антикавитационные качества шнекоцентробежного насоса.

Ступени турбины. Основные понятия и соотношения. Изменение параметров по длине проточной части. Изображение процессов в турбине на тепловых диаграммах.

Расширение газа в решетках. Профилирование сопловых решеток и сопел. Обтекание решеток газом при дозвуковых скоростях.

Окружной КПД и коэффициент работы ступени. Потери энергии в ступени турбины. Эффективный (полный) КПД турбины.

Парциальность. Оптимальные отношения скоростей в парциальной турбине.

Многоступенчатые турбины. Ступени скорости и ступени давления. Работа турбины в области сильной неидеальности рабочего тела. Энергетические характеристики турбины.

Работа кавитирующих насосов на различных жидкостях. Система определяющих параметров и их взаимосвязи.

Уравнение напора и крутящего момента насоса на неустановившихся режимах. Уравнение вращательного движения ротора ТНА.

Классификация исследовательских испытаний насосов и турбин. Балансовые, энергетические, кавитационные испытания.

1.4. Динамика и регулирование ЖРД.

Задачи и способы управления и регулирования ЖРД. Связь системы управления и регулирования ЖРД с системами СОБ и РКС.

Колебания и волны. Основные характеристики.

Линеаризация уравнений системы управления.

Основные элементарные динамические звенья систем. Соединения элементарных звеньев.

Переходная и весовая функции. Преобразования Лапласа и его свойства. Передаточная функция, АФЧХ, АЧХ, ФЧХ.

Способы зондирования систем при исследовании временных и частотных характеристик.

Оценка качества регулирования.

Понятие устойчивости. Теорема Ляпунова.

Оценка устойчивости и колебательных свойств системы по расположению корней характеристического уравнения.

Управляемость и наблюдаемость динамических систем. Критерий устойчивости Михайлова. Критерий устойчивости Рауса-Гурвица. Критерий устойчивости Найквиста. Методы определения границ устойчивости. Метод D-разбиения.

Динамика жидкостных и газовых магистралей с сосредоточенными параметрами. Динамика жидкостных магистралей с распределенными параметрами. Динамика турбонасосных агрегатов. Динамика процессов в регуляторе. Динамика процессов в камере сгорания (КС) и газогенераторе (ГГ).

Низкочастотные процессы в КС и ГГ. Высокочастотные процессы в КС и ГГ. Способы обеспечения устойчивости процессов в КС. Динамика рабочих процессов при запуске и останове двигателя.

2. Проектирование и конструкция ЖРД.

2.1. Общие вопросы проектирования и конструирования.

Основные типы ракетных двигателей и ДУ, характеристики, области применения.

Основные данные, характеризующие ЖРД.

Удельные параметры ЖРД. Высотная и дроссельная характеристики.

Требования, предъявляемые к жидкому ракетному топливу. Основные топливные композиции и их характеристики.

Принципиальная схема ЖРД. Схема с дожиганием и схема с выбросом рабочего тела привода турбины, основные особенности и области применения.

Энергетическая увязка параметров ЖРД. Последовательность выполнения расчета.

Системы регулирования ЖРД. Назначение, каналы и диапазоны регулирования. Основные типы регулирующих органов.

Системы захлаживания магистралей ЖРД на криогенных компонентах топлива. Назначение, возможные схемные исполнения.

Система управления вектором тяги ЖРД. Каналы управления, основные схемные решения. Схемы зажигания несамовоспламеняющихся компонентов топлива. Области применения.

Система наддува баков ДУ. Возможные схемные решения.

Система пред- и послепусковых продувок ЖРД. Назначение, режимы, состав системы.

Компоновка ЖРД и ДУ. Общая характеристика, требования к компоновке.

Основные тенденции развития ракетного двигателестроения.

2.2. Камера сгорания и газогенератор.

Камера сгорания ЖРД, её назначение и конструктивное выполнение (основные составляющие узлы).

Особенности конструкции камер сгорания в зависимости от применяемых пар компонентов топлива (высококипящие или низкокипящие, самовоспламеняющиеся или несамовоспламеняющиеся), от способа управления вектором тяги, от схемы смесеобразования компонентов (жидкость+жидкость, газ+жидкость, газ+газ).

Организация охлаждения стенок реакционного пространства камеры сгорания. Классификация способов охлаждения КС.

Наружное проточное охлаждение стенок КС. Схемы разводки охладителя к камере. Конструкция щелевых трактов охлаждения КС.

Внутреннее охлаждение стенок КС. Завесы, их виды, основные требования к конструкции и характеристикам завес.

Коллекторы подвода и отвода компонентов в тракт охлаждения КС. Их конструкция и правила проектирования.

Материалы, применяемые в узлах камеры сгорания. Особенности конструкции камер сгорания, использующих для выходных секций сопла титановые сплавы.

Смесительная головка камеры сгорания, её конструктивное выполнение.

Конструктивные решения в смесительной головке, направленные на охлаждение внутреннего днища.

Конструктивные решения в смесительной головке, направленные на обеспечение устойчивости рабочего процесса по отношению к в/ч – колебаниям.

Газогенераторы ЖРД, их назначение. Основные схемные решения смесеобразования газогенераторов (двухзонные и однозонные). Преимущества и недостатки этих схем.

Основные требования к характеристикам газогенераторов современных ЖРД и способы их обеспечения.

2.3. Турбонасосный агрегат.

Конструктивные схемы ТНА. Классификация конструктивных схем. Факторы, влияющие на выбор конструктивной схемы.

Выбор частоты вращения ТНА.

Конструкция насосов ТНА ЖРД. Основные детали и узлы насосов. Способы изготовления и выбор материалов для насосов.

Опоры роторов ТНА. Применяемые подшипники и критерии выбора подшипников. Охлаждение и смазка подшипников. Нагрузки, воспринимаемые подшипниками.

Уплотнительные устройства в насосах. Уплотнение неподвижных элементов. Уплотнения вращающихся элементов. Особенности уплотнений в ТНА многократного включения.

Конструкция турбин ТНА ЖРД. Типы турбин, используемых в ЖРД. Способы изготовления и выбор материалов и покрытий.

Бустерные турбонасосные агрегаты. Назначение БТНА. Конструктивные схемы. Конструкции насосной части и привода БТНА. Способы изготовления и применяемые материалы.

Контроль и отработка насосов и турбин. Этапы отработки. Задачи, решаемые при автономных испытаниях насосов и турбин. Виды контроля, используемого для обеспечения высокой надежности ТНА.

Влияние деформаций конструкции на её работоспособность. Динамическая прочность конструкции ТНА. Причины, вызывающие переменные напряжения. Способы повышения динамической прочности.

Осевые и радиальные силы, действующие на ротор ТНА, и их уравнивание. Автоматические разгружающие устройства.

Возгорание конструкций, работающих в окислительной среде. Причины, приводящие к возгоранию в жидкой и газообразной окислительной среде. Меры, уменьшающие вероятность возгорания.

