



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ДВАЖДЫ ГЕРОЯ
СОВЕТСКОГО СОЮЗА, ЛЕТЧИКА-КОСМОНАВТА А.А. ЛЕОНОВА»

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. проректора

А.В. Троицкий

« ____ » _____ 2023 г.

ИНСТИТУТ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

КАФЕДРА ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ РАКЕТНОГО
ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ (КБ Химмаш, базовая кафедра)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ «ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ»

Специальность: 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов

Специализация №21: Производство и технологическая отработка изделий ракетно-космической техники

Уровень высшего образования: специалитет

Квалификация (степень) выпускника: инженер

Форма обучения: очная, очно-заочная

Королёв
2023

Рабочая программа является составной частью основной профессиональной образовательной программы и проходит рецензирование со стороны работодателей в составе основной профессиональной образовательной программы. Рабочая программа актуализируется и корректируется ежегодно.

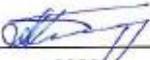
Автор: Токарчук О.Ю. Рабочая программа дисциплины: «Перспективные ракетные двигатели» – Королев МО: «Технологический университет», 2023.

Рецензент: к.т.н. Смирнов И.А.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по специальности 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов» и Учебного плана, утвержденного Ученым советом Университета.

Протокол № 9 от 11.04.2023 г.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры:

Заведующий кафедрой (ФИО, ученая степень, звание, подпись)	Смирнов И.А. к.т.н. 				
Год утверждения (переподтверждения)	2023	2024	2025	2026	2027
Номер и дата протокола заседания кафедры	№ 9 от 28.03.2023г.	№ __ от _____.20__г.			

Рабочая программа согласована:

Руководитель ОПОП ВО  Мороз А.П., д.т.н., с.н.с.

Рабочая программа рекомендована на заседании УМС:

Год утверждения (переподтверждения)	2023	2024	2025	2026	2027
Номер и дата протокола заседания УМС	№ 5 от 11.04.2023г.	№ __ от _____.20__г.			

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Целью изучения дисциплины является овладение:

1. Физико-математическим описанием процессов: воспламенения, тепломассообмена, нестационарного, турбулентного и неустойчивого горения топлива;
2. Физико-математическим описанием процессов газотермодинамики гетерогенных и гомогенных продуктов горения;
3. Методами математического моделирования энергетических характеристик и параметров рабочего процесса для нестационарных и квазистационарных режимов функционирования ракетных двигателей различного назначения.

В процессе обучения студент приобретает и совершенствует следующие компетенции.

Профессиональные компетенции (ПК):

ПК-1. Способность проводить теоретические и экспериментальные исследования в области создания новых образцов космической техники в соответствии с тактико-техническими характеристиками и техническим заданием;

ПК-2. Способность проектировать космические аппараты, космические системы и их составные части;

ПК-7. Способность внедрять в производство технологические процессы сборки и испытаний изделий и агрегатов РКТ.

Основными **задачами** дисциплины являются:

1. Изучение методов расчета потерь удельного импульса тяги, разбросов основных параметров рабочего процесса и способы выбора системы управления вектором тяги летательного аппарата;
2. Рассмотрение математических моделей и методов расчета проектных и газодинамических параметров ракетно-прямоточных воздушно-реактивных двигателей;
3. Изучение общего обзора, классификации и краткой характеристики ракетных двигателей и их рабочих тел;
4. Рассмотрение теории термических ракетных двигателей, основ конструирования и проектирования ракетных двигателей, работающих на жидком и твердом химическом топливе.

Показатель освоения компетенции отражают следующие **индикаторы:**

Трудовые действия:

- Владеет навыками проведения анализа вариантов технических решений при разработке проектов космических аппаратов, космических систем и их составных частей;
- Владеет навыками проведения технико-экономического и функционально-стоимостного анализа проектов космических аппаратов, космических систем и их составных частей;
- Владеет навыками выполнения расчетов с использованием специализированного ПО;
- Владеет навыками отработки конструкции изделий на технологичность с оформлением карт отработки.
- Владеет навыками проведения экспериментальных и опытных работ по внедрению технологических процессов сборки и испытаний изделий и агрегатов РКТ, оснастки, оборудования в составе комиссии.

Необходимые умения:

- Умеет анализировать перспективы развития как ракетно-космической техники в целом, так и ее отдельных видов для проработки технических заданий;
- Умеет обрабатывать информацию о разработке и сертификации космических аппаратов, космических систем и их составных частей из различных источников, в том числе на английском языке;
- Умеет формулировать вопросы и заносить их в журнал конструктивных замечаний;
- Умеет оформлять акты внедрения технологического процесса сборки и испытаний изделий и агрегатов РКТ.
- Умеет разрабатывать рекомендации и заключения по использованию результатов теоретических и экспериментальных исследований космических аппаратов, космических систем и их составных частей;

Необходимые знания:

- Знает основы метрологии, стандартизации и сертификации;
- Знает единую систему конструкторской документации, особенности инженерно-технического подхода к решению профессиональных проблем;
- Знает основы инженерного синтеза сложных систем, аналитический аппарат и алгоритмы приложения в технике;
- Знает основы систем автоматизированного проектирования;
- Знает: технические требования к КД;
- Знает НД организации в части отработки КД на технологичность, по внедрению и аттестации технологических процессов;
- Знает современные технологии сборки и испытаний агрегатов и изделий РКТ.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору вариативной части, формируемой участниками образовательных отношений основной профессиональной образовательной программы подготовки по специальности 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов».

При очной форме обучения дисциплина реализуется на 5-ом курсе в 9-ом и А семестрах кафедрой «Техники и технологии».

При очно-заочной форме обучения дисциплина реализуется на 5-ом и 6-ом курсе в А и В семестрах кафедрой «Ракетных двигателей (КБ Химмаш, базовая кафедра)».

Дисциплина «Перспективные ракетные двигатели» базируется на дисциплинах «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Физика», «Механика жидкости и газа», «Термодинамика и теплопередача», «Основы устройства ракет и КА», «Пневмогидравлические системы» и ранее частично изученные компетенции УК-1, УК-2, УК-6, ОК-2, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ОПК-7, ПК-1, ПК-2, ПК-7.

Знания и компетенции, полученные при освоении дисциплины «Перспективные ракетные двигатели» являются базовыми для прохождения производственной практики и при подготовке выпускной квалификационной работы.

3. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость освоения дисциплины для обучающихся при очной форме обучения составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.

Общая трудоемкость освоения дисциплины для обучающихся при очно-заочной форме обучения составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.

Таблица 1

Виды занятий	Всего часов	Семестр 9	Семестр 10 (А)	Семестр 11 (В)	Семестр 12 (С)
Общая трудоемкость	216	108	108		
ОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ					
Аудиторные занятия	96	32	64		
Лекции (Л)	48	16	32		
Практические занятия (ПЗ)	48	16	32		
Лабораторные работы (ЛР)					
Практическая подготовка					
Самостоятельная работа	120	76	44		
Курсовые работы (проекты)					
Расчетно-графические работы					
Контрольная работа					

Текущий контроль знаний	Тест	+	+		
Вид итогового контроля	Зачет / Зачет с оценкой	Зачет	Зачет с оценкой		
ОЧНО-ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ					
Общая трудоемкость	216		108	108	
Аудиторные занятия	52		24	28	
Лекции (Л)	24		12	12	
Практические занятия (ПЗ)	28		12	16	
Лабораторные работы (ЛР)					
Практическая подготовка					
Самостоятельная работа	164		84	80	
Курсовые работы (проекты)					
Расчетно-графические работы					
Контрольная работа					
Текущий контроль знаний	Тест		+	+	
Вид итогового контроля	Зачет / Зачет с оценкой		Зачет	Зачет с оценкой	

4. Содержание дисциплины

4.1. Темы дисциплины и виды занятий

Таблица 2

Наименование тем	Лекции, час, очн/очн.-заоч	Практ. занятия час, очн/очн.-заоч	Занятия в интеракт. форме, час очн/очн.-заоч	Код компетенций
Тема 1. Общие сведения о ракетных двигателях (РД)	2/1	2/2	-/2	ПК-1, ПК-2, ПК-7
Тема 2. Реактивный двигатель	2/1	2/1	-/-	ПК-1, ПК-2, ПК-7
Тема 3. Химические РД	2/1	2/2	-/2	ПК-1, ПК-2, ПК-7
Тема 4. Параметры, характеризующие ЖРД	2/1	2/2	-/-	ПК-1, ПК-2, ПК-7
Тема 5. Классификация и области применения жидкостных ракетных двигателей	4/2	4/2	4/2	ПК-1, ПК-2, ПК-7
Тема 6. Вспомогательные двигатели	2/1	2/1	-/-	ПК-1, ПК-2, ПК-7
Тема 7. Энергосиловые установки КА. Энергетические установки космических аппаратов	4/2	4/2	4/2	ПК-1, ПК-2, ПК-7
Тема 8. Электрохимические космические энергоустановки	2/1	2/1	-/-	ПК-1, ПК-2, ПК-7
Тема 9. Солнечные фотоэлектрические космические энергоустановки	2/1	2/1	-/-	ПК-1, ПК-2, ПК-7

установки				
Тема 10. Космические энергоустановки на основе радиоизотопных генераторов	2/1	2/1	-/-	ПК-1, ПК-2, ПК-7
Тема 11. Космические энергоустановки на основе ядерных реакторов	2/1	2/2	-/-	ПК-1, ПК-2, ПК-7
Тема 12. Двигательные установки космических аппаратов, их классификация	4/2	4/2	-/-	ПК-1, ПК-2, ПК-7
Тема 13. Маршевые жидкостные ракетные двигатели КА	4/2	4/2	2/-	ПК-1, ПК-2, ПК-7
Тема 14. Особенности ЖРД МТ	2/1	2/1	2/1	ПК-1, ПК-2, ПК-7
Тема 15. Режимы работы ЖРДМТ. Динамические и энергетические параметры ЖРД МТ	2/1	2/1	2/2	ПК-1, ПК-2, ПК-7
Тема 16. Электроракетные двигательные установки космических аппаратов	2/1	2/1	2/2	ПК-1, ПК-2, ПК-7
Тема 17. Электротермические двигатели. Электростатические ЭРД. Электромагнитные ЭРД	2/1	2/1	2/2	ПК-1, ПК-2, ПК-7
Тема 18. Ядерные ракетные двигатели и ДУ КА	2/1	2/1	2/-	ПК-1, ПК-2, ПК-7
Тема 19. Ядерные ракетные двигатели с реактором деления. Твердофазные ядерные ракетные двигатели. Газофазные Ядерные ракетные двигатели	2/1	2/1	2/-	ПК-1, ПК-2, ПК-7
Тема 20. Жидкофазные и коллоидные Ядерные ракетные двигатели. Термоядерные РД. Тепловой радиоизотопный Ядерные ракетные двигатели	2/1	2/1	2/1	ПК-1, ПК-2, ПК-7
Итого:	48/24	48/28	24/16	

4.2. Содержание тем дисциплины

Тема 1. Общие сведения о ракетных двигателях (РД)

История развития ракетных двигателей.

