

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ АВИАЦИОННОГО
МОТОРОСТРОЕНИЯ ИМ. П.И. БАРАНОВА»**

УТВЕРЖДАЮ:

Заместитель генерального директора
по науке, д.т.н., с.н.с.

ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»



[Handwritten signature]

А.И. Ланшин

«16» апреля 2018 г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА В
АСПИРАНТУРУ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ
24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника»
(по направленности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и
энергоустановки летательных аппаратов»)**

Москва, 2018

1. ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНОЕ ДВИГАТЕЛИ

1.1. Характеристики основных узлов ВРД

Входные устройства ВРД. Типы применяемых входных устройств и их классификация. Основные параметры входных устройств и предъявляемые к ним требования. Особенности дозвуковых и сверхзвуковых входных устройств. Организация рабочего процесса в сверхзвуковых входных устройствах. Внешнее сопротивление сверхзвуковых входных устройств (СВУ). Дроссельные характеристики сверхзвуковых входных устройств. Согласование режимов работы СВУ и двигателя. Неустойчивые режимы работы СВУ — помпаж и "зуд". Задачи и способы регулирования сверхзвуковых входных устройств. Характеристики регулируемых СВУ

Лопаточные машины. Назначение и типы компрессоров ГТД. Схема принцип действия и основные параметры ступени осевого компрессора (ОК). Параметры и характеристики компрессорных решеток профилей. Потери в лопаточных венцах. Влияние радиальных и осевых зазоров на работу ступени. Особенности трансзвуковых и сверхзвуковых ступеней ОК.

Схема и особенности центробежной ступени компрессора. Работа вращения колеса и основные параметры центробежной ступени.

Основные параметры многоступенчатого ОК (каскада) и их связь с параметрами ступеней. Формы проточной части ОК (каскада). Распределение работы сжатия между ступенями ОК (каскада).

Применение теории подобия к построению характеристик компрессора. Характеристики нерегулируемых многоступенчатых компрессоров. Срывные и неустойчивые режимы. Рабочие режимы и запас устойчивости компрессора в системе ГТД. Задачи и способы регулирования компрессоров ГТД.

Схема, принцип работы и основные параметры ступени турбины ГТД. Потери в ступени турбины и их зависимость от различных факторов. Охлаждение лопаток турбины и его влияние на КПД ступени.

Основные параметры многоступенчатой турбины и их связь с параметрами её ступеней. Формы проточной части и распределение работы газа между ступенями турбины. Методы получения и способы представления характеристик газовых турбин. Характеристика ступени турбины. Характеристики многоступенчатых турбин.

Камеры сгорания. Основные закономерности процессов горения. Требования, предъявляемые к основным камерам сгорания (ОКС), и организация в них рабочего процесса. Потери полного давления в основных камерах сгорания. Процессы смешения в основных камерах сгорания. Характеристики основных камер сгорания. Поле температур газа в выходном сечении ОКС. Охлаждение стенок жаровой трубы.

Требования, предъявляемые к форсажным камерам, и организация в них рабочего процесса. Потери полного давления в форсажных камерах. Стабилизация пламени и выгорание топлива в форсажных камерах. Характеристики форсажных камер. Вибрационное горение. Охлаждение

форсажных камер.

Выходные устройства ВРД. Схемы и основные параметры выходных устройств. Виды потерь в выходных устройствах и способы их оценки. Характеристики нерегулируемых сверхзвуковых выходных устройств. Регулирование сверхзвуковых выходных устройств. Устройства реверса тяги. Устройства управления вектором тяги.

1.2. Теория, расчет и проектирования авиационных двигателей и энергетических установок

Общие вопросы теории воздушно-реактивных двигателей

Основные типы и удельные параметры ВРД. Идеальный и действительный цикл ВРД. ВРД как тепловая машина и как движитель.

Термодинамический расчёт и зависимости удельных параметров ТРД, ТРДФ и газогенераторов ТРДД от параметров рабочего процесса

Термодинамический расчёт ТРД, ТРДФ и газогенераторов ТРДД на расчётном режиме. Зависимость удельной тяги и удельного расхода топлива ТРД от основных параметров рабочего процесса. Зависимости удельной тяги и удельного расхода топлива ТРД и ТРДФ от параметров рабочего процесса.

Характеристики и методы регулирования ГТД

Понятие о характеристиках авиационных двигателей и их связи с регулированием. Способы регулирования ГТД различных типов. Совместная работа компрессоров, камеры сгорания и турбин одновальных и двухвальных ТРД. Регулирование ТРД и ТРДФ на форсированных режимах. Высотно-скоростные и дроссельные характеристики ТРД и ТРДФ. Приведение основных параметров ТРД к стандартным атмосферным условиям.