2.4. Агрегаты автоматики, регулирования и управления.

Агрегаты автоматики (определение, назначение). Общая схема автоматического управления, регулирования и обслуживания. Пропускная способность, пропускные характеристики. (линейная, равнопроцентная или

логарифмическая, квадратичная) регулирующих органов. Конструктивные характеристики регулирующих органов с плоским и коническим затвором.

Расчет винтовых цилиндрических проволочных пружин. Жесткость пружины, динамическая жесткость. Расчет жесткости подвижных систем исполнительных устройств (с одним пружинящим, с двумя и более пружинящими, с разрезанным пружинящим элементами).

Мембранный движитель (чувствительный элемент). Расчет эффективной площади, жесткость мембраны. Сильфонный движитель (чувствительный элемент), жесткость сильфона. Конструктивная схема пиропатрона. Конструктивная схема электромагнита.

Преимущества и недостатки исполнительных механизмов с электромагнитным приводом и с пиропатронами. Электродвигательные исполнительные механизмы.

Редукторы (регуляторы) давления. Типы, конструктивные схемы регуляторов давления прямого действия. Нагрузочные и настроечные характеристики. Определение, конструктивная схема регуляторов давления непрямого действия.

Регуляторы расхода, назначение, конструктивная схема. Расчет нагрузочных характеристик без учета и с учетом гидродинамической силы регуляторов с ножевым золотником. Выбор типа расходных характеристик при проектировании дросселей

Силовое воздействие потока жидкости на затворы.

Представление настроенных характеристик регулирующих органов по результатам замеров при тарировочных проливках, условие проливок, исключая кавитационные режимы.

Эффект Джоуля-Томпсона. Условия продувок регулирующих органов. Конструктивные приемы, исключая гидроудары при срабатываниях регулирующих органов.

Конструктивные приемы, обеспечивающие герметизацию подвижных и неподвижных соединений. Факторы, определяющие величину утечек.

Облитерация. Способы борьбы с облитерацией.

Фильтрация. Способы защиты агрегатов автоматики от засорений.

Конструктивные схемы регулирующих органов с минимальными гидравлическими сопротивлениями.

Методы обеспечения сохранности поверхностей взаимно перемещающихся деталей, фреттинг.

Расчет гидродинамической силы при обтекании затворов ножевых золотников регуляторов расхода.

2.5. Информационно-измерительные и управляющие системы ЖРД.

ПГС ЖРД и место в ней электрических устройств и систем.

Примерная структурная схема информационно-управляющей системы ЖРД на примере системы управления ЭПК и ПК.

Примерная структурная схема смешанной системы (ИИС+ИУС) на примере канала системы аварийной защиты.

Структурная схема систем управления приводами регулятора, дросселя, качания КС.

Основные понятия об измерении физических величин. Прямые и косвенные измерения. Методы измерений.

Понятие об информационных сигналах, преобразовании электрических сигналов. Квантование по уровню и по времени. Кодирование сигналов.

Понятие о спектре периодических сигналов. Сведения о помехах при передаче электрических сигналов.

Основные сведения о теоретической метрологии. Понятие о единстве измерений и средствах его обеспечения.

Сведения о погрешностях измерений.

Измерительные преобразователи (датчики). Общие сведения о типах измерительных преобразователей.

Конструкция и схема измерительного преобразователя на примере отдельного типа датчика.

Элементная база электронной аппаратуры информационно-измерительных и управляющих систем.

Основные сведения об усилителях информационных сигналов. Операционные усилители, измерительные фильтры.

Микропроцессоры. Основные сведения. Особенности использования микропроцессоров в ИИС и ИУС.

Модульный принцип построения ИИС и ИУС на примерах аппаратуры, выполненной в стандартах VME, VXI, L-CARD.

2.6. Динамика и прочность ДЛА.

Определение понятия прочности материала и детали. Конструкционная прочность.

Прочность узла, агрегата, двигателя. Объяснение этих понятий. Кинематические ограничения в работе наиболее характерных узлов двигателя.

Определение расчетной схемы. Характеристика каждой из шести характерных моделей, составляющих расчетную схему.

Методы расчетов на основе механики разрушений (теории трещин). Определение роли и места таких расчетов в реальном проектировании двигателя.

Кинематические свойства ротора ТНА. Объяснение особенностей прецессионного движения на примерах симметричного и несимметричного роторов.

Динамические свойства ротора ТНА. Силы и моменты, действующие на детали ротора (симметричного и несимметричного).

Виды колебаний роторов ТНА. Единая математическая модель в теории колебаний ротора при его изгибе, кручении и растяжении – сжатии.

Критические скорости при изгибных колебаниях роторов. Объяснение термина – “пространство существования ротора”.

Критические скорости при крутильных колебаниях роторов. Двухдисковая расчетная схема.

Расчет лопаток турбин на статическую прочность. Особенности расчета лопатки активной турбины с бандажной полкой.

Несущая способность рабочих колес турбин (активной реактивной и осевой, радиальной).

Местная прочность рабочих колес лопаточных машин (турбин и насосов).

Влияние температурного поля на несущую способность рабочих колес турбин.

Расчет вала на статическую прочность. Определение запасов прочности в сечениях вала.

Расчет вала на циклическую прочность. Графоаналитический метод оценки ресурса вала.

Расчет деталей ротора методами, основанными на теории трещин.

Оценка прочности корпусных деталей ТНА. Необходимый и достаточный признаки в определении запасов прочности корпусных деталей.

Корпус камеры ЖРД. Геометрические модели в расчетной схеме корпуса камеры. Краткие сведения из теории осесимметричных оболочек: определения, геометрические, статические и физические характеристики.

Схема нагружения и несущая способность оболочек камеры ЖРД. Запас по общей несущей способности.

Местная прочность корпуса камеры. Определение запасов прочности в трех характерных элементах конструкции корпуса камеры.

Влияние режима запуска двигателя на формирование напряженного состояния в стенках корпуса камеры.

Смесительная головка камеры. Геометрическая модель в расчетной схеме смесительной головки. Краткие сведения из теории круглых пластин: определения, геометрические, статические и физические характеристики.

Схема нагружения и несущая способность днищ смесительной головки. Запас по общей несущей способности смесительной головки.

Местная прочность деталей смесительной головки. Запасы прочности в трех характерных элементах конструкции смесительной головки.

Устойчивость тонкостенных деталей корпуса камеры и двигателя при действии сжимающей нагрузки.

Колебания тонкостенных деталей корпуса камеры и двигателя.

Динамика двигателя как механической системы. Собственные частоты качающихся камер и двигателей.

2.7. Математическое моделирование рабочего процесса ЖРД.

«Статика» и «динамика» ЖРД. Основные отличия. Запуск ЖРД. Специфичные процессы, свойственные запуску. Виды и природа потерь давления в «динамике». Гидродинамическое подобие стендовых магистралей ракетным. Основные критерии.