Терминология и специфические особенности ракетных двигателей.

Рабочее тело.

Величина тяги.

Характерны типы двигательных систем: энергия преобразуется вне двигателя, энергия внутри двигателя и система при этом не требует дополнительных устройств (двигателя).

Система двигателя прямой реакции – реактивная.

Класс неракетных двигателей: гидрореактивные, различные типы воздушно-реактивных двигателей (турбокомпрессорный, прямоточный, пульсирующий), плазменный электрореактивный двигатель.

Тема 2. Реактивный двигатель

Определение понятия - реактивный двигатель.

Основными характерными особенностями ракетных двигателей: автономность от окружающей среды, независимость тяги от скорости движения аппарата, высокая концентрация подводимой энергии на единицу массы рабочего тела.

Целесообразные области применения РД.

Энергия, которую можно использовать в РД на современном уровне техники: запасенная в форме ядерной, электрической, тепловой и химической.

Нехимические РД: использующие ядерную, электрическую и тепловую энергию.

Тема 3. Определение химических РД

Топливо- как носитель химической энергии.

Одно-, двух- и многокомпонентное топливо.

Двухкомпонентное топливо: горючее и окислитель.

Источником энергии данного двигателя - реакция горения (экзотермическая, идущая с выделением теплоты).

Химическое топливо - одновременно источник энергии и источник рабочего тела для получения тяги.

Характерная особенность химических РД: необходимость иметь на борту аппарата горючее и окислитель, высокий удельный расход топлива.

Тема 4. Параметры, характеризующие ЖРД

Основные параметры, характеризующие ЖРД: тяга двигателей, импульс тяги, удельный импульс, удельная масса и др.

Тяговая характеристика РД. Импульс тяги РД. Удельный импульс РД.

Тенденция развития ЖРД.

Удельная масса двигателя.

Уравнение И. В. Мещерского описывающее движение ракеты в идеальных условиях.

Показатели оценки массового качества конструкции.

Эксплуатационные, технические и технологические показатели качества ЖРД: род применяемого топлива; время работы; многократность или одноразовость включения; многократность или одноразовость применения; диапазон регулирования тяги; надежность работы и т.п.

Тема 5. Классификация и области применения жидкостных ракетных двигателей

Основные определяющие признаки классификации: род топлива и тип системы подачи.

Области применения ракеты с ЖРД.

Разделение по назначению двигателей ракет: основные и вспомогательные.

Ступени ракеты с ЖРД.

Трехступенчатая ракета-носитель космического корабля «Восток».

Особенность первой ступени - четыре блока, расположенных вокруг центрального блока (вторая ступень) в плоскости стабилизации.

Тема 6. Вспомогательные двигатели

Вспомогательные двигатели области и особенности их применения: корректирующие, ориентации, стабилизации, стыковочные, тормозные.

Требования, предъявляемые к вспомогательным двигателям: высокая степень надежности, длительное пребывание в режиме стартовой готовности, многократный запуск и др.

Тема 7. Энергосиловые установки КА. Энергетические установки космических аппаратов

Общие сведения о космических аппаратах (КА) и их двигательных и энергетических установках (ДУ и ЭУ)

Условия эксплуатации двигательных энергетических установок КА в космосе

Основные требования к энергосиловым установкам

Схемы энергосиловых установок

Взаимосвязи ЭСУ и КА

Основные источники энергии космических аппаратов

Тема 8. Электрохимические КЭУ

Состав и структурная схема КЭУ

Электрохимические КЭУ

Принцип работы электрохимического источника тока

Использование аккумуляторных батарей в КЭУ.

Водородно-кислородные топливные элементы

Электрохимический генератор

Тема 9. Солнечные фотоэлектрические КЭУ

Фотоэлектрические преобразователи

Солнечные батареи

Пути совершенствования КЭУ на основе СБ

Тема 10. КЭУ на основе радиоизотопных генераторов

Радиоактивные изотопы

Радиоизотопные генераторы.

Термоэлектрические преобразователи

Пути совершенствования КЭУ на основе РИГ

Тема 11. КЭУ на основе ядерных реакторов

Применение ядерных энергетических установок в космосе

Термоэлектрические реакторы-преобразователи

Американские и советские космические аппараты с ЯЭУ

ЯЭУ с термоэмиссионными преобразователями

Тема 12. Двигательные установки космических аппаратов, их классификация.

Назначение ДУ и общие сведения об управлении движением космических аппаратов

Источники энергии и массы для функционирования ракетных двигателей ДУ и их классификация.

ЖРД КК «Союз», «Восток», «Аполлон», РБ «Фрегат», АМС

Тема 13. Маршевые жидкостные ракетные двигатели КА

ЖРД КК «Союз», «Восток», «Аполлон», РБ «Фрегат», АМС

Основные параметры и характеристики ЖРД

Тяга ЖРД

Удельный импульс тяги ЖРД

Удельная масса ЖРД

Время работы ЖРД

Тема 14. Особенности ЖРДМТ

Классификация, область применения и требования, предъявляемые к реактивным системам управления

Отличительные особенности ЖРДМТ

Тема 15. Режимы работы ЖРДМТ. Динамические и энергетические параметры ЖРДМТ

Импульсным режимом работы

Установившийся и неуставившийся импульсные режимы работы

Понятие тяги ЖРДМТ

Газовый ракетный двигатель малой тяги МД08-02

ЖРДМТ каталитического разложения С5.221 и С5.216

Однокомпонентный термокаталитический ракетный двигатель малой тяги К50-10.

Тема 16. Электроракетные двигательные установки космических аппаратов

Характеристика и классификация электроракетных двигательных установок

Принципы работы ЭРД.

Энергетические характеристики ЭРД

Тема 17. Электротермические двигатели. Электростатические ЭРД. Электромагнитные ЭРД

Электронагревные и электродуговые ЭРД

Ионный двигатель. Принципиальная схема ионного двигателя

Электромагнитные двигатели
Электроракетные двигатели и двигательные установки КА для решения конкретных задач

Стационарные плазменные двигатели

Тема 18. Ядерные ракетные ДУ КА

Сравнение ядерных ракетных двигателей с другими ракетными двигателями

Принцип действия и классификация ядерных ракетных двигателей

Тема 19. ЯРД с реактором деления. Твердофазный ЯРД. Газофазные ЯРД

Общее устройство и физическая сущность ЯРД с реактором деления

Твердофазный ЯРД

Рабочие тела ЯРД.

Замедлители и отражатели. Устройство тепловыделяющих элементов

Управление работой ЯРД. Газофазные ЯРД

Тема 20. Жидкофазные и коллоидные ЯРД. Термоядерные РД. Тепловой радиоизотопный ЯРД

Жидкофазные и коллоидные ЯРД. ЯРД с реактором синтеза. Тепловой радиоизотопный ЯРД. ЯРД и космические полеты будущего

Проекты ядерной двигательной-энергетической установки 21 века

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы по дисциплине

1. «Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины».
2. Рабочая тетрадь.
3. Глоссарий.

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Структура фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Перспективные ракетные двигатели» приведена в Приложении 1.

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература:

1. Ерохин, Б.Т. Теория и проектирование ракетных двигателей: учебник. СПб.: Лань, 2015. — 597 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=60037
2. Минашин, А.Г. Основы теории и проектирования жидкостных ракетных двигателей малой тяги: учебное пособие: в 2-х частях. Часть 2 [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Г. Минашин, Б.Б. Петрикевич. — Электрон. дан. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана (Московский государственный

технический университет имени Н.Э. Баумана), 2014. — 48 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=62055

Дополнительная литература:

1. Дорофеев, А.А. Ядерные ракетные двигатели и энергетические установки. – М.: Издательство: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. - 342 с.
2. Введение в ракетно-космическую технику. Общие сведения: учебное пособие для студентов и аспирантов смежных специальностей Ч. 1-3 / А. П. Аверьянов, Л.Г. Азаренко, Г.Г. Вокин, Н.А. Кашеев, Л.А. Манчева, В.С. Чаплинский. - Королев МО\; КИУЭС, 2011. Библиотека «МГОТУ».
3. Конструкция и проектирование изделий ракетно-космической техники. Основы проектирования ракет-носителей / В. И.; Куренков В.И., Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. акад. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Самара: Изд-во СГАУ, 2012. - 304с. <http://rucont.ru/efd/230123>.
4. Охочинский, М.Н. Методы поиска новых технических решений в ракетно-космической технике: учебное пособие для вузов: учебное пособие / М.Н. Охочинский, С.А. Чириков. — СПб.: БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова (Балтийский государственный технический университет «Военмех» имени Д.Ф. Устинова), 2010. — 71 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=64106
5. Цуцуран В. И., Петрухин Н. В., Гусев С. А. Военно-технический анализ состояния и перспективы развития ракетных топлив: Учеб. - М.: МО РФ, 1999 -332 с.
6. Проектирование транспортных средств специального назначения: учеб. пособие / Е.В. Воробьев, О.Е. Денисов, В.И. Кузнецов; под ред. А.Н. Совы. - М.: МАДИ, 2014. - 96 с.
7. Теория горения и взрыва: практикум: Учебное пособие / В.А. Девисилов, Т.И. Дроздова, С.С. Тимофеева. - 2 изд., перераб. и доп. - М.: Форум: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 384 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-00091-006-1, <http://znanium.com/bookread2.php?book=489498>.
8. Добровольский, М.В. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: учеб. для вузов / М.В. Добровольский; под ред. Д.А. Ягодникова. – 2-е изд. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 488 с.
9. Козлов А.А. Системы питания и управления жидкостных ракетных двигательных установок / А.А. Козлов, В.Н. Новиков, Е.В. Соловьев. – М.: Машиностроение, 1988. – 352 с.
10. Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей : учеб. для вузов / Г.Г. Гахун [и др.]; под общ. ред. Г.Г. Гахуна. – М.: Машиностроение, 1989. – 424 с.
11. ГОСТы Р ИСО 15859-...-2010. Системы космические. Характеристики, отбор проб и методы анализа текучих сред. Основные положения действующих стандартов на компоненты ракетного топлива, используемого в оборудовании летательных аппаратов и средствах, системах и оборудовании наземного базирования. Предельные значения содержания компонентов топ-

лива, требования к методам отбора проб и методам анализа для контроля состава.

12. ГОСТ 7.32-2001. Отчет о научно-исследовательской работе (НИР).

13. ГОСТ Р 7.0.5–2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

14. Проектирование транспортных средств специального назначения: учеб. пособие / Е.В. Воробьев, О.Е. Денисов, В.И. Кузнецов; под ред. А.Н. Совы. - М.: МАДИ, 2014. - 96 с.

15. Паневин, И. Г. Космические ядерные ракетные двигатели /И.Г. Паневин, В.И. Прищепа, В.Н. Хазов// Новое в жизни, науке, технике. Серия: Космонавтика, астрономия, 6, 1978. -М.: Знание, 1978.-64 с.

16. Теория и расчет энергосиловых установок космических летательных аппаратов / Л.А. Квасников, Л.А. Латышев, Н.Н. Пономарев-Степной, Д.Д. Севрук, В.Б. Тихонов. —Изд. второе, перераб. и доп. —М.: Изд-во МАИ, 2001. —480 с.: ил.10.