Двухконтурные двигатели для самолётов с дозвуковыми скоростями полёта

Параметры, характеризующие эффективность ТРДД. Оптимальное распределение свободной энергии между потоками внутреннего и наружного контуров. Влияние основных параметров рабочего процесса, степени двухконтурности, N и M на удельную тягу и удельный расход топлива ТРДД. Влияние параметров рабочего процесса и степени двухконтурности на удельный вес и диаметр миделевого сечения ТРДД. Высотно-скоростные и дроссельные характеристики ТРДД. Регулирование ТРДД.

Двухконтурные двигатели с форсажной камерой сгорания

Оптимальные параметры рабочего процесса ТРДДФ. Влияние параметров рабочего процесса и степени двухконтурности на удельную тягу и удельный расход топлива ТРДДФ. Высотно-скоростные и дроссельные характеристики ТРДДФ. Особенности трехконтурных двигателей.

Турбовинтовые, винтовентиляторные, турбовальные двигатели, ВСУ и ГТУ

Параметры, характеризующие эффективность работы ТВД и особенности их расчёта. Влияние параметров рабочего процесса на удельную мощность,

удельный расход топлива и удельный вес ТВД, ТВВД и ТВаД. Особенности двигателей с регенерацией тепла. Характеристики ТВД и ТВаД. Типы и особенности работы ВСУ. Типы и особенности ГТУ на основе авиационных двигателей. Регулирование силовых установок с ТВД, ТВВД, ВСУ и ГТУ.

Двигатели самолётов с вертикальным взлётом и посадкой

Возможные типы силовых установок СВВП. Подъемные ТРД. Подъемно-маршевые двигатели. Силовые установки с подъемными вентиляторами.

Прямоточные воздушно-реактивные двигатели

Особенности основных типов ПВРД и их эффективность. Удельные параметры и основные данные ПВРД. Характеристики ПВРД. Тепловое «запирание» ПВРД. Особенности ГПВРД. Регулирование ПВРД.

Неустановившиеся режимы работы авиационных ГТД

Расчёт параметров ГТД на неустановившихся режимах. Приемистость и способы её улучшения. Запуск ГТД в стартовых условиях и в полёте. Управление ГТД на неустановившихся режимах работы.

Воздействие двигателей на окружающую среду

Шум авиационных двигателей; основные понятия и нормы на допустимый уровень. Источники шума в ВРД. Способы снижения шума. Вредные выделения авиационных двигателей и причины их образования. Нормы, ограничивающие вредные выделения. Пути снижения вредных выделений. Нормирование вредных выделений.

Комбинированные силовые установки (КСУ)

Основные типы и особенности КСУ с элементами ВРД.

Гибридные и электрические авиационные силовые установки

Основные типы и особенности гибридных и электрических СУ.

Топлива для ВРД

Основные свойства углеводородных топлив, водорода и альтернативных топлив.

2. РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

2.1. Общие вопросы теории ракетных двигателей

Классификация, основные тенденции и перспективы развития

Типы ракетных двигателей (РД). Классификация РД. Ракетные двигатели на химических топливах. Особенности и области применения различных типов РД.

Термодинамический цикл ракетных двигателей

Идеальный цикл. Термодинамический КПД цикла. Соотношение между работой цикла и удельной тягой. Реальный цикл. Анализ потерь и экономичность. Система КПД ракетного двигателя. Пути уменьшения потерь.

2.2. Жидкостные ракетные двигатели

Топлива для ЖРД

Основные топлива ЖРД в соответствии с областями их применения. Однокомпонентные и двухкомпонентные топлива. Криогенные топлива и топлива длительного хранения. Термодинамические и термохимические характеристики и физические свойства жидких ракетных топлив. Состав и полная энтальпия топлива. Методика расчёта полных энтальпий горючего, окислителя и продуктов сгорания. Перспективные топлива; их преимущества и недостатки.

Камера сгорания и сопло

Физические основы рабочего процесса в камере сгорания ЖРД – распыл, испарение и перемешивание компонентов топлива, фронт пламени и время сгорания, конвективный и лучистый теплообмен. Термодинамический расчёт процессов в камере сгорания. Составление и решение уравнений для определения состава и температуры продуктов сгорания в камере и на срезе сопла. Определение термодинамических характеристик. Истечение газа из сопла. Профилирование круглых сопел. Сопла с высотной компенсацией. Сопла с перерасширением и их работа в условиях $H=0$. Расчётное определение потерь в камере и сопле, экспериментальные коэффициенты для оценки их эффективности. Расчёт действительной удельной тяги.