Гидравлический удар. Его причины. Мероприятия по ослаблению. Дроссель и редуктор давления. Их статические характеристики. Приведенный перепад давления. Регулятор расхода. Его статические характеристики. Статизм регулятора.

Время преобразования компонентов топлива. От чего зависит и из чего складывается.

Расслоение термодинамических характеристик продуктов сгорания от РКС. Причины.

Кавитация. Её проявление в насосах ЖРД. Влияние кавитации на универсальные статические характеристики насосов. Формы кавитации. Основные режимы кавитации. Влияние кавитации на потребляемую мощность насосов.

«Расслоение» универсальных КПД характеристик насосов от оборотов. Причины.

Теоретическая и реальная адиабатная работа турбин ЖРД.

Приведенная скорость. Приведенная плотность потока массы.

Момент инерции вращающихся масс ТНА. Его определение.

Построение комплексной математической модели ЖРД. Постоянная времени ЖРД. От чего она зависит.

АФЧХ ЖРД. Теоретическое и экспериментальное определение АФЧХ. Идентификация расчетных и экспериментальных данных. Что необходимо учитывать при её проведении. Неустойчивость численного решения нелинейных дифференциальных уравнений. Её причины. Проявление.

2.8. Автоматизированное проектирование.

Основные понятия САПР. Формализация процесса проектирования по стадиям и задачам. Стадии процесса проектирования, цели и возможности применения для них САПР. Классификация, особенности и разновидности САПР. Задача структурного синтеза. Задача параметрического синтеза и анализа. Принципы интерактивного проектирования. Особенности системного подхода к проектированию. Иерархия процесса проектирования. Уровень концепции. Уровень имитационного моделирования. Методы решения задач структурного синтеза. Морфологические методы. Трансформационные методы. Методы решения задач параметрического анализа. Однокритериальная и многокритериальная оптимизация. Выбор критериев оптимальности. Методы принятия решений проектировщиком. Критерии выбора. Методы задания предпочтения на множестве частных критериев. Экспертные системы.

Системы САПР промышленного применения. Понятие системного подхода к построению САПР. Двигатель как сложная система и принципы ее декомпозиции. Понятие информационной модели САПР. Системы и подсистемы САПР. Математическое моделирование процесса проектирования. Интуитивная концептуальная модель и ее усложнение по мере учета различных факторов. Понятие верификации действий. Типовые структуры подсистем САПР - проектирования, выпуска конструкторской документации, технологической подготовки производства. Интегрированные системы конструирования и технологии.

2D и 3D моделирование. Математическое моделирование как средство исследования сложных технических подсистем двигателя. Классификация математических моделей. Требования к математическим моделям. Основные задачи, возникающие при математическом моделировании с использованием САПР. Задачи гидрогазодинамики. Задачи теплопередачи. Задачи прочности. Задачи динамики и регулирования. Методы решения возникающих задач. Метод

конечных элементов. Компьютерная графика и геометрическое моделирование. Плоское и объемное моделирование. Операции визуализации двухкамерной графики. Методы анализа статических режимов. Методы анализа переходных процессов. Проектирование оптимальных систем и конструкций тепловых, электроракетных двигателей и энергетических установок.

САПР на предприятии. Коммуникационные сети.

Программное и аппаратное обеспечение САПР. Классификация программного обеспечения. Средства разработки программ. Расчетно-оптимизационные системы. Графоаналитические системы. Графические системы. Системы автоматизации выпуска конструкторской документации. Системы технологической подготовки производства. Системы баз данных. Системы принятия решений. Экспертные системы. Программы наиболее употребляемых систем САПР (MATCAD, AUTOCAD, MATLAB, NASTRAN).

Системы анализа.

Автоматизация подготовки производства

Управление документооборотом.

Перспективные направления развития САПР.

3. Технология производства энергосиловых установок летательных аппаратов

3.1. Теоретические основы проектирования технологических процессов

Производственный и технологический процессы, структуры и этапы. Виды операций, концентрация и дифференциация операций. Операционные припуски. Классификация оборудования. Типовые схемы и методы совершенствования организации производства тепловых двигателей и энергетических установок. Экономическая эффективность вариантов технологических процессов изготовления основных деталей.

Точность обработки. Основные понятия и определения. Характеристики и категории точности, методы численной оценки. Погрешности обработки. Факторы, влияющие на действительную погрешность обработки. Главные составляющие суммарной погрешности обработки по исходному размеру. Суммирование погрешностей. Экономическая целесообразность точности изготовления деталей тепловых двигателей и энергетических установок.

Основы теории базирования. Классификаций поверхностей и баз. Принцип совмещения баз при построении операций в технологическом процессе.

Вспомогательные установочные базы. Выбор исходной базы и пересчет исходных размеров. Распределение погрешностей между двумя установочными базами. Правило выбора баз.

Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей. Основные теоретические понятия и определения. Шероховатость и волнистость поверхности. Физико-химическое состояние поверхностного слоя. Методы оценки и исследования. Остаточные напряжения. Классификация параметров поверхностного слоя. Влияние параметров поверхностного слоя на эксплуатационные свойства деталей. Выбор параметров поверхностного слоя детали с учетом заданных условий эксплуатации и их технологического обеспечения.

Понятия технологичности конструкции изделия, узла, детали, технологичность материалов. Критерии оценки технологичности. Этапы отработки технологичности. Технологичность деталей в связи с особенностями механической, электрофизической и др. видами обработки. Технологичность конструкции деталей, полученных объемным деформированием и литьем с применением сварных и паяных соединений. Технологичность деталей из листовых и композиционных материалов.

Принципы разработки технологического процесса. Технологический анализ чертежа детали. Построение плана обработки детали, взаимосвязь между чертежом и технологическим процессом. Методы получения заготовок применительно к условиям производства и программы. Расчет размеров заготовок детали. Выбор оборудования и специальной оснастки. Стадии проектирования технологического процесса, последовательность выполнения операций. Техническое нормирование операций. Экономический анализ операций технологического процесса. Технологическая документация.

3.2. Методы формообразования и обработки поверхностей элементов конструкций.

Современные конструкционные материалы ЭСУ ЛА, химический состав, механические и физические свойства, особенности технологической обработки и области применения. Структурные составляющие системы «станок–инструмент–деталь». Автономность системы «инструмент–деталь», ее геометрия, кинематика, динамика. Материалы для изготовления лезвийных инструментов: инструментальные стали, твердые сплавы, минералокерамика и керметы, синтетические сверхтвердые материалы.

Методы изготовления заготовок. Методы пластического деформирования. Ковка, штамповка (разновидности), вальцовка, раскатка, ротационная ковка, вытяжка, гибка, формовка, ротационная вытяжка, штамповка эластичной средой. Номенклатура изделий, оборудование, режимы. Методы литья (в землю, в кокиль, под давлением, по выплавляемым моделям, центробежное литье). Номенклатура изделий, оборудование, режимы.