17. Гуцин, В.Н. Основы устройства космических аппаратов: Учебник для вузов. –М.: Машиностроение, 2003. –272 с.: ил.

18. Морозов, А. И. Космические электрореактивные двигатели:Новое в жизни, науке, технике. Сер.Космонавтика, астрономия, No 7//А. И.Морозов, А. П. Шубин. –М.: Знание, 1975. –64 с, ил.

19. Гришин, С. Д. Электрические ракетные двигатели/С. Д.Гришин, Л. В.Лесков, Н. П.Козлов. -М.: Машиностроение, 1975.-272 с.

20. Теория и расчет энергосиловых установок космических летательных аппаратов / Л.А. Квасников, Л.А. Латышев, Н.Н. Пономарев-Степной, Д.Д. Севрук, В.Б. Тихонов. —Изд. второе, перераб. и доп. —М.: Изд-во МАИ, 2001. —480 с.: ил.

21. Гуров, А. Ф. Конструкция и расчет на прочность космических электроракетных двигателей/А. Ф.Гуров, Д. Д.Севрук, Д. Н.Сурнов. - М.:Машиностроение 1970. -492 с.

Электронные ресурсы образовательной среды «МГОТУ»:

– <http://biblioclub.ru/index.php>- библиоклуб (университетская библиотека);

– <http://www.znaniyum.com> - электронно-библиотечная система Znaniyum.com!;

– <http://e.lanbook.com> -электронно-библиотечная система издательства «Лань»;

– <http://www.rucont.ru/> -Национальный цифровой ресурс Руконт - межотраслевая электронная библиотека (ЭБС);

<http://www.polpred.com/> - ООО "ПОЛПРЕД Справочники".

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Интернет-ресурсы:

1. Информационно - правовой сервер ГАРАНТ - <http://www.garant.ru>
2. Общероссийская сеть распространения правовой информации Консультант Плюс - <http://www.consultant.ru>
3. [http:// sk.ru/foundation/space/](http://sk.ru/foundation/space/) - Кластер «Космические технологии и телекоммуникации»
4. <http://www.gctc.ru/> - Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный Центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина»).
5. <http://www.gost.ru/wps/portal/> - Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)
6. <http://standard.gost.ru/wps/portal/> - Портал Росстандарта по стандартизации
7. <http://tk.gost.ru/wps/portal/> - Портал технических комитетов Росстандарта
8. <http://iso.gost.ru/wps/portal/> - Портал по международной стандартизации
9. <http://iec.gost.ru/wps/portal/> - Портал Международной электротехнической комиссии (МЭК; англ. International Electrotechnical Commission, IEC)
10. <http://wto.gost.ru/wps/portal/> - Информационный портал ВТО
11. <http://www.easc.org.by/> - Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации
12. www.znanium.com - Электронно-библиотечная система Znanium.com.
13. <http://eup.ru/catalog/all-all.asp> – научно-образовательный портал.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Методические указания для обучающихся, по освоению дисциплины, приведены в Приложении 2.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень программного обеспечения: *MSoftware*.

Информационные справочные системы:

1. Ресурсы информационно-образовательной среды «МГОТУ»
2. Рабочая программа и методическое обеспечение по дисциплине «Перспективные ракетные двигатели».

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Лекционные занятия:

- аудитория, оснащенная презентационной техникой (компьютер, проектор, экран, электронная доска);
- комплект электронных презентаций/слайдов.

Практические занятия:

- компьютерный класс с проектором для интерактивного обучения, оборудованный современными лицензионными программно-техническими средствами: операционная система не ниже Windows XP; офисные программы MSOffice, рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
- рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет.

Приложение 1

**Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации
обучающихся по дисциплине (модулю)**

**ИНСТИТУТ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ
И ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**КАФЕДРА ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ РАКЕТНОГО
ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ (КБ Химмаш, базовая кафедра)**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

«ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ»

Специальность: 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов»

Специализация: №21 «Производство и технологическая отработка изделий ракетно-космической техники»

Уровень высшего образования: специалитет

Квалификация (степень) выпускника: инженер

Форма обучения: очная, очно-заочная

**Королев
2023**

1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

№ п/п	Индекс компетенции	Содержание компетенции	Раздел дисциплины, обеспечивающая формирование компетенции	В результате изучения раздела дисциплины, обеспечивающего формирование компетенции, обучающийся приобретает:		
				Трудовые действия	Необходимые умения	Необходимые знания
1						
1	ПК-1	Способность проводить теоретические и экспериментальные исследования в области создания новых образцов космической техники в соответствии с тактико-техническими характеристиками и техническим заданием	Темы 1-17	Владеет навыками проведения анализа вариантов технических решений при разработке проектов космических аппаратов, космических систем и их составных частей; Владеет навыками проведения технико-экономического и функционально-стоимостного анализа проектов космических аппаратов, космических систем и их составных частей; Владеет навыками выполнения расчетов с использованием специализированного ПО; Владеет	Умеет анализировать перспективы развития как ракетно-космической техники в целом, так и ее отдельных видов для проработки технических заданий; Умеет обрабатывать информацию о разработке и сертификации космических аппаратов, космических систем и их составных частей из различных источников, в том числе на английском языке; Умеет формулировать вопросы и заносить их в журнал конструктивных замечаний;	Знает основы метрологии, стандартизации и сертификации; Знает единую систему конструкторской документации, особенности инженерно-технического подхода к решению профессиональных проблем; Знает основы инженерного синтеза сложных систем, аналитический аппарат и алгоритмы приложения в технике; Знает основы систем автоматизированного проектирования; Знает: технические требования к КД; Знает НД организации в части отработки КД на технологичность, по внедрению и аттестации технологических процессов; Знает современ-

				<p>навыками отработки конструкции изделий на технологичность с оформлением карт отработки. Владеет навыками проведения экспериментальных и опытных работ по внедрению технологических процессов сборки и испытаний изделий и агрегатов РКТ, оснастки, оборудования в составе комиссии.</p>	<p>Умеет оформлять акты внедрения технологического процесса сборки и испытаний изделий и агрегатов РКТ; Умеет разрабатывать рекомендации и заключения по использованию результатов теоретических и экспериментальных исследований космических аппаратов, космических систем и их составных частей.</p>	<p>ные технологии сборки и испытаний агрегатов и изделий РКТ.</p>
2	ПК-2	Способность проектировать космические аппараты, космические системы и их составные части	Темы 3 - 20	<p>Владеет навыками проведения анализа вариантов технических решений при разработке проектов космических аппаратов, космических систем и их составных частей; Владеет навыками проведения технико-экономического и функционально-стоимостно-</p>	<p>Умеет анализировать перспективы развития как ракетно-космической техники в целом, так и ее отдельных видов для проработки технических заданий; Умеет обрабатывать информацию о разработке и сертификации космических аппаратов,</p>	<p>Знает основы метрологии, стандартизации и сертификации; Знает единую систему конструкторской документации, особенности инженерно-технического подхода к решению профессиональных проблем; Знает основы инженерного синтеза сложных систем, аналитический аппарат и алгоритмы приложения в технике;</p>

				<p>го анализа проектов космических аппаратов, космических систем и их составных частей;</p> <p>Владеет навыками выполнения расчетов с использованием специализированного ПО;</p> <p>Владеет навыками отработки конструкции изделий на технологичность с оформлением карт отработки.</p> <p>Владеет навыками проведения экспериментальных и опытных работ по внедрению технологических процессов сборки и испытаний изделий и агрегатов РКТ, оснастки, оборудования в составе комиссии.</p>	<p>космических систем и их составных частей из различных источников, в том числе на английском языке;</p> <p>Умеет формулировать вопросы и заносить их в журнал конструктивных замечаний;</p> <p>Умеет оформлять акты внедрения технологического процесса сборки и испытаний изделий и агрегатов РКТ;</p> <p>Умеет разрабатывать рекомендации и заключения по использованию результатов теоретических и экспериментальных исследований космических аппаратов, космических систем и их составных частей.</p>	<p>Знает основы систем автоматизированного проектирования;</p> <p>Знает: технические требования к КД;</p> <p>Знает НД организации в части отработки КД на технологичность, по внедрению и аттестации технологических процессов;</p> <p>Знает современные технологии сборки и испытаний агрегатов и изделий РКТ.</p>
3	ПК-7	Способность внедрять в производство технологические процессы сборки и испытаний изделий и аг-	Темы 4, 5, 8, 9, 13, 15, 19	Владеет навыками проведения анализа вариантов технических	Умеет анализировать перспективы развития как ракетно-космической	Знает основы метрологии, стандартизации и сертификации; Знает единую систему кон-

		<p>регатов РКТ.</p>		<p>решений при разработке проектов космических аппаратов, космических систем и их составных частей; Владеет навыками проведения технико-экономического и функционально-стоимостного анализа проектов космических аппаратов, космических систем и их составных частей; Владеет навыками выполнения расчетов с использованием специализированного ПО; Владеет навыками отработки конструкции изделий на технологичность с оформлением карт отработки. Владеет навыками проведения экспериментальных и опытных работ по внедрению технологи-</p>	<p>техники в целом, так и ее отдельных видов для проработки технических заданий; Умеет обрабатывать информацию о разработке и сертификации космических аппаратов, космических систем и их составных частей из различных источников, в том числе на английском языке; Умеет формулировать вопросы и заносить их в журнал конструктивных замечаний; Умеет оформлять акты внедрения технологического процесса сборки и испытаний изделий и агрегатов РКТ; Умеет разрабатывать рекомендации и заключения по использованию резуль-</p>	<p>структорской документации, особенности инженерно-технического подхода к решению профессиональных проблем; Знает основы инженерного синтеза сложных систем, аналитический аппарат и алгоритмы приложения в технике; Знает основы систем автоматизированного проектирования; Знает: технические требования к КД; Знает НД организации в части отработки КД на технологичность, по внедрению и аттестации технологических процессов; Знает современные технологии сборки и испытаний агрегатов и изделий РКТ.</p>
--	--	---------------------	--	---	---	--

				ческих процессов сборки и испытаний изделий и агрегатов РКТ, оснастки, оборудования в составе комиссии.	татов теоретических и экспериментальных исследований космических аппаратов, космических систем и их составных частей.	
--	--	--	--	---	---	--

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Код компетенции	Инструмент, оценивающий сформированность компетенции	Этапы и показатель оценивания компетенции	Критерии оценки и шкалы
ПК-1	Тест	<p>А) полностью сформирована - 5 баллов</p> <p>Б) частично сформирована 3-4 балла</p> <p>В) не сформирована – 2 и менее баллов</p>	<p>Тест на выявление уровня освоения теоретических знаний. Задания 2-х типов: 1 тип - выбор одного варианта ответа из предложенных, 2 тип - выбор нескольких вариантов ответов из предложенных. Ответы на тестовые задания предполагают использование как письменного варианта ответа, так и автоматизированной системы (соответствующего программного обеспечения) тестовой оценки знаний.</p> <p>Критерии оценки определяются процентным соотношением.</p> <p>Оценка осуществляется по пятибалльной системе.</p> <p>Менее 50% правильных ответов 0 баллов, 51% -60% - 1 балл,</p>