Определение размеров и выбор формы камеры сгорания и типа головки. Типы форсунок, их выбор расчёт и расположение на головке. Материалы, применяемые для изготовления камеры сгорания, сопла, головки и форсунок.

Устойчивость рабочего процесса. Вибрационное горение. Колебания высокочастотные и низкочастотные, продольные и поперечные. Структура областей устойчивости и неустойчивости. Способы борьбы с высокочастотным вибрационным горением.

Системы подачи топлива ЖРД

Типы систем подачи и области их применения. Системы ТНА и их особенности. Основные параметры, характеризующие работу центробежного насоса, коэффициент быстроходности, теоретический напор, гидравлические потери и их классификация. Характеристики насосов.

Сущность явления кавитации, расчёт насосов на кавитацию и определение потребного давления жидкости на входе в насос. Преднасосы, работающие на жидкости в состоянии кипения. Основные особенности расчёта газогенератора. Восстановительные и окислительные газогенераторы.

Особенности турбин ЖРД открытой и замкнутой схем. Потери в турбинах ТНА и их КПД. Расчёт и выбор основных параметров турбины.

Охлаждение ЖРД

Особенности теплообмена в ЖРД. Схемы охлаждения камеры и сопла. Распределение теплового потока по длине камеры и сопла. Определение температуры стенки со стороны газа в зависимости от параметров процесса, охлаждающей жидкости, теплопроводности, материала и толщины стенки. Расчёт наружного охлаждения камеры и сопла. Теплофизические свойства

охлаждающих компонентов и промежуточных теплоносителей. Гидравлическое сопротивление системы охлаждения. Тепловая защита стенок камеры сгорания и сопла.

Выбор оптимальных параметров ЖРД, их регулирование и характеристики

Критерии выбора оптимальных параметров. Выбор топлива и коэффициента соотношения компонентов топлива. Выбор давления в камере сгорания и степени расширения газов в сопле. Особенности расчёта дроссельной и высотной характеристик двигателя. Регулирование тяги ЖРД по высоте и режимам работы двигателя. Нерасчётные режимы работы камеры сгорания и сопла. Управление вектором тяги.

Перспективы развития ЖРД

Проблемы развития большой тяги. Однокамерный двигатель и связка. Надёжность двигательных установок. Особенности водородного двигателя и его системы подачи. Области применения водородного двигателя. Особенности ЖРД на трёхкомпонентном топливе и области его применения. Комбинированные двигатели на базе ЖРД.

2.3. Ракетные двигатели твёрдого топлива

Топлива для РДТТ

Основные технические и эксплуатационные требования к топливам РДТТ. Термодинамические и физико-механические характеристики горения топлив. Механизм горения топлив. Возможности и способы (химические и физические) изменения скорости горения. Баллистические и смесевые топлива. Состав, компоненты, технология изготовления топлив и зарядов. Перспективные топлива.

Газотермодинамика РДТТ

Одномерная теория рабочего процесса. Нестационарные процессы в двигателе. Начальный, равновесный и конечный периоды в работе двигателя. Процесс воспламенения для заряда. Скорость горения и её зависимость от давления и температуры. Тепловые и гидродинамические потери в двигателе. Эрозионное горение топлива.

Расчёт и проектирование РДТТ

Задачи проектирования РДТТ. Расчёт максимального и равновесного давлений, зависимость их от характеристик заряжения (поверхность заряда, площадь критического сечения, воспламенение и т.д.). Формы зарядов и схема размещения их в РДТТ. Уравнения горячей поверхности. Механическая и термодинамическая прочность заряда. Расчёт основных конструктивных параметров РДТТ. Выбор оптимальных размеров. Разбросы баллистических характеристик двигателей. Регулирование характеристик двигателя и вектора тяги. Газодинамическая связь двигателей. Особенности теплообмена в РДТТ и тепловая защита сопла и камеры.

2.4. Особенности гибридных РДТТ

Возможные схемы двигателей. Особенности организации рабочего процесса. Основные преимущества и недостатки.

3. АВИАЦИОННЫЕ ПОРШНЕВЫЕ ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Классификация и принцип действия поршневых ДВС. Рабочий процесс четырехтактного двигателя с искровым зажиганием. Рабочий процесс четырехтактного дизеля. Рабочий процесс двухтактного дизеля.