Физические основы обработки конструкционных материалов. Принципы построения физических моделей механообработки. Физико-химические процессы, возникающие в системе «инструмент-деталь». Механическая модель процесса резания материала. Тепловая модель процесса резания материалов, ее основные характеристики. Тепловой баланс и тепло-напряженность. Трение, адгезионно-диффузионные процессы в зоне резания. Характеристики сред и веществ, применяемых для интенсификации процесса обработки.

Механические виды обработки поверхностей. Обработка наружных поверхностей тел вращения: точение, фрезерование, протягивание, шлифование; технологические особенности и области применения. Обработка отверстий: виды отверстий и методы их обработки лезвийным и абразивным инструментом. Обработка глубоких отверстий и отверстий малого диаметра. Обработка плоских поверхностей фрезерованием, протягиванием, шлифованием, строганием. Методы окончательной обработки плоских поверхностей. Обработка фасонных поверхностей: конических, сферических, вращения произвольного профиля, пространственных; методы копирования, обкатки, обработка строчками на станках с ЧПУ.

Физико-химические методы обработки поверхностей. Электроэрозионная обработка: электроискровая, электроимпульсная, анодно-механическая, электроконтактная. Зависимость производительности электроэрозионной обработки от теплофизических параметров материала обрабатываемых изделий и электродов, электрических параметров импульсов тока и свойств межэлектродной среды. Электрохимическая размерная обработка. Режимы, производительность, точность процесса обработки, электрофизическое полирование. Химическое травление. Ультразвуковая обработка, возможности применения метода. Ультразвуковая интенсификация процессов резания труднообрабатываемых материалов. Технологическое применение электронно-лучевых и светолучевых (квантовых) методов обработки деталей. Технологическое оборудование.

3.3. Технологические методы повышения надежности.

Влияние методов и режимов обработки на параметры поверхностного слоя деталей. Шероховатость поверхности. Деформационное упрочнение. Остаточные напряжения. Влияние химического состава и структурно-фазового состояния поверхностного слоя на износостойкость и коррозионную стойкость.

Упрочнение поверхностным пластическим деформированием. Дробеструйная обработка, гидро- и пневмодробеструйная обработка, гидрогалтовка, виброгалтовка, ультразвуковое деформационное упрочнение, микрошариками, обкатка роликами и шариками, алмазное выглаживание. Обоснование и оптимизация режимов обработки. Контроль параметров поверхностного слоя после обработки.

Поверхностная термическая и термомеханическая обработка. Группы методов поверхностной термической обработки. Технология электроннолучевой и лазерной (квантовой) термической обработки. Термомеханическая обработка, особенности структурного состояния. Повышение эксплуатационных свойств деталей.

Защитно-упрочняющие покрытия. Методы и способы получения. Подготовка поверхности детали перед нанесением покрытия: механические, химические, физические методы. Химические методы получения покрытий: пиролиз летучих соединений в потоке; водородное восстановление летучих галогенидов металлов; способ химических транспортных реакций. Физические методы получения покрытий: наплавка, покрытие электронно-лучевым испарением в вакууме, нанесение покрытий вакуумно-плазменной обработкой, магнетронное распыление, газоплазменное и плазменное напыление.

Химико-термическая обработка. Модификация физико-химического состояния поверхностного слоя детали. Азотирование: оборудование, режимы, выбор значений управляющих параметров, свойства материалов деталей. Цементация: оборудование, режимы, способы выполнения, обработка холодом. Диффузионные покрытия: алитирование, борирование, силицирование, титанирование, хромирование.

Лазерная обработка. Методы лазерной обработки без оплавления: изменение структурно-фазового состояния, упрочнение поверхностного слоя, создание высоких макронапряжений. Методы лазерной обработки с оплавлением: формирование аморфной структуры в поверхностном слое, измельчение зерен, рост плотности дефектов решетки, поверхностное легирование через жидкую фазу.

Ионное легирование. Имплантация легирующего элемента в поверхностный слой. Ионное легирование деталей из металлов, керамики, пластмасс. Универсальность ионно-лучевой обработки: легирование металла, очистка поверхности, распыление тонких слоев основного материала, локальность обработки, высокая химическая чистота.

3.4. Механизация и автоматизация производства.

Технологическое оснащение производства. Назначение и классификация приспособлений. Элементы приспособлений. Расчет приспособления на точность: анализ составляющих погрешности, расчетное неравенство.

Установочные элементы приспособлений, особые случаи установки. Зажимные устройства, самоцентрирующие зажимные устройства. Делительные и копировальные устройства. Методика проектирования средств механизации. Стандартизация и унификация приспособлений: сборно-разборные и универсально-сборные приспособления

Автоматизированный технологический процесс. Этапы технологической подготовки и принципы построения технологического процесса. Система автоматического управления, устройство и аппаратура автоматического управления технологическим процессом; автоматизация контроля точности обработки. Автоматические линии. Экономическая эффективность автоматической линии. Гибкое автоматизированное производство. Промышленные работы. Переналаживаемая автоматизированная оснастка.

3.5. Технология сборки.

Технологический процесс сборки. Методы обеспечения надежности сборочных работ. Особенности первой и второй сборки. Взаимозависимость процесса сборки и технологичности конструкции. Формы организации сборочных работ, средства механизации и оборудование сборочного цеха. Критерии оценки сборочной технологичности конструкции, ее значение для унификации и автоматизации процессов сборки. Проектирование технологического процесса сборки.

Точность сборки. Теоретические основы расчетов точности параметров сборочного процесса. Размерные цепи. Влияние неоднородных параметров на точность расчета. Математическая модель процесса сборки, точность расчета сборочных параметров. Технологические методы достижения заданной точности сборочных параметров. Контроль основных сборочных параметров: зазоры, биения, соосность, центровка собираемых узлов.

Балансировка роторов. Назначение балансировки. Вибрация изделий и ее источники. Уравновешивание сил инерции вращательного и поступательного движения. Виды неуравновешенности. Конструкторские и технологические факторы, влияющие на величину дисбаланса. Жесткие и гибкие роторы. Методы балансировки роторов. Специфичность понятия точности балансировки, расчет допустимых значений дисбалансов для проектируемых изделий. Оборудование для балансировки. Способы низкочастотной и высокочастотной балансировки гибких роторов. Основы автоматизации проектирования технологических процессов балансировки.

Типы соединений и методы их осуществления. Сборка неподвижных соединений: разъемные и неразъемные соединения, методы и точность контроля силы затяжки резьбовых соединений; особенности сборки узлов при соединении поверхностей сваркой и пайкой. Сборка подвижных соединений. Схемы технологических процессов сборки узлов при постановке подшипников, зубчатых колес, уплотнений.

Узловая и общая сборка изделий. Общие и специальные задачи технологических процессов сборки: специфичность сборки роторных узлов, влияние схемы и метода сборки на точность контролируемых параметров, сборка модульных конструкций. Особенности процесса переборки изделий; способы и средства выявления дефектов; промывка и очистка закрытых полостей и поверхностей; ультразвуковая, ионно-лучевая, химическая очистка. Автоматизация процесса сборки.