			61% -70% - 2 балла, 71% -80% - 3 балла, 81% -89% - 4 балла, 90% -100% - 5 бал- лов
ПК-2	Реферат, представляющий собой результат реферирования нескольких книг по определенной теме, т.е. краткий обзор основного содержания этих книг. Работа над рефератом включает в себя следующие этапы: <ul style="list-style-type: none"> • формулирование темы, причем она должна быть не только актуальной по своему значению, но и оригинальной, интересной по содержанию; • подбор и изучение основных источников по теме (как правило, при разработке реферата используются не менее 8—10 различных источников); • составление библиографии; • обработка и систематизация информации; • разработка плана реферата; • написание реферата. 	А) полностью сформирована - 5 баллов Б) частично сформирована 3-4 балла В) не сформирована – 2 и менее баллов	Общая оценка реферата: реферат сдан на проверку преподавателю за одну неделю до зачетного занятия (1 балл); студентом проявлена инициатива при выборе темы реферата и его написании (1 балл); работа выполнена без консультации с преподавателем (1 балл); материал представлен связно, логично и грамотно ((1 балл)); оформление в соответствии с требованиями ГОСТ (1 балл)
ПК-7	Презентация группового доклада, представляющий собой результат реферирования нескольких книг по определенной теме, т.е. краткий обзор основного содержания этих книг. Работа над презентацией включает в себя	А) полностью сформирована - 5 баллов Б) частично сформирована 3-4 балла В) не сформирована – 2 и менее баллов	Баллы, выставляемые докладчику и содокладчикам: <ul style="list-style-type: none"> • сообщил новую информацию (1 балл) • использовал технические средства (1 балл) • знает и хорошо ориентируется в со-

	<p>следующие этапы</p> <ul style="list-style-type: none"> • формулирование темы, причем она должна быть не только актуальной по своему значению, но и оригинальной, интересной по содержанию; • подбор и изучение основных источников по теме (как правило, при разработке доклада используются не менее 8—10 различных источников); • составление библиографии; • обработка и систематизация информации; • разработка плана доклада; • представление доклада 		<p>держании всего доклада (1 балл)</p> <ul style="list-style-type: none"> • умеет дискутировать и быстро отвечает на вопросы (1 балл) • четко выполняет установленный регламент: докладчик - 10 мин.; содокладчики - 5 мин.; дискуссия - 10 мин. (1 балл)
--	---	--	---

3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Примерная тематика докладов в презентационной форме

1. Общие сведения о ракетных двигателях (РД)
2. История развития ракетных двигателей.
3. Терминология и специфические особенности ракетных двигателей.
4. Рабочее тело.
5. Величина тяги.
6. Характерны типы двигательных систем.
7. Система двигателя прямой реакции – реактивная.
8. Класс неракетных двигателей: гидрореактивные, различные типы воздушно-реактивных двигателей (турбокомпрессорный, прямоточный, пульсирующий), плазменный электрореактивный двигатель.
9. Реактивный двигатель
10. Определение понятия - реактивный двигатель.
11. Основными характерные особенности ракетных двигателей: автономность от окружающей среды, независимость тяги от скорости движе-

ния аппарата, высокая концентрация подводимой энергии на единицу массы рабочего тела.

12. Целесообразные области применения РД.
 13. Энергия, которую можно использовать в РД на современном уровне техники: запасенная в форме ядерной, электрической, тепловой и химической.
 14. Нехимические РД: использующие ядерную, электрическую и тепловую энергию.
 15. Топливо- как носитель химической энергии.
 16. Одно-, двух- и многокомпонентное топливо.
 17. Двухкомпонентное топливо: горючее и окислитель.
 18. Источником энергии данного двигателя - реакция горения (экзотермическая, идущая с выделением теплоты).
 19. Химическое топливо - одновременно источник энергии и источник рабочего тела для получения тяги.
 20. Характерная особенность химических РД: необходимость иметь на борту аппарата горючее и окислитель, высокий удельный расход топлива.
 21. Параметры, характеризующие РЖД
 22. Основные параметры, характеризующие ЖРД: тяга двигателей, импульс тяги, удельный импульс, удельная масса и др.
 23. Тяговая характеристика РД. Импульс тяги РД. Удельный импульс РД.
 24. Тенденция развития ЖРД.
 25. Эксплуатационные, технические и технологические показатели качества ЖРД: род применяемого топлива; время работы; многократность или однократность включения; многократность или однократность применения; диапазон регулирования тяги; надежность работы и т.п.
- \
1. Высотная характеристика ЖРД.
 2. Управление вектором тяги.
 3. Факторы, влияющие на выбор способа управления вектором тяги: вид управления (по тангажу, курсу, крену), энергетические характеристики двигательной установки и требования, предъявляемые к величине управляющего усилия и траектории полета.
 4. Простые и усложняющие схему двигательной установки способы управления вектором тяги.
 5. Газодинамический способ управления вектором тяги ракетного двигателя путем бокового вдува сравнительно небольшого количества газа или жидкости в закритическую часть сопла.
 6. Принцип создания управляющего усилия, основанный на перераспределении статического давления по внутренней поверхности сопла.
 7. Расчет сгорания и истечения газов.
 8. Понятие о равновесном составе газов.
 9. Уравнения химического равновесия.
 10. Константы химического равновесия газов.

11. способы определения концентрации компонентов.
12. Константы химического равновесия гетерогенных реакций.
13. Равновесный состав тазов при наличии ионизации.
14. Уравнение сохранения вещества при химических реакциях.
15. Система уравнений для расчета равновесного состава продуктов сгорания при заданной температуре и давлении.
16. Расчет теоретической температуры и равновесного состава продуктов сгорания в сопле камеры ЖРД при изоэнтропическом течении.
17. Графическое представление схемы расчетов термодинамических параметров.
18. Особенности истечения продуктов сгорания с конденсированной фазой.
19. Процессы в камере ЖРД
20. Условия быстрого и полного сгорания топлива.
21. Взаимное расположение форсунок горючего и окислителя и их гидравлические параметры.
22. Типа форсунок: центробежные и струйные.
23. Способы механического разрушения струи.
24. Распределение распыленной жидкости в факеле.
25. Характеристика процесса распыливания компонента топлива - распределение по радиусу и вокруг оси факела.

Примерная тематика контрольного задания

1. Камера ЖРД. Параметры, характеризующие камеру.
2. Процессы, протекающие в камере ЖРД.
3. Форсунки как устройства для распыливания и смешения компонентов топлива. Параметры, характеризующие работу форсунок.
4. Однокомпонентные форсунки. Струйные форсунки. Центробежные форсунки.
5. Расчёт струйных форсунок.
6. Основы теории центробежных форсунок.
7. Геометрическая характеристика форсунки. Влияние вязкости на работу центробежной форсунки. Влияние конструктивных факторов на работу центробежной форсунки. Порядок расчёта центробежной форсунки.
8. Расчёт однокомпонентных струйных форсунок генераторного газа. Двухкомпонентные форсунки. Двухкомпонентные форсунки для двигателей с дожиганием генераторного газа.
9. Формы смесительных головок. Схемы расположения форсунок на головке.
10. Геометрический метод оценки энергетических характеристик.
11. Камера сгорания. Формы камер сгорания.
12. Определение объёма камеры сгорания по времени пребывания, определение объёма камеры сгорания по литровой тяге.
13. Определение площади поперечного сечения камеры.

14. Проектирование сопел. Требования к соплам.
15. Формы сопел. Профилирование сопел. Оптимальные сопла.
16. Особенности охлаждения камер ЖРД.
17. Способы охлаждения и теплозащиты камеры. Проточное наружное охлаждения. Внутреннее охлаждение. Транспирационное охлаждение. Теплозащитные покрытия. Абляционное охлаждение. Аккумуляция тепла. Радиационное охлаждение. Комбинированное охлаждение. Схемы подвода охладителя.
18. Формы трактов охлаждения.
19. Распределение теплового потока по длине камеры.
20. Особенности охлаждения камер ЖРД малой тяги.
21. Особенности охлаждения камеры двигателя с глубоким регулированием тяги. Порядок расчёта охлаждения камеры ЖРД.
22. Газогенераторы ЖРД. Области применения и классификация.
23. Однокомпонентные и многокомпонентные газогенераторы.
24. Конструкция и расчёт газогенераторов. ЖРД малой тяги (ЖРД МТ).
25. Назначение ЖРД МТ, топлива и рабочий процесс в ЖРД МТ.

1. Состав жидкостной ракетной двигательной установки (ЖРДУ).
2. Требования к ЖРДУ как к двигательной установке летательного аппарата.
3. Однокамерные и многокамерные ЖРДУ.
4. Классификация ЖРДУ по способу подачи топлива.
5. Схемы ЖРДУ с вытеснительной системой подачи топлива (ВСПТ) и с насосной системой подачи топлива (НСПТ).
6. Области применения ЖРДУ с ВСПТ и НСПТ.
7. Двигательные установки с вытеснительной системой подачи топлива (ВСПТ).
8. Виды, запас рабочего тела для вытеснения топлива. Элементы топливных и газовых магистралей ЖРДУ.
9. ЖРДУ с газобаллонной системой подачи.
10. Состав, редукторная схема. ЖРДУ с твёрдотопливным газогенератором (ТТГГ).
11. ЖРДУ с ВСПТ и жидкостным генератором газа (ЖГГ).
12. ЖРДУ с насосной системой подачи топлива (НСПТ).
13. Открытая и закрытая схемы ДУ с НСПТ. Сравнительный анализ этих схем, области их применения.
14. ЖРДУ с турбонасосным агрегатом (ТНА) без дожигания генераторного газа.
15. ЖРДУ с дожиганием генераторного газа. Выбор типа газогенератора для схемы газ + жидкость.

16. Схема ЖРДУ с дожиганием на компонентах кислород + водород без газогенератора.
17. Сравнение окислительного и восстановительного ЖГГ.
18. Проблемы подачи топлива из баков, маневрирующих КЛА в КС ЖРД.
19. Виды систем отбора топлива (СОТ).
20. Инерционные, диафрагменные, поршневые СОТ.
21. Способы управления вектором тяги ЖРДУ.
22. Схемы регулирования тяги и соотношения компонентов ЖРДУ.
23. Параметрическая оптимизация ЖРДУ.
24. Запуск и останов ЖРДУ.
25. Импульс последействия.