Компоновка ДВС. Расположение клапанов и их влияние на рабочий процесс. Поршневая группа. Шатунная группа. Цилиндровая группа и картеры. Типы системы охлаждения двигателей. Система выпуска отработанных газов. Типы камер сгорания двигателя с искровым зажиганием. Пути совершенствования поршневых ДВС.

Процесс выпуска и процесс впуска. Фазы газораспределения. Влияние различных факторов на процессы газообмена. Процесс сгорания; распределение волны горения в объеме. Процессы смесеобразования в двигателях с искровым зажиганием и дизелях.

Индикаторные показатели. Механические потери; эффективные показатели.

Система топливоподачи двигателей с искровым зажиганием. Топливные системы двигателей. Наддув ДВС и его влияние на характеристики; влияние наддува на параметры ДВС. Приводной центробежный компрессор и турбонаддув.

Топлива и их свойства. Применение в ДВС газового и других видов топлив нефтяного происхождения.

Контактная система зажигания. Электронная бесконтактная система зажигания с датчиком Холла. Цифровая система зажигания.

Регулировочные характеристики ДВС. Нагрузочные характеристики. Скоростные характеристики. Требования к двигателю и управление его работой; особенности двигателя как объекта управления.

Токсичность выхлопа продуктов сгорания ДВС; Методы измерения токсичности ДВС. Дополнительные устройства снижения токсичности отработанных газов.

Особенности роторно-поршневых и турбокомпаундных двигателей.

Основная литература

1. Нечаев Ю.Н., Федоров Р.М., Котовский В.Н., Полев А.С. Теория авиационных двигателей, часть 1, 2. М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 2006-2007.
4. Дорофеев А.А. Основы теории тепловых ракетных двигателей. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010.
5. Термодинамика : В 2 ч.: Учеб. пособие. Ч.1 / В. П. Бурдаков [и др.]. – М. : Дрофа, 2009. - 479 с. : ил. - (Высшее образование: Современный учебник).

6. Термодинамика : В 2 ч.:Учеб. пособие. Ч.2 / В. П. Бурдаков [и др.]. – М. : Дрофа, 2009. - 361 с. : ил. - (Высшее образование: Современный учебник).
- 7 Двигатели внутреннего сгорания : учебник для вузов в 3 кн. / ред. Луканин В. Н., Шатров М. Г. - М. : «Высшая школа», 2007.
8. Техническая термодинамика: учебник для вузов под ред. Кириллина В.А., М. Издательский дом МЭИ, 2008.
9. Григорьев А.А. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. Изд-во ПНИПУ, 2010.
10. Иноземцев А.А., Нихамкин М.А., Сандрацкий В.Л. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Т. 1-4. М.: Машиностроение, 2008.


Дополнительная литература

1. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. /Под ред. Сосунова В.А., Чепкина В.М. – М.: «МАИ», 2003.
2. Теория и расчёт воздушно-реактивных двигателей. /Под ред. С.М. Шляхтенко. – М.: «Машиностроение», 1987.
3. Кулагин В.В. Теория газотурбинных двигателей, кн.1, 2. М.: «МАИ», 1994.
4. Технология производства жидкостных ракетных двигателей : Учебник / В.А. Моисеев [и др.]. - М. : МГТУ им. Баумана, 2008. - 381 с. - (Технологии ракетно-космического машиностроения).
5. Испытание и обеспечение надежности ракетных двигателей : учебник. – Красноярск : СибГАУ, 2006. - 336 с.
6. Алемасов В.Е., Дрегалин А.Ф., Тишин А.Л. Теория ракетных двигателей. М.: Машиностроение, 1989.
7. Карминский В.Д. Техническая термодинамика и теплопередача. – М.: «Маршрут», 2005.
8. Теория и расчёт авиационных лопаточных машин : Учебник / К.В. Холщевников, О.Н.Емин, В.Т.Митрохин - М. : Машиностроение, 1986.
9. Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. Газотурбинные двигатели. Пермь: ОАО «Авиадвигатель», 2006.
10. Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования : Учебник / М. В. Добровольский ; под ред. Д.А. Ягодникова. – 2-е изд., перераб. и доп. - М. : МГТУ им.Баумана, 2006.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании научно-методического совета ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова».

Протокол № 11 от « 16 » апреля 2018 г.

Секретарь Научно-методического совета по
аспирантуре ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»,
к.т.н., доцент



А.С. Дрыгин