3.6. Испытания ЖРД

Особенности, классификация, цели, роль и место испытаний в процессе создания и производства ЖРД.

Автономные испытания – холодные, прочностные (статические и динамические), огневые. Холодные испытания двигателя в целом. Огневые натурные испытания (НИ) двигателей. Режимы испытаний. Внешние и внутренние факторы, влияющие на параметры двигателя при НИ. Приведение основных параметров двигателей, полученных при НИ, к номинальным значениям внешних факторов. Цель и основные понятия.

Параметры контроля характеристик запуска и останова двигателя.

Медленноменяющиеся и быстроменяющиеся параметры (ММП и БМП) при испытаниях двигателей.

Содержание протокола НИ двигателя.

Классификация и характеристики погрешностей измерения. Классификация и проявления объективных погрешностей. Способы отсева грубых погрешностей измерений при испытаниях Особенности их применения.

Метод скользящих медиан. Его суть и пример применения.

Задача линейного регрессионного анализа результатов испытаний. Задача корреляционного анализа результатов испытаний.

Понятие коэффициента корреляции. Диапазон его значений. Понятие коэффициента множественной корреляции.

Понятие взаимосвязанных параметров. Пример.

Методы проверки зарегистрированных параметров при НИ через другие измеренные параметры. Контурная увязка. Понятия и примеры.

Исследовательские и конструкторские испытания двигателей. Доводочные испытания двигателей и методы ускорения доводки. Заводские доводочные испытания (ЗДИ) и межведомственные испытания (МВИ) двигателей. Комплексные наземные (ОСИ) и летные испытания.

Испытания двигателей в серийном производстве. Методы контроля испытаний. Испытательные комплексы и стенды. Системы питания.

Основные понятия и определения теории надежности энергосиловых установок. Работоспособное состояние. Вероятностно-статистический и физический подход. Связь с экономическими факторами. Обоснование количественных требований к надежности ЖРД.

Вероятность безотказной работы (ВБР). Необходимость вероятностной оценки надежности. Графическая интерпретация плотности распределения случайных значений параметров. Математическое ожидание. Точечное значение ВБР и нижняя граница доверительного интервала.

Методы обеспечения и оценки надежности на этапе проектирования. Математическая модель. Критические элементы, резервирование. Методы обеспечения и оценки надежности на этапе доводки. Техническая диагностика. Модель роста надежности. Исследование причин отказов и характера развития процессов разрушения. Методы обеспечения и оценки надежности на этапе серийного производства. Метод структурно-функционального анализа для оценки надежности. Зачетные и незачетные испытания. Отказы (причины и виды). Показатели и методы оценки надежности.

3.7. Технология производства мощных ЖРД

Оперативное управление производством. Цикловой график сборки изделия. Расчет норм межцеховых заделов. Организация межцехового оперативного

производственного планирования единичного и серийного производства. Разработка производственных заданий цехам.

Проработка и оценка производственной программы цеха. Технология производства мощных ЖРД.

Особенности и основные конструкции сварных соединений ЖРД. Технологии сварки: сварка плавлением в инертных газах, плавящимися и неплавящимися электродами, автоматическая и полуавтоматическая; электронно-лучевая; с применением давления. Дефекты сварных соединений, их контроль и методы устранения.

Основные конструкции паяных соединений ЖРД и требования к ним при конструировании. Технология получения паяных соединений ЖРД и требования к ним при конструировании. Особенности пайки отдельных металлов (медь, никель, тугоплавкие) и их сплавов, дефекты паяных соединений, их контроль и методы устранения.

Неразрушающие методы контроля. Радиационная, ультразвуковая, капиллярная дефектоскопия. Акустико-эмиссионный метод контроля. Магнитные и токовихревые методы контроля. Основные принципы и примеры применения.

Контроль прочности и герметичности. Методы проверки герметичности: в аквариуме, по спаду давления, обмыливанием, газоаналитический (способ «щупа», способ вакуумирования). Нормативы и оборудование.

Технология изготовления камеры сгорания. Конструктивно-технологические характеристики. Материалы и методы получения заготовок основных элементов. Наиболее ответственные операции, оборудование и оснастка, приспособления. Техпроцесс сборки основных узлов и общей сборки. Пайка, сварка, биметаллические соединения. Методы контроля качества изготовления деталей и сборочных единиц, (прочность, герметичность, качество сварки и пайки – рентгено-контроль, акустический метод). Меры по охране труда при изготовлении и испытаниях.

Технология изготовления газогенератора. Конструктивно-технологические характеристики. Материалы и методы получения заготовок основных элементов. Наиболее ответственные операции, оборудование и оснастка, приспособления. Техпроцесс сборки основных узлов и общей сборки. Пайка, сварка, биметаллические соединения. Методы контроля качества изготовления деталей и сборочных единиц, (прочность, герметичность, качество сварки и пайки – рентгено-контроль, акустический метод). Меры по охране труда при изготовлении и испытаниях.

Технология изготовления блока насоса «О» с турбиной турбонасосного агрегата (ТНА). Конструкторско-технологические характеристики. Материалы и методы получения заготовок основных элементов. Техпроцесс изготовления основных элементов. Наиболее ответственные операции, оборудование и оснастка, приспособления. Техпроцесс сборки ротора, статора и общей сборки. Особенности изготовления уплотнительных соединений и испытаний на герметичность. Испытания на производительность. Меры по охране труда при изготовлении и испытаниях.

Технология изготовления насоса «Г» и общей сборки ТНА. Конструкторско-технологические характеристики. Материалы и методы получения заготовок основных элементов. Техпроцесс изготовления основных элементов. Наиболее ответственные операции, оборудование и оснастка, приспособления. Техпроцесс сборки ротора, статора и общей сборки. Особенности изготовления уплотнительных соединений и испытаний на герметичность. Испытания на производительность. Меры по охране труда при изготовлении и испытаниях.

Технология изготовления бустерных насосов «О» и «Г». Конструкторско-технологические характеристики. Материалы и методы получения заготовок основных элементов. Техпроцесс изготовления основных элементов. Наиболее ответственные операции, оборудование и оснастка, приспособления. Техпроцесс сборки ротора, статора и общей сборки. Особенности изготовления уплотнительных соединений и испытаний на герметичность. Испытания на производительность. Меры по охране труда при изготовлении и испытаниях.

Технология изготовления агрегатов автоматики релейного типа (пускоотсечные клапаны, электропневмоклапаны, обратные клапаны). Конструктивно-технологические характеристики. Материалы и методы получения заготовок основных элементов. Техпроцесс изготовления основных элементов. Технология изготовления уплотнительных элементов. Пайка и сварка в агрегатах автоматики. Методы контроля качества. Техпроцесс сборки и испытаний. Контроль качества. Типовые программы приемо-сдаточных испытаний. Оснастка и оборудование, используемые при изготовлении и испытаниях агрегатов. Меры по охране труда при изготовлении и испытаниях.