Примерная тематика практических заданий

1. Общая форма уравнения сохранения энергии.
2. Механическая форма уравнения сохранения энергии.
3. Уравнение термодинамического процесса.
4. Уравнение неразрывности потоков продуктов сгорания - закон непрерывности и сохранения материи.
5. Уравнение изменения количества движения.
6. Уравнение параметров торможения.
7. Ускорение продуктов сгорания и трансформации энергии.
8. На примере реальных ЖРДУ с ТНА открытой и закрытой схем изучить их конструктивные особенности, узлы и агрегаты.
9. Изучить конструкции ЖРДУ с ТНА открытой и закрытой схем по образцам изделий, представленных в лабораторном зале.
10. Сделать классификацию изучаемых ЖРДУ по типу газогенератора,
11. Сделать классификацию изучаемых ЖРДУ назначению и конструкции ТНА. Изучить последовательность работы ЖРДУ.
12. На примере реальных ЖРДУ с ВСПТ изучить их конструктивные особенности, узлы и агрегаты, пневмогидросистемы и функционирование.
13. Изучить конструкции ЖРДУ с ВСПТ по образцам изделий.
14. Сделать классификацию изучаемых ЖРДУ по типу источника вытесняющего газа, назначению и способу охлаждения камеры ЖРДУ.
15. Изучить последовательность работы (запуск, работа на режиме, останов) изучаемых ЖРДУ.
16. Последовательности срабатывания исполнительных элементов ПГС одной из изучаемых ЖРДУ.
17. На примере реальных ЖРД изучить конструкции форсунок и смесительных головок ЖРД различных схем.
18. Выполнить классификацию изучаемых форсунок и смесительных головок.

19. Сделать эскизы форсунок и смесительных головок схем «газ-жидкость» и «жидкость – жидкость» по атласу конструкций.

20. Сделать эскизы узлов и смесительных элементов на основе однокомпонентных и двухкомпонентных форсунок по атласу конструкций.

21. Изучить конструкции смесительных головок по образцам и макетам изделий.

22. Уменьшение удельного импульса в связи с тепловыми, газодинамическими и другими потерями.

23. Оценка всевозможных потерь в камере с помощью коэффициента удельного импульса.

24. Определение возможных потерь в камере сгорания.

25. Оценка степени совершенства рабочего процесса в сопле камеры ЖРД.

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Формой контроля знаний по дисциплине «Теория двигателей» являются текущий контроль знаний в виде теста, реферата, презентации группового доклада и одна промежуточная аттестация в виде зачета (с оценкой).

Неделя текущего контроля	Вид оценочного средства	Код компетенций, оценивающий знания, умения, навыки	Содержание оценочного средства	Требования к выполнению	Срок сдачи (неделя семестра)	Критерии оценки по содержанию и качеству с указанием баллов
<i>Проводится в сроки, установленные графиком учебного процесса</i>	Тестирование	ПК-1, ПК-2, ПК-7	Тест на выявление уровня освоения теоретических знаний. Задания 2-х типов: 1 тип - выбор одного варианта ответа из предложенных, 2 тип - выбор нескольких вариантов ответов из предложенных	Ответы на тестовые задания предполагают использование как письменного варианта ответа, так и автоматизированной системы (соответствующего программного обеспечения) тестовой оценки знаний.	Результаты тестирования представляются в день проведения процедуры	Критерии оценки определяются процентным соотношением. Оценка осуществляется по пятибалльной системе. Менее 50% правильных ответов 0 баллов, 51% -60% - 1 балл, 61% -70% - 2 балла, 71% -80% - 3 балла, 81% -89% - 4 балла, 90% -100% - 5 баллов

<p><i>Проводится в сроки, установленные графиком учебного процесса</i></p>	<p>Реферат</p>	<p>ПК-1, ПК-2, ПК-7</p>	<p>Реферат, представляющий собой результат реферирования нескольких книг по определенной теме, т.е. краткий обзор основного содержания этих книг.</p>	<p>Работа над рефератом включает в себя следующие этапы: • формулирование темы, причем она должна быть не только актуальной по своему значению, но и оригинальной, интересной по содержанию; • подбор и изучение основных источников по теме (как правило, при разработке реферата используются не менее 8—10 различных источников); • составление библиографии; • обработка и систематизация информации; • разработка плана реферата; • написание реферата.</p>	<p>Реферат сдается на проверку преподавателю за одну неделю до зачетного занятия</p>	<p>Общая оценка реферата: реферат сдан на проверку преподавателю за одну неделю до зачетного занятия (1 балл); студентом проявлена инициатива при выборе темы реферата и его написании (1 балл); работа выполнена без консультации с преподавателем (1 балл); материал представлен связно, логично и грамотно ((1 балл)); оформление в соответствии с требованиями ГОСТ (1 балл)</p>
<p><i>Проводится в сроки, установленные графиком учебного процесса</i></p>	<p>Презентация группового доклада</p>	<p>ПК-1, ПК-2, ПК-7</p>	<p>Презентация группового доклада, представляет собой результат реферирования нескольких книг по определенной теме, т.е. краткий обзор основного со-</p>	<p>Работа над презентацией включает в себя следующие этапы • формулирование темы, причем она должна быть не только актуальной по своему зна-</p>	<p>16-17</p>	<p>Баллы, выставяемые докладчику и содокладчикам: • сообщил новую информацию (1 балл) • использовал технические средства (1 балл) • знает и хорошо ориентируется в содер-</p>

			<p>держания этих книг.</p>	<p>чению, но и оригинальной, интересной по содержанию;</p> <ul style="list-style-type: none"> • подбор и изучение основных источников по теме (как правило, при разработке доклада используются не менее 8—10 различных источников); • составление библиографии; • обработка и систематизация информации; • разработка плана доклада; • представление доклада 		<p>жании всего доклада (1 балл)</p> <ul style="list-style-type: none"> • умеет дискутировать и быстро отвечает на вопросы (1 балл) • четко выполняет установленный регламент: докладчик - 10 мин.; содокладчики - 5 мин.; дискуссия - 10 мин. (1 балл)
<p><i>Проводится в сроки, установленные графиком учебного процесса</i></p>	<p>Зачет</p>	<p>ПК-1, ПК-2, ПК-7</p>	<p>3 вопроса</p>	<p>Зачет проводится в устной форме, путем ответа на вопросы. Время, отведенное на процедуру – 30 минут.</p>	<p>Результаты предоставляются в день проведения зачета</p>	<p>Критерии оценки: «Зачтено»:</p> <ul style="list-style-type: none"> • знание основных понятий предмета; • умение использовать и применять полученные знания на практике; • работа на практических занятиях; • знание основных научных теорий, изучаемых предметов; • ответ на вопросы билета. <p>«Не зачтено»:</p> <ul style="list-style-type: none"> • демонстрирует

						<p>частичные знания по темам дисциплин;</p> <ul style="list-style-type: none"> • незнание основных понятий предмета; • неумение использовать и применять полученные знания на практике; • не работал на практических занятиях; <p>не отвечает на вопросы.</p>
	Экзамен (Зачет с оценкой)	ПК-1, ПК-2, ПК-7	3 вопроса	Экзамен проводится в устной форме, путем ответа на вопросы. Время, отведенное на процедуру – 30 минут.	Результаты предоставляются в день проведения экзамена	<p>3 (удовлетворительно)</p> <ul style="list-style-type: none"> • знание основных понятий предмета; <p>4 (хорошо)</p> <ul style="list-style-type: none"> • знание основных понятий предмета; • умение использовать и применять полученные знания на практике; • работа на практических занятиях; <p>5 (отлично)</p> <ul style="list-style-type: none"> • знание основных понятий предмета; • умение использовать и применять полученные знания на практике; • работа на практических занятиях; • знание основных научных теорий, изучаемых предметов <p>«Неудовлетворительно»</p> <ul style="list-style-type: none"> • демонстрирует частичные знания по темам дисциплин;

						<ul style="list-style-type: none"> • незнание основных понятий предмета; • неумение использовать и применять полученные знания на практике; <p>не отвечает на вопросы.</p>
--	--	--	--	--	--	--

Итоговое начисление баллов по дисциплине осуществляется в соответствии с разработанной и внедренной балльно-рейтинговой системой контроля и оценивания уровня знаний и внеучебной созидательной активности обучающихся.

4.1. Типовые вопросы, выносимые на тестирование

Тесты используются при текущем контроле знаний. По форме заданий выбраны закрытые тесты (с выборочным ответом).

1. Массовый расход топлива, приходящийся на единицу развиваемой тяги называется...

удельный расход топлива;
 общий расход топлива;
 объемный расход топлива;
 относительный расход топлива.

2. Время работы химических РД ограничено...

удельной тягой;
 запасами топлива в аппарате;
 запланированной дальностью полета;
 высотой орбиты.

3. Химические РД в зависимости от агрегатного состояния топлива до его использования в двигателе разделяются на...

жидкостные ракетные двигатели;
 ракетные двигатели твердого топлива;
 гибридные (комбинированные) ракетные двигатели;
 свободные ракетные двигатели.

4. В жидкостных ракетных двигателях используется...

топливо в газообразном состоянии;
топливо смешанного агрегатного состояния;
топливо твердого агрегатного состояния;
топливо жидкого агрегатного состояния.

5. Форсунки ракетных двигателей служат для...

питания членов экипажа;
подачи компонентов топлива в камеру сгорания;
для использования ядерной энергии;
для использования электрической энергии.

6. Внутренняя стенка камеры сгорания называется...

огневой стенкой;
силовой рубашкой;
огневой рубашкой;
силовой стенкой.

7. По зазору между внутренней огневой стенкой² и наружной силовой рубашкой ЖРД протекает...

компонент топлива, охлаждающие камеру сгорания;
компоненты топлива, охлаждающие камеру сгорания;
компонент топлива, нагревающие камеру сгорания;
компоненты топлива, нагревающие камеру сгорания.

8. Воспламенение (зажигание) топлива в ЖРД может осуществляться средствами...

химическими;
пиротехническими;
электрическими;
ядерными.

9. Компоненты топлива в камеру сгорания ЖРД подают с помощью...

разницы температур двигателя и окружающей среды;
вакуума;
вытеснительной системы подачи;
с помощью насоса.

10. В твердотопливных ракетных двигателях используется...

топливо в газообразном состоянии;
топливо смешанного агрегатного состояния;
топливо твердого агрегатного состояния;
топливо жидкого агрегатного состояния.

11. Внешняя стенка камеры сгорания называется...

огневой стенкой;
силовой рубашкой;
огневой рубашкой;
силовой стенкой.

12. Ракетные двигатели твердого топлива в отличие от ЖРД имеют...

насосную систему подачи топлива;
воздушную систему подачи топлива;
гибридную систему подачи топлива;
не имеют системы подачи.

13. Тяга, развиваемая, двигателем, во время его работы...

остается всегда постоянной;
всегда равна удельной производительности;
имеет неопределенную величину;
может меняться.

14. Тяговая характеристика- это...

зависимость тяги от времени полета;
отношение тяги к расходу топлива;
отношения массы двигателя к его тяге;
конечная скорость ракеты.

15. В идеальных условиях движение ракеты описывается уравнением...

И. В. Мещерского;
К.Э. Циалковского;
Исаака Ньютона;
Ф.А. Цандера.

16. ЖРД используется в основном для типов летательных аппаратов:

ракет;
космических аппаратов;
самолетов;
планеров.

17. Жидкостные двигатели ракет по назначению подразделяют на...

основные;
вспомогательные двигатели;
необязательные;
свободные

18. Удельным импульсом тяги ракетного двигателя

зависимость тяги от времени полета;
отношение тяги к расходу топлива;
отношения массы двигателя к его тяге;
конечная скорость ракеты.

