

## АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### «Проектирование комбинированных реактивных двигателей»

Дисциплина «Проектирование комбинированных реактивных двигателей» является частью программы специалитета «Проектирование ракетных двигателей твердого топлива (СУОС)» по направлению «24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей».

### Цели и задачи дисциплины

Целью дисциплины является формирование профессиональных компетенций, связанных с проектированием комбинированных реактивных двигателей летательных аппаратов и оптимизацией протекающих в них процессов; формирование научно-технического мировоззрения на основе знания особенностей сложных технических систем; воспитание навыков технической культуры. Задачи дисциплины: - изучение основных конструктивных элементов комбинированных реактивных двигателей (КРД); - изучение особенностей процессов, протекающих в КРД; - формирование навыков расчёта КРД; - овладение методологией проектирования комбинированных прямоточных двигателей летательных аппаратов..

### Изучаемые объекты дисциплины

- топлива КРД; - термогазодинамика горения топлив КРД; - методология проектирования и расчёта конструктивных элементов комбинированных реактивных двигателей..

### Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах
		Номер семестра
		10
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	46	46
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:		
- лекции (Л)	24	24
- лабораторные работы (ЛР)	18	18
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)		
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4
- контрольная работа		
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	62	62
2. Промежуточная аттестация		
Экзамен	36	36
Дифференцированный зачет		
Зачет		
Курсовой проект (КП)		
Курсовая работа (КР)		
Общая трудоемкость дисциплины	144	144