Технология изготовления агрегатов регулирования. Конструктивно-технологические характеристики. Материалы и методы получения заготовок основных элементов. Техпроцесс изготовления основных элементов. Технология изготовления уплотнительных элементов. Пайка и сварка в агрегатах автоматики. Методы контроля качества. Техпроцесс сборки и испытаний. Контроль качества.

Типовые программы приемо-сдаточных испытаний. Оснастка и оборудование, используемые при изготовлении и испытаниях агрегатов. Меры по охране труда при изготовлении и испытаниях.

Технология изготовления агрегатов, узлов, и деталей общей сборки (узел качания, пусковой бачок, трубопроводы, сильфоны, уплотнительные элементы). Конструктивно-технологические характеристики. Материалы и методы получения заготовок. Техпроцесс изготовления основных элементов. Наиболее ответственные операции, оборудование и оснастка, приспособления. Техпроцесс сборки агрегатов и узлов. Методы контроля качества и испытаний. Меры по охране труда при изготовлении и испытаниях.

Технология общей сборки. Конструкторско-технологические характеристики мощных ЖРД. Технологическая схема процесса сборки. Методы контроля качества сборки, применяемые оснастка и оборудование. Построение техпроцесса сборки. Наиболее ответственные операции. Применяемые уплотнительные соединения сборочных единиц, агрегатов и трубопроводов в трактах горючего и окислителя и их характеристики. Заключительные операции при сборке. Меры по охране труда при сборке и испытаниях.

Испытательные комплексы и стенды.

3.8. Функциональная диагностика ЖРД

Задачи функционального контроля и диагностики по ММП и БМП.

Основные ограничения, принятые в задачах функционального контроля и диагностики.

Основные виброакустические параметры, используемые при контроле состояния ЖРД.

Структурная схема функционального диагностирования.

Основные характеристики БМП, используемые для контроля.

Основные свойства автокорреляционных функций.

Взаимно корреляционные функции. Определение времени запаздывания и затухания в системе.

Спектральная плотность мощности и ее характеристики. Основные методы оценки спектров. Интервал и частота Найквиста. Эффект маскировки частот.

Взаимная спектральная плотность и функция когерентности. Определение времени запаздывания и затухания в системе.

Применение преобразования Фурье для получения спектральной плотности.

Математические модели физических процессов, система измерения и диагностические признаки. Расчет допустимых значений диагностических признаков по методу Монте-Карло.

Статистические методы. Метод последовательного анализа.

Метрические методы. Диагностирование по расположению в пространстве признаков.

Метод структурного исключения. Основная идея метода. Описание неисправности и разбиение на локально диагностируемые контуры. Матрица неисправностей. Принятие решения.

Основные оценки эффективности диагностирования.

3.9. Методы контроля конструкционных материалов, используемые в процессе изготовления, испытаний и эксплуатации ЖРД

Физические основы процесса разрушения элементов металлоконструкций при испытаниях и эксплуатации (кристаллическая структура, ее дефекты, механизмы упрочнения металлов и сплавов, пластичность, вязкость разрушения, усталостные трещины, микромеханика разрушения). Прочность при высоких температурах, ползучесть, релаксация. Прочность при низких температурах, хладноломкость. Прочность при знакопеременных нагрузках, понятие усталости.

Виды разрушения элементов конструкции и механизмы их зарождения и развития. Экспертные признаки каждого из видов разрушения: вязкое, силовое, хрупкое, усталостное, высокотемпературное, фретинговое, кавитационное, коррозионное, водородное охрупчивание, жидко-металлическое охрупчивание.

Разрушающие и неразрушающие средства анализа материалов. Назначение, область применения. Входной и пооперационный контроль на соответствие КД, ОСТ, ГОСТ, и ТУ. Методы определения химического состава: весовой, колориметрический, спектральный, масс-спектрометрический, рентгеноспектральный, металлографический, токовихревой, ультразвуковой. Методы определения механических свойств. Масштабный фактор и работа разрушения, зарождение и развитие трещины при испытаниях на удар, разрыв, ползучесть. Усталостное испытание в различных средах.

Предварительная экспертиза причин разрушения элементов конструкции при испытаниях сборочных единиц или ЭСУ в целом. Локализация объекта исследования; анализ зарегистрированных параметров и всей сопроводительной документации (КД, ТД, регистрация отступлений при изготовлении и испытаниях).

Неразрушающие методы дефектации: оптические (прямые и зондовые), капиллярный, люм-А, рентгенопросвечивание, перспективные методы.

Рентгенофизическая экспертиза элементов конструкции. Цели, металлофизические основы. Классификация диаграмм состояния сплавов (твердые растворы, эвтектики, несмешиваемость, растворимость, интерметаллиды, фазы внедрения и химические соединения – карбиды, нитриды, электронные соединения и неметаллические включения). Понятия диффузии и термодинамики. Влияние избыточных фаз (состава, формы и топографии) на плоскость сплава и тому или иному виду разрушения. Взаимосвязь структуры сплавов с режимами их обработки.

Методы и аппаратное обеспечение рентгенографической экспертизы элементов конструкции: электронная микроскопия и фрактография, электронография, экзoeлектронноэмиссионный метод, рентгеноструктурный анализ, микрорентгеноструктурный анализ; перспективные методы.

Влияние физико-химических свойств и структурных особенностей сплавов на основе железа и никеля, (нержавеющие, высокопрочные, жаропрочные, жаростойкие и т.д.), используемых в конструкции ЖРД и других ЭСУ ЛА, на механизмы и особенности их разрушения.

Влияние физико-химических и структурных особенностей сплавов на основе меди, титана, ниобия, тантала, используемых в конструкциях ЖРД и других ЭСУ ЛА на механизмы и особенности их разрушения.

Влияние особенностей технологических процессовковки, штамповки, литья, термической или химико-термической обработки, механической обработки и поверхностной обработки конструкционных материалов на появление дефектов, приводящих к преждевременному разрушению элементов конструкции.

Влияние особенностей технологических процессов нанесения покрытий (гальванических, термодиффузионных, химикотермических) на появление дефектов, приводящих к преждевременному разрушению элементов конструкции.

Влияние особенностей технологических процессов выполнения неразъемных соединений металлоконструкций (пайка – капиллярная, диффузионная; сварка – аргонодуговая, электронно-лучевая, диффузионная, трением) на появление дефектов, приводящих к преждевременному разрушению.

Основные виды конструктивно-технологических дефектов, приводящих к преждевременному разрушению элементов конструкции ЖРД: теплообменников и смесителей; трубопроводов и кронштейнов; корпусов, рабочих колес насосов и турбин, уплотнений и подшипников; агрегатов автоматики; крепежа.

Конструктивные и технологические способы предупреждения дефектов, вызывающих преждевременные разрушения.