19. Двигатели, служащие для исправления направления и величины скорости космического аппарата называются...

корректирующие;
ориентации;
стабилизации;
стыковочные.

20. В гибридных ракетных двигателях используется...

топливо в газообразном состоянии;
топливо смешанного агрегатного состояния;
топливо твердого агрегатного состояния;
топливо жидкого агрегатного состояния.

21. Двигатели, обеспечивающие предотвращение вращения или угловых колебаний космического аппарата относительно той или иной оси, называются двигателями...

корректирующие;
ориентации;
стабилизации;
стыковочные.

22. Удельная масса ракетного двигателя – это...

зависимость тяги от времени полета;
отношение тяги к расходу топлива;
отношения массы двигателя к его тяге;
конечная скорость ракеты.

23. Двигатели служащие для ориентации космического аппарата (КА) в космическом пространстве называются двигателями...

корректирующие;
ориентации;
стабилизации;
стыковочные.

24. Конечная идеальная скорость ракеты определяется формулой...

И. В. Мещерского;
К.Э. Циолковского;
Исаака Ньютона;
Ф.А. Цандера.

25. Двигатели, обеспечивающие стыковку КА с орбитальной станцией или с другим КА, называются ...

корректирующие;
ориентации;
стабилизации;
стыковочные.

Типовые вопросы, выносимые на зачет

1. Общие сведения о рабочих телах ЖРД, как о термодинамической системе.
2. Цель термодинамического и газодинамического анализа — определение оптимальных условий преобразования энергий и расчет изменения параметров рабочего тела.
3. Физические величины, учитывающие свойства разных газообразных тел: молекулярная масса, газовая постоянная, теплоемкости, отношение теплоемкостей и скорость распространения звука
4. Термодинамические методы преобразования энергии в различных двигательных установках: метода круговых процессов и метода потоков.
5. Понятия: внутреннее трение, теплота диссипации.
6. Сверхзвуковое сопло Лаваля.
7. Общие сведения о характеристиках ЖРД

8. Влияние изменение расхода топлива, давления окружающей среды, массового соотношения компонентов топлива и при определенных условиях скорости движения ракетного аппарата на тягу и удельный импульс ЖРД.

9. Понятие - донное давление.

10. Влияние на тягу и удельный импульс изменения расхода топлива в камере ЖРД и давления окружающей среды.

11. Дроссельная и высотная характеристики ЖРД.

12. Дроссельная характеристика ЖРД

13. Характер изменения тяги ЖРД, установленного на ракете дальнего действия и работающего на несамовоспламеняющихся компонентах.

14. Регулируемые форсунки.

15. Дроссельные характеристики однокамерного и многокамерного ЖРД.

16. Общие сведения о характеристиках ЖРД

17. Характеристики ЖРД - зависимости тяги и удельного импульса от тех или иных параметров, меняющихся в процессе его работы.

18. Влияние изменение расхода топлива, давления окружающей среды, массового соотношения компонентов топлива и при определенных условиях скорости движения ракетного аппарата на тягу и удельный импульс ЖРД. Вспомогательные двигатели области и особенности их применения: корректирующие, ориентации, стабилизации, стыковочные, тормозные.

19. Требования, предъявляемые к вспомогательным двигателям: высокая степень надежности, длительное пребывание в режиме стартовой готовности, многократный запуск и др.

20. Основные определяющие признаки классификации: род топлива и тип системы подачи.

21. Области применения ракеты с ЖРД.

22. Разделение по назначению двигателей ракет: основные и вспомогательные.

23. Ступени ракеты с ЖРД.

24. Трехступенчатая ракета-носитель космического корабля «Восток».

25. Особенность первой ступени - четыре блока, расположенных вокруг центрального блока (вторая ступень) в плоскости стабилизации.

Типовые вопросы, выносимые на экзамен (зачет с оценкой)

1. Высотная характеристика - зависимость тяги и удельного импульса от давления окружающей среды.

2. Схема сопла с двухступенчатым регулированием площади выходного сечения сопла.

3. Управление вектором тяги.

4. Факторы, влияющие на выбор способа управления вектором тяги: вид управления, энергетические характеристики двигательной установки и

требования, предъявляемые к величине управляющего усилия и траектории полета.

5. Взаимосвязи ЭСУ и КА. Основные источники энергии и массы космических аппаратов.

6. Химические КЭУ. Солнечные КЭУ. Ядерные изотопные КЭУ. Ядерные реакторные КЭУ. Состав и структурная схема КЭ

7. Принцип действия серебряно-цинковых электрохимических источников тока. Характеристики аккумуляторных батарей. Принцип действия водородно-кислородных топливных элементов. Электрохимический генератор.

8. Фотоэлектрические преобразователи. Солнечные батареи. Солнечные спутниковые электростанции

9. Радиоактивные изотопы. Радиоактивные генераторы. Термоэлектрические преобразователи

10. Классификация и области рационального использования ракетных двигателей малой тяги систем управления космических аппаратов.

11. Принципиальные схемы газореактивных реактивных систем управления, конструкции и параметры газовых РДМТ

12. Схема и состав космической электроракетной двигательной установки. Принципы работы электроракетных двигателей. Основная классификация ЭРД. Энергетические характеристики ЭРД.

13. Организация рабочего процесса в электротермических ракетных двигателях, принципиальные схемы ДУ. Основные параметры двигателей.

14. Организация рабочего процесса в электротермических ракетных двигателях, принципиальные схемы ДУ. Основные параметры двигателей.

15. Организация рабочего процесса в электромагнитных ракетных двигателях, принципиальные схемы ДУ. Основные параметры двигателей.

16. ЭРДУ для малых космических аппаратов. ЭРД малой и средней мощности. ЭРД повышенной мощности. Основные параметры электроракетных двигателей.

17. Сравнение ядерных ракетных двигателей с другими ракетными двигателями. Принцип действия и классификация ядерных ракетных двигателей.

18. Конструктивная схема газофазных ЯРД. Газофазный ЯРД с прозрачным разделителем. ЯРД с газодинамическим удержанием ядерного горючего. ЯРД с магнитным удержанием ядерного горючего. Основные параметры газофазного ЯРД.

Приложение 2

**Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины
(модуля)**

**ИНСТИТУТ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ
И ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**КАФЕДРА ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ РАКЕТНОГО
ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ (КБ Химмаш, базовая кафедра)**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО
ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
«ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ»**

Специальность: 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов»

Специализация: 21 «Производство и технологическая отработка изделий ракетно-космической техники»

Уровень высшего образования: специалитет

Квалификация (степень) выпускника: инженер

Форма обучения: очная, очно-заочная

**Королев
2023**

1. Общие положения

Целью изучения дисциплины является овладение:

1. Физико-математическим описанием процессов: воспламенения, тепломассообмена, нестационарного, турбулентного и неустойчивого горения топлива;
2. Физико-математическим описанием процессов газотермодинамики гетерогенных и гомогенных продуктов горения;
3. Методами математического моделирования энергетических характеристик и параметров рабочего процесса для нестационарных и квазистационарных режимов функционирования ракетных двигателей различного назначения.

Основными **задачами** дисциплины являются:

1. изучение методов расчета потерь удельного импульса тяги, разбросов основных параметров рабочего процесса и способы выбора системы управления вектором тяги летательного аппарата;
2. рассмотрение математических моделей и методов расчета проектных и газодинамических параметров ракетно-прямоточных воздушно-реактивных двигателей;
3. изучение общего обзора, классификации и краткой характеристики ракетных двигателей и их рабочих тел;
4. рассмотрение теории термических ракетных двигателей, основ конструирования и проектирования ракетных двигателей, работающих на жидком и твердом химическом топливе.

2. Указания по проведению практических (семинарских) занятий

Практическое занятие 1

по теме № 1 Общие сведения о ракетных двигателях (РД).

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание практического занятия:

терминология и специфические особенности ракетных двигателей.

Цель работы: изучить характерные типы двигательных систем: энергия преобразуется вне двигателя, энергия внутри двигателя и система при этом не требует дополнительных устройств (двигателя).

Продолжительность занятия – 2/2 ч.

Практическое занятие 2

по теме № 2 Реактивный двигатель.

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание практического занятия:

определение понятия - реактивный двигатель.

Цель работы: изучить основными характерные особенности ракетных двигателей: автономность от окружающей среды, независимость тяги от скорости движения аппарата, высокая концентрация подводимой энергии на единицу массы рабочего тела.

Продолжительность занятия – 2/1 ч.

Практическое занятие 3

по теме № 3 Химические РД.

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание практического занятия:

Химическое топливо - одновременно источник энергии и источник рабочего тела для получения тяги.

Цель работы: изучить характерные особенности химических РД.

Продолжительность занятия – 2/2 ч.

Практическое занятие 4

по теме № 4 Параметры, характеризующие РЖД.

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание практического занятия:

основные параметры, характеризующие ЖРД: тяга двигателей, импульс тяги, удельный импульс, удельная масса и др.

Цель работы: овладеть знанием эксплуатационных, технических и технологических показатели качества ЖРД.

Продолжительность занятия – 2/2 ч.

Практическое занятие 5

по теме № 5 Классификация и области применения жидкостных ракетных двигателей.

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание практического занятия:

основные определяющие признаки классификации: род топлива и тип системы подачи.

Цель работы: изучить области применения ракеты с ЖРД.

Продолжительность занятия – 4/2 ч.

Практическое занятие 6

по теме № 6 Тест на выявление уровня освоения теоретических знаний.

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание практического занятия:

Задания 2-х типов: 1 тип - выбор одного варианта ответа из предложенных, 2 тип - выбор нескольких вариантов ответов из предложенных. Ответы на тестовые задания предполагают использование, как письменного варианта ответа, так и автоматизированной системы (соответствующего программного обеспечения) тестовой оценки знаний

Цель работы: оценить уровень теоретических и практических знаний, полученные обучающимися.

Продолжительность занятия – 2/1 ч.

Практическое занятие 7

по теме № 7 Энергосиловые установки КА. Энергетические установки космических аппаратов.

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание практического занятия:

Общие сведения о космических аппаратах (КА) и их двигательных и энергетических установках (ДУ и ЭУ)

Цель работы: изучение условий эксплуатации двигательных и энергетических установок КА в космосе

Продолжительность занятия – 4/2 ч.

Практическое занятие 8

по теме № 8 Электрохимические КЭУ

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание практического занятия:

Вид практического занятия: практическая работа в группе.

Состав и структурная схема КЭУ

Электрохимические КЭУ

Цель работы: рассмотреть принципы работы электрохимического источника тока, использование аккумуляторных батарей в КЭУ.

Продолжительность занятия – 2/1 ч.

Практическое занятие 9

по теме № 9 Солнечные фотоэлектрические КЭУ.

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое об-

суждение результатов.

Содержание практического занятия:

Фотоэлектрические преобразователи, солнечные батареи

Цель работы: определение путей совершенствования КЭУ на основе СБ

Продолжительность занятия – 2/1 ч.

Практическое занятие 10

по теме № 10 КЭУ на основе радиоизотопных генераторов.

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание практического занятия:

Радиоактивные изотопы, радиоизотопные генераторы.