### Краткое содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
10-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Конструктивные элементы комбинированных ракетно-прямоточных двигателей на твёрдом топливе	4	2	0	12
<p>Введение</p> <p>Комбинированные реактивные двигатели (КРД) – перспективное направление в современном ракетостроении. Области применения КРД. Предмет и задачи дисциплины. Состав дисциплины. Связь с другими дисциплинами. Формы промежуточного и заключительного контроля. Рекомендуемая основная и дополнительная литература.</p> <p>Тема 1. Классификация комбинированных реактивных двигателей</p> <p>Ракетные двигатели на комбинированном топливе: гибридные ракетные двигатели (ГРД) – двигатели на смешанном твёрдожидком топливе, ракетные двигатели твёрдого топлива раздельного снаряжения (РДТТ РС). Двигатели, использующие окружающую среду: комбинированные ракетно-прямоточные двигатели на твёрдом топливе (КРПДТ), комбинированные прямоточные воздушно-реактивные двигатели твёрдого топлива (КПВРДТ), комбинированные прямоточные воздушно-реактивные двигатели на порошкообразных металлических горючих (КПВРД ПМГ) и реактивные двигатели на гидрореагирующих топливах (ГРТ). Классификация КРПДТ: тип воздухозаборного устройства (ВЗУ), тип топлива маршевой ступени, способ регулирования рабочего процесса, тип стартово-разгонной ступени.</p> <p>Тема 2. Схема летательного аппарата с КРПДТ. Варианты конструкций маршевых и стартово-разгонных ступеней</p> <p>Модуль носовой части летательного аппарата (ЛА) и двигательный отсек. Стартово-разгонная (стартово-разгонный РДТТ) и маршевая ступень (маршевый РПДТ). Газогенератор твёрдого топлива (ГГ ТТ), воздухозаборное устройство, камера сгорания (дожигания) маршевого РПДТ. Маршевые РПДТ с различными ВЗУ. Отделяемая стартово-разгонная ступень. Маршевый РПДТ и стартово-разгонный РДТТ встроенный в его камеру сгорания (КС).</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>Схемы стартово-разгонных ступеней: 1) с вкладным РДТТ, выталкиваемым после окончания работы; 2) с жёстко встроенным РДТТ; 3) с вкладным зарядом твёрдого ракетного топлива (ТРТ); 4) с зарядом ТРТ, скреплённым со стенками КС. РДТТ с отстреливаемым соплом. Бессопловой ракетный двигатель на твёрдом топливе БСРДТ.</p> <p>Тема 3. Конструкция газогенератора и переходного устройства КРПДТ Газогенератор маршевой ступени – автономный двигатель, с регулируемым расходом продуктов газогенерации. Состав ГГ: корпус (съёмное переднее днище, обечайка), заряд ТТ (моноблок торцевого горения, скреплённый с корпусом только в передней части), теплозащитное покрытие (ТЗП). Конструктивная схема твёрдотопливного заряда. Бронировка заряда. Требования, которым должны удовлетворять: корпус, топливо ГГ, ТЗП, защитно-крепящий слой (ЗКС). Назначение переходного устройства. Схема переходного устройства: переднее и заднее днища, цилиндрическая часть, шпоночные соединения, воспламенители ГГ и стартово-разгонной ступени, блок регулятора расхода продуктов газогенерации.</p> <p>Тема 4. Материалы элементов конструкции КРПД и их свойства Требования предъявляемые к материалам конструкции КРПД: корпуса ГГ, камеры сгорания маршевой ступени, сопла, ТЗП. Типичные теплофизические свойства (теплопроводность, теплоёмкость, плотность) материалов (стали 18Ni, титанида BT20, ТЗП). Предел прочности и предел текучести стали 18Ni и титанида BT20. Расчётная схема ТЗП. Типовые толщины конструкции ГГ, КС маршевой ступени, сопла, ВЗУ. Толщины ТЗП и защитно-крепящего слоя (бронировки заряда)</p>				
Проектирование КРПДТ	8	6	0	20
<p>Тема 7. Этапы разработки комбинированных прямоточных двигателей Принципы системного и комплексного подхода. Система автоматизированного</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>проектирования (САПР), интеллектуальная система автоматизированного проектирования (ИСАПР). Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Последовательность этапов разработки: 1) техническое задание; 2) техническое предложение (аванпроект); 3) эскизный проект; 4) разработка рабочей документации: а) на опытный образец, б) на серийное производство. Основные требования при проектировании комбинированных прямоточных двигателей. Формирование основных исходных данных: базовые траектории полёта ЛА, заданные время и дальность полёта, конечная скорость ЛА, массогабаритные ограничения, аэродинамические характеристики ЛА, характеристики ВЗУ, стартово-разгонной ступени, топлива ГГ, рабочего процесса в КС (коэффициент полноты сгорания топлива), потери полного давления по тракту КПРДТ, импульса тяги в сопле.</p> <p>Тема 8. Расчёт и проектирование газогенератора маршевой ступени Термодинамический расчёт газогенераторных топлив. Определение температуры, состава, газовой постоянной и расходного комплекса продуктов газогенерации в зависимости от давления в ГГ. Закон скорости горения топлива ГГ в зависимости от давления и температуры. Диапазоны изменения температуры и давления стабильного горения твёрдого топлива. Расчёт характеристик газогенератора: давления и суммарной площади выходных сечений в зависимости от заданного расхода продуктов газогенерации (для разных температур заряда ГГ). Проектирование газогенератора с регулируемым расходом продуктов газогенерации. Проектирование переходного устройства.</p> <p>Тема 9. Характеристики ВЗУ прямоточных двигателей Коэффициенты расхода воздуха и восстановления полного давления в диффузоре в зависимости от угла атаки: для разных чисел Маха набегающего потока воздуха и для разных вариантов компоновки ВЗУ на корпусе ЛА (двухпатрубковые ВЗУ,</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>расположенные под углом 90 и 180°, четырёхпатрубковые, расположенные крестообразно и крестообразно повернутые). Совместное влияние углов атаки и скольжения ЛА на характеристики ВЗУ. Коэффициенты запаса по помпажу и по зуду. Выбор оптимальной конструкции ВЗУ.</p> <p>Тема 10. Расчёт и проектирование маршевого РПДТ</p> <p>Термодинамический расчёт процесса горения в камере дожигания. Определение температуры, состава, газовой постоянной и расходного комплекса продуктов сгорания в зависимости от коэффициента избытка воздуха и его энтальпии. Приближённый расчёт расходных, высотных и скоростных характеристик маршевого двигателя с нерегулируемыми ВЗУ и соплом. Учёт запаса по помпажу и по зуду, потерь полного давления в каналах ВЗУ, на входе в КС (при смещении и завихрении потоков), в КС (возникают при подводе тепла при больших скоростях потока). Выбор оптимальных режимов работы РПДТ.</p> <p>Проектирование камеры сгорания маршевого РПДТ.</p>				
Особенности проектирования КПВРД ПМГ	6	4	0	14
<p>Тема 11. Экспериментально-теоретическое обоснование работоспособности и эффективности основных систем КПВРД ПМГ</p> <p>НТГГ: обоснование длительной (более 300 с) генерации газа с низкой температурой (менее 300° С) и заданным расходом. Система подачи ПМГ: обоснование устойчивой подачи порошкообразного горючего с глубоким регулированием расхода (более 10 раз) и равномерным распыливанием по поперечному сечению форкамеры. Форкамера: устойчивое воспламенение, стабилизация пламени и первичное горение ПМГ. Основная камера сгорания: эффективность вторичного горения.</p> <p>Тема 12. Расчёт и проектирование маршевого ПВРД ПМГ</p> <p>Термодинамический расчёт горения аэрозвеси порошков металлов в форкамере и основной камере сгорания. Определение температуры, состава, газовой постоянной и</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
расходного комплекса продуктов сгорания в зависимости от коэффициента избытка воздуха и его энтальпии. Приближённый расчёт расходных, высотных и скоростных характеристик маршевого двигателя с нерегулируемыми ВЗУ и соплом. Учёт запаса по помпажу и по зуду, потерь полного давления в каналах ВЗУ, на входе в основную камеру и в основной камере сгорания. Выбор оптимальных режимов работы ПВРД ПМГ.				
Особенности конструкции КПВРД ПМГ	6	6	0	16
Тема 5. Система регулируемой подачи порошкообразного горючего и низкотемпературный газогенератор Схема системы подачи ПМГ с низкотемпературным газогенератором (НТГГ). Основные элементы системы подачи: бак с ПМГ, поршень с перепадным клапаном, запорно-регулирующий клапан с газовым приводом. Предназначение и состав НТГГ (корпус, заряд твёрдого газогенераторного топлива, порошкообразный ёмкостный охладитель горячих продуктов газогенерации, стабилизатор давления в ГГ). Тема 6. Особенности конструкции КС маршевого ПВРД ПМГ Схема камеры сгорания. Основные элементы: форкамера (камера воспламенения и первичного горения ПМГ, устройство распыла ПМГ, узел подачи первичного воздуха, воспламенитель), основная камера сгорания (камера вторичного горения ПМГ, узел подачи вторичного воздуха). Особенности выбора ТЗП форкамеры.				
ИТОГО по 10-му семестру	24	18	0	62
ИТОГО по дисциплине	24	18	0	62