Механизмы возгорания ЖРД при натурных испытаниях. Сопутствующие факторы. Классификация способов предупреждения возгораний.

Определение стоимости экспертного исследования причин отказов двигателей или их отдельных агрегатов. Экономическая эффективность.

III. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ВСТУПИТЕЛЬНОМУ ЭКЗАМЕНУ

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ВСТУПИТЕЛЬНОМУ ЭКЗАМЕНУ

1. Типы ракетных двигателей (РД). Компоненты топлива, применяемые в ЖРД и их особенности.
2. Понятие тяги ракетного двигателя. Уравнения тяги РД.
3. Характеристические параметры РД: удельный импульс, характеристическая скорость, коэффициент тяги сопла, удельная масса.
4. Режимы недорасширения и перерасширения.
5. Высотная характеристика ЖРД.
6. Дроссельная характеристика ЖРД.
7. Особенности конвективного теплообмена в камере сгорания и сопле.
8. Лучистый теплообмен в условиях камеры сгорания и сопла РД.
9. Выбор и определение основных параметров камеры сгорания.
10. Приведенная длина камеры сгорания. Время пребывания.
11. Виды охлаждения камеры ЖРД.
12. Регулирование тяги ЖРД.
13. Управление вектором тяги ЖРД.
14. Особенности расчета ЖРД с дожиганием.
15. Особенности расчета ЖРД без дожигания.
16. Основные тенденции и перспективы развития ЖРД.
17. Основные параметры систем подачи компонентов топлива.
18. Основные соотношения, характеризующие газовую турбину.
19. Общие требования к насосным агрегатам. Требования к насосам. Требования к двигателям насосных агрегатов.
20. Основные свойства лопаточных машин.
21. Насосы систем питания ЖРД. Объемные, трения, струйные.
22. Осевые и радиальные лопаточные машины. Их основные свойства и характеристики.
23. Уравнение Эйлера для лопаточной машины.
24. Соотношения, вытекающие из уравнения Эйлера.
25. Диффузорные и конфузорные лопаточные решетки.

26. Теоретический и фактический напор и работа машин-исполнителей и машин-двигателей.
27. Подобие в лопаточных машинах. Подобие в насосах. Подобие в турбинах.
28. Системы питания с автономной турбиной.
29. Системы питания с предкамерной турбиной.
30. Основные виды потерь в лопаточных машинах. Внутренние потери в насосах. Внутренние потери в турбинах.
31. Гидравлический КПД лопаточной машины.
32. Объемный КПД лопаточной машины.
33. Баланс мощностей насосов и турбин.
34. Понятие кавитации. Кавитационный коэффициент быстроходности.
35. Кавитационные характеристики насосов.
36. Векторы абсолютной, относительной и окружной скорости для осевых и радиально-осевых лопаточных машин.
37. Автономные турбины.
38. Предкамерные турбины.
39. Построения треугольников скоростей на входе и выходе радиальной лопаточной машины.
40. Построение треугольников скоростей на входе и выходе лопаточной машины.
41. Ступень активной турбины (схема, основные соотношения, треугольники скоростей).
42. Ступень реактивной турбины (схема, основные соотношения, треугольники скоростей).
43. Тепловая и кинематическая степени реактивности турбины.
44. Частные и универсальные характеристики лопаточного насоса.
45. Способы и методы профилирования лопаточной машины.
46. Потери в подводящих и отводящих устройствах.
47. Потери в лопаточном направляющем аппарате.
48. Профилирование осевых лопаточных машин.
49. Профилирование центробежных лопаточных машин.
50. Основные параметры насосов.
51. Основные параметры турбин.
52. Потери в турбинных решетках

53. Построение характеристик турбины.
54. Принципиальная структурная схема двигателя. Основные агрегаты и их назначение.
55. Типы турбин, используемых в ЖРД, их классификация и основные параметры. Основные узлы и группы деталей газовых турбин (рабочее колесо, валы, корпусные детали), их конструкция и материалы.
56. Классификация ЖРД: по виду компонентов топлива, по способу подачи, по способу использования энергии газов после турбины, по виду охлаждения и пр.
57. Типы насосов, используемых в ЖРД.
58. Значение конструкции в обеспечении экономичности и работоспособности агрегата.
59. Однокомпонентные газогенераторы, парогенераторы.
60. Виды охлаждения камеры сгорания, их основная сущность и характеристики.
61. Основные узлы и группы деталей насоса (рабочее колесо, валы, корпусные детали), их конструкция и материалы.
62. Типовые конструктивно-технологические узлы КС (головка, камера сгорания, охлаждаемая и неохлаждаемая часть сопла, узлы подвода), процессы в них и условия работы. Материалы.
63. Конструктивная схема центробежного насоса, основные параметры, характеризующие его работу.
64. Конструкция мест стыковки узлов камеры.
65. Система и способы зажигания КРТ.
66. Типы форсунок (струйные, центробежные, двухкомпонентные), их конструкция, характеристики и параметры.
67. Сильфонные компенсаторы.
68. Формы камер сгорания.
69. Компонентные схемы ТНА (одновальные и редукторные, компенсация осевых усилий) и размещение его на двигателе.
70. Требования к конструкции КС.
71. Разгрузка роторов от действия осевых и радиальных нагрузок.
72. Понятие расходонапряженности. Определение объема КС.
73. Опоры валов ТНА.
74. Поле расходонапряженности и соотношения компонентов, создаваемое головкой, физическая картина смесеобразования и образования пристеночного слоя.

75. Жидкостные газогенераторы, окислительные и восстановительные. Основные узлы и детали газогенераторов. Особенности процессов в газогенераторе и их расчет.

76. Влияние неравномерности распределения соотношения компонентов на экономичность камеры.

77. Соединения трубопроводов.

78. Методы расчета параметров пристеночного слоя при использовании пленочного охлаждения.

79. Уплотнения ТНА.

80. Размещение форсунок на головках, способы их крепления.

81. Агрегаты регулирования и управления, их классификация.

82. Конструкция и типы головок, их сравнительные преимущества и недостатки.

83. Пусковые и запорные клапаны и устройства (пневмоклапаны, пироклапаны, электромагнитные, обратные, мембраны) их назначение и устройство.

84. Наружное охлаждение, параметры и схемы.

85. Виды трубопроводов.

86. Конструктивные формы охлаждающих каналов, их преимущества и недостатки.

87. Химическое и газодинамическое зажигание.

88. Охлаждающий тракт с оребрением, эффективность оребрения.

89. Дроссели и стабилизаторы – назначение и конструктивная схема.

90. Узлы подвода охладителя (коллектора). Требования к их конструкции.

91. Электрические способы зажигания КРТ.

92. Оптимизация системы наружного охлаждения по минимуму гидравлического сопротивления.

93. Электромагнитные клапаны их назначение и устройство.

94. Понятие жесткого и гибкого вала

95. Потери давления на прокачку охладителя через систему охлаждения.

96. Камерное соотношение компонентов и потери экономичности, обусловленные пленочными завесами.