Цель работы: изучить пути совершенствования КЭУ на основе РИГ

Продолжительность занятия – 2/1 ч.

Практическое занятие 11

по теме № 11 Обсуждение рефератов.

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание практического занятия:

беседы с обучающимися по представленным темам реферата. Реферат, представляющий собой результат реферирования нескольких книг по определенной теме, т.е. краткий обзор основного содержания этих книг.

Цель работы: получить практические навыки в написании рефератов по ГОСТу.

Продолжительность занятия – 2/2 ч.

Практическое занятие 12

по теме № 12. Презентация группового доклада.

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание практического занятия:

смешанная форма практического занятия, на котором сочетается обсуждение докладов со свободным выступлением обучающихся и дискуссиями.

Цель работы: получить практические навыки в составлении презентации.

Продолжительность занятия – 4/2 ч.

Практическое занятие 13

по теме № 13 Маршевые жидкостные ракетные двигатели КА.

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание практического занятия:

Рассмотреть характер изменения тяги ЖРД, установленного на ракете дальнего действия и работающего на несамовоспламеняющихся компонентах.

Цель работы: получить знания о дроссельных характеристиках однокамерного и многокамерного ЖРД.

Продолжительность занятия – 4/2 ч.

Практическое занятие 14

по теме № 14 Особенности ЖРД МТ.

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание практического занятия:

Классификация, область применения и требования, предъявляемые к реактивным системам управления

Цель работы: изучить отличительные особенности ЖРДМТ

Продолжительность занятия – 2/1 ч.

Практическое занятие 15

по теме № 15 Режимы работы ЖРДМТ. Динамические и энергетические параметры ЖРДМТ.

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание практического занятия:

Импульсный режим работы.

Установившийся и неуставившийся импульсные режимы работы

Понятие тяги ЖРДМТ

Цель работы: изучить принцип и режимы работы ЖРДМТ

Продолжительность занятия – 2/1 ч.

Практическое занятие 16

по теме № 16 Электроракетные двигательные установки космических аппаратов.

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание практического занятия:

Характеристика и классификация электроракетных двигательных установок

Цель работы: Изучить принципы работы ЭРД.

Энергетические характеристики ЭРД

Продолжительность занятия – 2/1 ч.

Практическое занятие 17

по теме № 17 Электротермические двигатели. Электростатические ЭРД. Электромагнитные ЭРД.

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание практического занятия:

Электронагревные и электродуговые ЭРД. Ионный двигатель. Принципиальная схема ионного двигателя. Электромагнитные двигатели

Цель работы: изучить принципы работы электронагревных и электродуговых ЭРД, ионного двигателя, электромагнитного двигателя.

Продолжительность занятия – 2/1 ч.

Практическое занятие 18

по теме № 18 Обсуждение рефератов.

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание практического занятия:

Беседы с обучающимися по представленным темам реферата. Реферат, представляющий собой результат реферирования нескольких книг по определенной теме, т.е. краткий обзор основного содержания этих книг.

Цель работы: получить практические навыки в написании рефератов по ГОСТу.

Продолжительность занятия – 2/1 ч.

Практическое занятие 19

по теме № 19 Презентация группового доклада.

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Содержание практического занятия:

смешанная форма практического занятия, на котором сочетается обсуждение докладов со свободным выступлением обучающихся и дискуссиями.

Цель работы: получить практические навыки в составлении презентации.

Продолжительность занятия – 2/1 ч.

Практическое занятие 20

по теме № 20 Ядерные ракетные ДУ КА.

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое об-

суждение результатов.

Содержание практического занятия:

Сравнение ядерных ракетных двигателей с другими ракетными двигателями

Цель работы: определить принцип действия и классификация ядерных ракетных двигателей

Продолжительность занятия – 2/1 ч.

3. Указания по проведению лабораторного практикума

Выполнение лабораторного практикума Учебным планом не предусмотрено.

4. Указания по проведению самостоятельной работы студентов

Цель самостоятельной работы: подготовить специалистов к самостоятельному научному творчеству.

Задачи самостоятельной работы:

1) закрепить способность обучающихся в самостоятельном изучении научной литературы, умении уяснить сущность изучаемого вопроса, формулировать выводы;

2) систематизировать знания в области анализа и моделирования бизнес-процессов;

3) овладеть навыками подготовки докладов и электронных презентаций.

Объем времени на самостоятельную работу, и виды самостоятельной работы представлены в таблице 1.

№ п/п	Наименование блока (раздела) дисциплины	Виды СРС
1	Основы ракетостроения	<i>Подготовка докладов по темам:</i> 1. Факторы космического полета. 2. Современная космическая ракета. 3. Варианты компоновки ракет. 4. Целесообразные области применения РД.
2	Многоразовый орбитальный корабль «Буран»	<i>Подготовка докладов по темам:</i> 1. Многоразовый орбитальный корабль «Буран» - принципиально новый для отечественной космонавтики летательный аппарат.

		2. Особые качества «Бурана».
3	Многоразовые РД.	<p>Подготовка докладов по темам:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Нехимические РД: использующие ядерную, электрическую и тепловую энергию. 2. Сопло основного двигателя много разового космического корабля.
4	РД для межпланетных и орбитальных станций и модулей.	<p>Подготовка докладов по темам:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Проектирование модулей орбитальных станций. 2. Энергия, которую можно использовать в РД на современном уровне техники: запасенная в форме ядерной, электрической, тепловой и химической. 3. Нехимические РД: использующие ядерную, электрическую и тепловую энергию. 4. Топливо как носитель химической энергии. 5. Одно-, двух- и многокомпонентное топливо. 6. Двухкомпонентное топливо: горючее и окислитель.

Примерная тематика докладов в презентационной форме

1. Общие сведения о ракетных двигателях (РД)
2. История развития ракетных двигателей.
3. Терминология и специфические особенности ракетных двигателей.
4. Рабочее тело.
5. Величина тяги.
6. Характерны типы двигательных систем.
7. Система двигателя прямой реакции – реактивная.
8. Класс неракетных двигателей: гидрореактивные, различные типы воздушно-реактивных двигателей (турбокомпрессорный, прямоточный, пульсирующий), плазменный электрореактивный двигатель.
9. Реактивный двигатель
10. Определение понятия - реактивный двигатель.
11. Основными характерные особенности ракетных двигателей: автономность от окружающей среды, независимость тяги от скорости движения аппарата, высокая концентрация подводимой энергии на единицу массы рабочего тела.
12. Целесообразные области применения РД.
13. Энергия, которую можно использовать в РД на современном уровне

техники: запасенная в форме ядерной, электрической, тепловой и химической.

14. Нехимические РД: использующие ядерную, электрическую и тепловую энергию.
15. Топливо - как носитель химической энергии.
16. Одно-, двух- и многокомпонентное топливо.
17. Двухкомпонентное топливо: горючее и окислитель.
18. Источником энергии данного двигателя - реакция горения (экзотермическая, идущая с выделением теплоты).
19. Химическое топливо - одновременно источник энергии и источник рабочего тела для получения тяги.
20. Характерная особенность химических РД: необходимость иметь на борту аппарата горючее и окислитель, высокий удельный расход топлива.
21. Параметры, характеризующие РЖД
22. Основные параметры, характеризующие ЖРД: тяга двигателей, импульс тяги, удельный импульс, удельная масса и др.
23. Тяговая характеристика РД. Импульс тяги РД. Удельный импульс РД.
24. Тенденция развития ЖРД.
25. Эксплуатационные, технические и технологические показатели качества ЖРД: род применяемого топлива; время работы; многократность или одноразовость включения; многократность или одноразовость применения; диапазон регулирования тяги; надежность работы и т.п.
26. Высотная характеристика ЖРД.
27. Управление вектором тяги.
28. Факторы, влияющие на выбор способа управления вектором тяги: вид управления, энергетические характеристики двигательной установки и требования, предъявляемые к величине управляющего усилия и траектории полета.
29. Простые и усложняющие схему двигательной установки способы управления вектором тяги.
30. Газодинамический способ управления вектором тяги ракетного двигателя путем бокового вдува сравнительно небольшого количества газа или жидкости в закритическую часть сопла.
31. Принцип создания управляющего усилия, основанный на перераспределении статического давления по внутренней поверхности сопла.
32. Расчет сгорания и истечения газов.
33. Понятие о равновесном составе газов.
34. Уравнения химического равновесия.
35. Константы химического равновесия газов.
36. способы определения концентрации компонентов.
37. Константы химического равновесия гетерогенных реакций.

- 38.Равновесный состав тазов при наличии ионизации.
- 39.Уравнение сохранения вещества при химических реакциях.
- 40.Система уравнений для расчета равновесного состава продуктов сгорания при заданной температуре и давлении.
- 41.Расчет теоретической температуры и равновесного состава продуктов сгорания в сопле камеры ЖРД при изоэнтропическом течении.
42. Графическое представление схемы расчетов термодинамических параметров.
- 43.Особенности истечения продуктов сгорания с конденсированной фазой.
- 44.Процессы в камере ЖРД
- 45.Условия быстрого и полного сгорания топлива.
- 46.Взаимное расположение форсунок горючего и окислителя и их гидравлические параметры.
- 47.Типа форсунок: центробежные и струйные.
48. Способы механического разрушения струи.
- 49.Распределение распыленной жидкости в факеле.
- 50.Характеристика процесса распыливания компонента топлива - распределение по радиусу и вокруг оси факела.

Примерная тематика контрольного задания

1. Камера ЖРД. Параметры, характеризующие камеру.
2. Процессы, протекающие в камере ЖРД.
3. Форсунки как устройства для распыливания и смешения компонентов топлива. Параметры, характеризующие работу форсунок.
4. Однокомпонентные форсунки. Струйные форсунки. Центробежные форсунки.
5. Расчёт струйных форсунок.
6. Основы теории центробежных форсунок.
7. Геометрическая характеристика форсунки. Влияние вязкости на работу центробежной форсунки. Влияние конструктивных факторов на работу центробежной форсунки. Порядок расчёта центробежной форсунки.
8. Расчёт однокомпонентных струйных форсунок генераторного газа. Двухкомпонентные форсунки. Двухкомпонентные форсунки для двигателей с дожиганием генераторного газа.
9. Формы смесительных головок. Схемы расположения форсунок на головке.
- 10.Геометрический метод оценки энергетических характеристик.
- 11.Камера сгорания. Формы камер сгорания.
- 12.Определение объёма камеры сгорания по времени пребывания, определение объёма камеры сгорания по литровой тяге.
- 13.Определение площади поперечного сечения камеры.
- 14.Проектирование сопел. Требования к соплам.

15. Формы сопел. Профилирование сопел. Оптимальные сопла.
16. Особенности охлаждения камер ЖРД.
17. Способы охлаждения и теплозащиты камеры. Проточное наружное охлаждения. Внутреннее охлаждение. Транспирационное охлаждение. Теплозащитные покрытия. Абляционное охлаждение. Аккумуляция тепла. Радиационное охлаждение. Комбинированное охлаждение. Схемы подвода охладителя.
18. Состав и структурная схема КЭУ
19. Электрохимические КЭУ
20. Принцип работы электрохимического источника тока
21. Использование аккумуляторных батарей в КЭУ.
22. Водородно-кислородные топливные элементы
23. Электрохимический генератор
24. Фотоэлектрические преобразователи
25. Солнечные батареи
26. Пути совершенствования КЭУ на основе СБ
27. Радиоактивные изотопы
28. Радиоизотопные генераторы.
29. Термоэлектрические преобразователи
30. Пути совершенствования КЭУ на основе РИГ
31. Применение ядерных энергетических установок в космосе
32. Термоэлектрические реакторы-преобразователи
33. Американские и советские космические аппараты с ЯЭУ
34. ЯЭУ с термоэмиссионными преобразователями
35. Назначение ДУ и общие сведения об управлении движением космических аппаратов
36. Источники энергии и массы для функционирования ракетных двигателей ДУ и их классификация.
37. ЖРД КК «Союз», «Восток», «Аполлон», РБ «Фрегат», АМС
38. Основные параметры и характеристики ЖРД
39. Тяга ЖРД
40. Удельный импульс тяги ЖРД
41. Удельная масса ЖРД
42. Время работы ЖРД
43. Классификация, область применения и требования, предъявляемые к реактивным системам управления
44. Отличительные особенности ЖРДМТ
45. Импульсным режимом работы
46. Установившийся и неустановившийся импульсные режимы работы
47. Понятие тяги ЖРДМТ
48. Газовый ракетный двигатель малой тяги МД08-02
49. ЖРДМТ каталитического разложения С5.221 и С5.216
50. Однокомпонентный термокatalитический ракетный двигатель малой тяги К50-10.
51. Характеристика и классификация электроракетных

- 52.двигательных установок
- 53.Принципы работы ЭРД.
- 54.Энергетические характеристики ЭРД
- 55.Электронагревные и электродуговые ЭРД
- 56.Ионный двигатель. Принципиальная схема ионного двигателя
- 57.Электромагнитные двигатели
- 58.Электроракетные двигатели и двигательные установки КА для решения конкретных задач
- 59.Стационарные плазменные двигатели
- 60.Сравнение ядерных ракетных двигателей с другими ракетными двигателями
- 61.Принцип действия и классификация ядерных ракетных двигателей
- 62.Общее устройство и физическая сущность ЯРД с реактором деления
- 63.Твердофазный ЯРД
- 64.Рабочие тела ЯРД.
- 65.Замедлители и отражатели. Устройство тепловыделяющих элементов
- 66.Управление работой ЯРД. Газофазные ЯРД
- 67.Жидкофазные и коллоидные ЯРД. ЯРД с реактором синтеза. Тепловой радиоизотопный ЯРД. ЯРД и космические полеты будущего
- 68.Проекты ядерной двигательной-энергетической установки 21 века

5.Указания по проведению контрольных работ для студентов очной, заочной формы обучения

5.1. Требования к структуре

Структура контрольной работы должна способствовать раскрытию темы: иметь титульный лист, содержание, введение, основную часть, заключение, список литературы.

5.2. Требования к содержанию (основной части)

1. Во введении обосновывается актуальность темы, определяется цель работы, задачи и методы исследования.

2. При определении целей и задач исследования необходимо правильно их формулировать. Так, в качестве цели не следует употреблять глагол «сделать». Правильно будет использовать глаголы: «раскрыть», «определить», «установить», «показать», «выявить» и т.д.

3. Основная часть работы включает 2 - 4 вопроса, каждый из которых посвящается решению задач, сформулированных во введении, и заканчивается констатацией итогов.

4. Приветствуется иллюстрация содержания работы таблицами, графическим материалом (рисунками, схемами и т.п.).

5. Необходимо давать ссылки на используемую литературу.

6. Заключение должно содержать сделанные автором работы выводы, итоги исследования.

7. Вслед за заключением идет список литературы, который должен быть составлен в соответствии с установленными требованиями. Если в работе имеются приложения, они оформляются на отдельных листах, и должны быть соответственно пронумерованы.

5.3. Требования к оформлению

Объем контрольной работы – 10...12 страниц формата А 4, напечатанного с одной стороны текста (1,5 интервал, шрифт TimesNewRoman).

6. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература:

1. Ерохин, Б.Т. Теория и проектирование ракетных двигателей: учебник. СПб.: Лань, 2015. — 597 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=60037
2. Минашин, А.Г. Основы теории и проектирования жидкостных ракетных двигателей малой тяги: учебное пособие: в 2-х частях. Часть 2 [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Г. Минашин, Б.Б. Петрикевич. — Электрон. дан. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана (Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана), 2014. — 48 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=62055

Дополнительная литература:

1. Дорофеев, А.А. Ядерные ракетные двигатели и энергетические установки. –М.: Издательство: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. - 342 с.
2. Введение в ракетно-космическую технику. Общие сведения: учебное пособие для студентов и аспирантов смежных специальностей Ч. 1-3 / А. П. Аверьянов, Л.Г. Азаренко, Г.Г. Вокин, Н.А. Кашеев, Л.А. Манчева, В.С. Чаплинский. - Королев МО\; КИУЭС, 2011. Библиотека «МГОТУ».
3. Конструкция и проектирование изделий ракетно-космической техники. Основы проектирования ракет-носителей / В. И.; Куренков В.И., Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. акад. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Самара: Изд-во СГАУ, 2012. - 304с. <http://rucont.ru/efd/230123>.
4. Охочинский, М.Н. Методы поиска новых технических решений в ракетно-космической технике: учебное пособие для вузов: учебное пособие / М.Н. Охочинский, С.А. Чириков. — СПб.: БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова (Балтийский государственный технический университет «Военмех» имени Д.Ф. Устинова), 2010. — 71 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=64106
5. Цуцуран В. И., Петрухин Н. В., Гусев С. А. Военно-технический анализ состояния и перспективы развития ракетных топлив: Учеб. - М.: МО РФ, 1999 -332 с.
6. Проектирование транспортных средств специального назначения: учеб. пособие / Е.В. Воробьев, О.Е. Денисов, В.И. Кузнецов; под ред. А.Н. Совы. - М.: МАДИ, 2014. - 96 с.

7. Теория горения и взрыва: практикум: Учебное пособие / В.А. Девисиллов, Т.И. Дроздова, С.С. Тимофеева. - 2 изд., перераб. и доп. - М.: Форум: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 384 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-00091-006-1, <http://znanium.com/bookread2.php?book=489498>.
8. Добровольский, М.В. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: учеб. для вузов / М.В. Добровольский; под ред. Д.А. Ягодникова. – 2-е изд. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 488 с.
9. Козлов А.А. Системы питания и управления жидкостных ракетных двигательных установок / А.А. Козлов, В.Н. Новиков, Е.В. Соловьев. – М.: Машиностроение, 1988. – 352 с.
10. Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей : учеб. для вузов / Г.Г. Гахун [и др.]; под общ. ред. Г.Г. Гахуна. – М.: Машиностроение, 1989. – 424 с.
11. ГОСТы Р ИСО 15859-...-2010. Системы космические. Характеристики, отбор проб и методы анализа текучих сред. Основные положения действующих стандартов на компоненты ракетного топлива, используемого в оборудовании летательных аппаратов и средствах, системах и оборудовании наземного базирования. Предельные значения содержания компонентов топлива, требования к методам отбора проб и методам анализа для контроля состава.
12. ГОСТ 7.32-2001. Отчет о научно-исследовательской работе (НИР).
13. ГОСТ Р 7.0.5–2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».
14. Проектирование транспортных средств специального назначения: учеб. пособие / Е.В. Воробьев, О.Е. Денисов, В.И. Кузнецов; под ред. А.Н. Совы. - М.: МАДИ, 2014. - 96 с.
15. Паневин, И. Г. Космические ядерные ракетные двигатели /И.Г. Паневин, В.И. Прищепа, В.Н. Хазов// Новое в жизни, науке, технике. Серия: Космонавтика, астрономия, 6, 1978. -М.: Знание, 1978.-64 с.
16. Теория и расчет энергосиловых установок космических летательных аппаратов / Л.А. Квасников, Л.А. Латышев, Н.Н. Пономарев-Степной, Д.Д. Севрук, В.Б. Тихонов. —Изд. второе, перераб. и доп. —М.: Изд-во МАИ, 2001. —480 с.: ил.10.
17. Гуцин, В.Н. Основы устройства космических аппаратов: Учебник для вузов. –М.: Машиностроение, 2003. –272 с.: ил.
18. Морозов, А. И. Космические электрореактивные двигатели:Новое в жизни, науке, технике. Сер. Космонавтика, астрономия, No 7//А. И. Морозов, А. П. Шубин. –М.: Знание, 1975. –64 с, ил.
19. Гришин,С. Д. Электрические ракетные двигатели/С. Д. Гришин, Л. В. Лесков, Н. П. Козлов. -М.: Машиностроение, 1975.-272 с.
20. Гуров, А. Ф. Конструкция и расчет на прочность космических электроракетных двигателей/А. Ф.Гуров, Д. Д.Севрук, Д. Н.Сурнов. - М.:Машиностроение 1970. -492 с.

Электронные ресурсы образовательной среды «МГОТУ»:

- <http://biblioclub.ru/index.php>- библиоклуб (университетская библиотека);
- <http://www.znanium.com> - электронно-библиотечная система Znanium.com!;
- <http://e.lanbook.com> -электронно-библиотечная система издательства «Лань»;
- <http://www.rucont.ru/> -Национальный цифровой ресурс Руконт - межотраслевая электронная библиотека (ЭБС);
- <http://www.polpred.com/> - ООО "ПОЛПРЕД Справочники".

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Интернет-ресурсы:

1. Информационно - правовой сервер ГАРАНТ - <http://www.garant.ru>
2. Общероссийская сеть распространения правовой информации Консультант Плюс - <http://www.consultant.ru>
3. <http://sk.ru/foundation/space/> - Кластер «Космические технологии и телекоммуникации»
4. <http://www.gctc.ru/> - Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный Центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина»).
5. <http://www.gost.ru/wps/portal/> - Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)
6. <http://standard.gost.ru/wps/portal/> - Портал Росстандарта по стандартизации
7. <http://tk.gost.ru/wps/portal/> - Портал технических комитетов Росстандарта
8. <http://iso.gost.ru/wps/portal/> - Портал по международной стандартизации
9. <http://iec.gost.ru/wps/portal/> - Портал Международной электротехнической комиссии (МЭК; англ. International Electrotechnical Commission, IEC)
10. <http://wto.gost.ru/wps/portal/> - Информационный портал ВТО
11. <http://www.easc.org.by/> - Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации
12. www.znanium.com - Электронно-библиотечная система Znanium.com.
13. <http://eup.ru/catalog/all-all.asp>– научно-образовательный портал.

8. Перечень информационных технологий

Перечень программного обеспечения: *MSOffice*.

Информационные справочные системы:

1. Ресурсы информационно-образовательной среды «МГОТУ»
2. Рабочая программа и методическое обеспечение по дисциплине «Перспективные ракетные двигатели».