97. Регуляторы тяги – назначение и конструктивная схема.

98. Внутреннее охлаждение пленочными завесами, его физическая сущность и параметры.

99. Особенности криогенных трубопроводов.
100. Понятие критической частоты вращения ротора.
101. Особенности процессов при запуске и требования к запуску.
102. Неохлаждаемые сопловые насадки, конструкция и материалы.
103. Способы раскрутки ТНА.
104. Конструктивное оформление поясов завесы.
105. Особенности многократного запуска системы зажигания, примеры выполнения.
106. Понятие резонансных режимов работы ротора.
107. Последовательность процессов при останове.
108. Останов двигателя, особенности и требования к останову.

IV. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

Основой для определения оценки на экзамене служит уровень компетентности поступающего.

Оценка «отлично» предусматривает высокий уровень знаний поступающего в объеме программно-учебного материала, успешное выполнение всех экзаменационных заданий и развернутые ответы без дополнительной подготовки по смежным (дополнительным) вопросам

Оценки «хорошо» заслуживает поступающий, показавший знание материала и успешно выполняющий предусмотренные экзаменационные задания. Как правило, оценка «хорошо» выставляется абитуриентам, показавшим хороший уровень освоения материала и способным к их самостоятельному совершенствованию в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

Оценка «удовлетворительно» предусматривает знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы, научной деятельности и предстоящей работы по профессии. Как правило, оценка «удовлетворительно» выставляется абитуриентам, допустившим погрешности в ответе на экзамене, но обладающим необходимыми знаниями для их дальнейшего развития под руководством преподавателя.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется поступающему, имеющему пробелы в знаниях основного программно-учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении экзаменационных заданий и не продемонстрировавшему уровень необходимых умений, предусмотренный вузовской программой.

V. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ

Основные

1. Алемасов В.Е., Дрегалин А.Ф., Тишин А.П. Теория ракетных двигателей./ под ред. В.П. Глушко. – М.: Машиностроение, 1989
2. Белоусов А.И. и др. Конструирование ТНА и элементов камеры ЖРД с использованием 3D-моделей / учебное пособие под ред. А. И. Белоусова; – Самара : Изд-во СГАУ, 2007. - 126 с. ISBN 978-5-7883-0528-8
3. Беляев Е.Н., Черваков В.В. Математическое моделирование ЖРД – Москва : Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2009. - 277, ISBN 978-5-7035-2128-1
4. Бережинский Р.А. Конструкция и проектирование ЖРД / учеб. пособие - Воронеж, 2002. - 167 с.
5. Васильев А.П., Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей. Кн. 1,2 / Под ред. В.М. Кудрявцева. – М.: Высш. школа, 1993.
6. Володин В.А. Конструкция и проектирование ракетных двигателей – М.: Машиностроение, 1971. – 336 с.
7. Галеев А.Г. и др. Методология экспериментальной отработки ЖРД и ДУ, основы проведения испытаний и устройства испытательных стендов / монография – Киров: МЦНИП, 2014, ISBN 978-5-00090-054-3
8. Гахун Г.Г., Баулин В.И., Володин В.А. и др. Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей – М.: Машиностроение, 1989. – 424 с.
9. Гликман Б.Ф. Автоматическое регулирование жидкостных ракетных двигателей. – М.: Машиностроение, 1968. – 369 с.
10. Добровольский М.В. Жидкотные ракетные двигатели. – М.: Машиностроение, 1968. – 398 с.
11. Иванов А.В. Проектирование турбонасосного агрегата ЖРД / учебное пособие – Воронеж : Воронежский гос. технический ун-т, 2012. – 206 с.
12. Корячко В.П., Курейчик В.М., Норенков И.П. Теоретические основы САПР. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
13. Махин В.А., Пресняков В.Ф., Белик Н.П. Динамика жидкостных ракетных двигателей. – М.: Машиностроение, 1973.
14. Махутов Н.А. и др. Прочность и ресурс ЖРД / под ред. Н.А. Махутова, В.С. Рачука - Москва : Наука, 2011. – 523, ISBN 978-5-02-037472-0
15. Овсянников Б.В., Боровский Б.И. Теория и расчет агрегатов питания ЖРД. – М.: Машиностроение, 1968

16. Петров В.И., Чебаевский В.Ф. Кавитация в высокооборотных лопаточных насосах. – М.: Машиностроение, 1982.
17. Синярев Г.Б., Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели – м.: Оборонгиз, 1957. – 580с.
18. Хронин Д.В. Основы автоматизированного проектирования летательных аппаратов. – М.: Машиностроение., 1984

Дополнительные

1. Александренков В.П. Расчет наружного проточного охлаждения камеры ЖРД - Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012.
2. Гуров А.Ф., Сурнов Д.Н. Демидов А.С. Атласы конструкций двигательных и энергетических установок. 1977. Вып. 1—3. / Гипрониавиапром. М., 1977.
3. Елисеев В.Н., Товстоног В.А. Теплообмен и тепловые испытания материалов и конструкций аэрокосмической техники при радиационном нагреве / - Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 395 с., ISBN 978-5-7038-3947-8
4. Ерохин Б.Т. Теория и проектирование ракетных двигателей / Учебник для ВУЗов. – СПб.: «Лань», 2015. – 608 с.
5. Ерохин Б.Т. Теория, расчет и проектирование ракетных двигателей. / Учебник для ВУЗов. – М.: ВИНТИ, 2004. -214 с.
6. Никитин А.Н. Технология сборки двигателей летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1982.
7. Скоморохов Г.И., Иванов А.В., Шостак А.В. Стандартизация и взаимозаменяемость деталей ЖРД / учебное пособие - Воронеж : Воронежский гос. технический ун-т, 2010. - 118 с.
8. Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания. / Справочник под. Ред. Глушко В.П. – М.: ВИНТИ, 1971. – 249 с.
9. Тунаков А.П. Методы оптимизации при доводке и проектировании двигателей. М.: Машиностроение, 1979.
10. Холщевников К.В., Емин О.Н., Митрохин В.Т. Теория и расчет авиационных лопаточных машин. М.: Машиностроение, 1986.
11. Шпур Г., Краузе Ф. Автоматизированное проектирование в машиностроении. М.: Машиностроение, 1988.

Интернет-источники

1. <http://www.chemstation.com> – Универсальная моделирующая программа ChemCad
2. <http://www51.honeywell.com/ru/> – Универсальная моделирующая программа Unisim
3. <http://www.stn-international.ru>
4. <http://www.intuit.ru/department/se/oopbases/>
5. <http://www.artint.ru>
6. <http://www.raai.org/resurs/resurs.shtml>
7. <http://www.exponenta.ru>
8. <http://www.cadcam3d/narod/ru>
9. www.cad.ru
10. CAD/CAM/CAE Observer. Периодический информационно-аналитический журнал. [http:// www/cadcamcae.1v](http://www/cadcamcae.1v)