



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 «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.

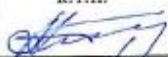
**Автор: д.т.н. Агеенко Ю.И. Рабочая программа дисциплины: «Ракетные двигатели» – Королев МО: «Технологический университет», 2023.**

**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.	№ __ от __. __.20__ г.	№ __ от __. __.20__ г.	№ __ 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.	№ __ от __. __.20__ г.	№ __ от __. __.20__ г.	№ __ от __. __.20__ г.

## **1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОПВО**

**Целью** изучения дисциплины является овладение:

1. Понятийным аппаратом жидких ракетных двигателей (ЖРД) и жидкостных ракетных двигательных установок (ЖРДУ);
2. Методами проведения комплексного технико-экономического анализа для обоснованного принятия решений;
3. Методами испытаний и вопросами обеспечения надежности; методами математического моделирования ЖРД;
4. Техникой расчета и конструирования ЖРД и ЖРДУ их узлов и агрегатов с использованием информационных технологий.

У обучающихся формируются знания:

по ракетным двигателям твердого топлива (РДТТ) и твердотопливных ракетных двигательных установок (РДУТТ);

методам проведения комплексного технико-экономического анализа для обоснованного принятия решений;

методам испытаний и вопросам обеспечения надежности;

методам математического моделирования РДТТ.

Обучающиеся получают навыки техники расчета и конструирования РДТТ и РДУТТ, их узлов и агрегатов с использованием информационных технологий.

В процессе обучения студент приобретает и совершенствует следующие **профессиональные компетенции**:

ПК-1. Способен 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-3. Способность осуществлять сопровождение процесса изготовления космических аппаратов, космических систем и их составных частей;

ПК-4. Способность сопровождения и анализа результатов процесса подготовки и проведения испытаний космических аппаратов, космических систем и их составных частей в наземных условиях;

ПК-5. Способность к анализу и оценке работы космических аппаратов, космических систем и их составных частей при подготовке к запуску и в процессе эксплуатации;

ПК-6. Способность разработки технологических процессов сборки и испытаний агрегатов и систем с применением средств автоматизированного проектирования;

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

Основными **задачами** дисциплины являются:

1. ознакомление обучающихся с ключевыми вопросами создания ракетных двигателей в истории развития ракетной техники;
2. освоение навыков формирования системного подхода последовательности решения поставленной проблемы по определению внешнего облика изделий, систем, механизмов и агрегатов, входящих в структуру комплексов;
3. формирование способности проводить техническое проектирование изделий ракетной и ракетно-космической техники.

Показатели освоения компетенции отражают следующие индикаторы:

#### **Трудовые действия:**

Анализировать дефекты, их последствия и несоответствия конструкторской документации. Проводить анализ материалов исследований патентной чистоты разрабатываемых космических аппаратов, космических систем и их составных частей. Оформлять технологическую документацию. Проведение экспериментальных и опытных работ по внедрению технологических процессов сборки и испытаний изделий и агрегатов РКТ, оснастки, оборудования в составе комиссии.

Проводить исследование и анализ дефектов изготовленных космических аппаратов, космических систем и их составных частей на несоответствие конструкторской документации. Проведение анализа вариантов технических решений при разработке проектов космических аппаратов, космических систем и их составных частей. Анализировать перспективы развития как ракетно-космической техники в целом, так и ее отдельных видов для проработки технических заданий.

#### **Необходимые умения:**

Обрабатывать информацию о разработке и сертификации космических аппаратов, космических систем и их составных частей из различных источников, в том числе на английском языке.

Разработка рекомендаций и заключений по использованию результатов теоретических и экспериментальных исследований космических аппаратов, космических систем и их составных частей.

Проведение технико-экономического и функционально-стоимостного анализа проектов космических аппаратов, космических систем и их составных частей.

Выполнять расчеты с использованием специализированного ПО.

Проводить корректировку проектной конструкторской, рабочей конструкторской документации на космические аппараты, космические системы и их составные части.

Разрабатывать программы и методики проведения испытаний составных частей космических аппаратов

Применять средства индивидуальной защиты при проведении испытаний.

Оформлять технические отчеты по результатам сопровождения процесса подготовки и проведения испытаний.

Применять физические принципы, используемые при испытаниях для имитации условий реальной эксплуатации.

Владеть разработкой предложений по модернизации составных частей космических аппаратов и космических систем в перспективных разработках

Оформлять технические отчеты по результатам эксплуатации составных частей космических аппаратов и космических систем.

Уметь читать конструкторскую документацию  
уметь работать с программными средствами общего и специального назначения.

Определять маршрут сборки и последовательность выполнения операций.

Единая система технологической документации (ЕСТД) и НД организации по правилам разработки и оформления технологических процессов.

уметь оформлять акты внедрения технологического процесса сборки и испытаний изделий и агрегатов РКТ.

Владеть отработкой конструкции изделий на технологичность с оформлением карт отработки.

Уметь формулировать вопросы и заносить их в журнал конструктивных замечаний.

НД организации в части отработки КД на технологичность, по внедрению и аттестации технологических процессов.

### **Необходимые знания:**

Знать основы метрологии, стандартизации и сертификации.

Знать Единая система конструкторской документации;

Особенности инженерно-технического подхода к решению профессиональных проблем.

Знать основы инженерного синтеза сложных систем, аналитический аппарат и алгоритмы приложения в технике.

Знать основы систем автоматизированного проектирования.

Знать основные технические характеристики и возможности производственного оборудования, технологической оснастки и средств измерений, используемых в организациях ракетно-космической промышленности.

Знать основные методы контроля изготовления разрабатываемых космических аппаратов, космических систем и их составных частей.

Знать технологии изготовления космических аппаратов и их составных частей.

Знать основы эргономического проектирования.

Знать назначение и параметры оборудования для проведения испытаний Регламенты проведения испытаний проектируемых составных частей космических аппаратов и космических систем.

Знать физические и механические характеристики разработанных составных частей космических аппаратов и космических систем.

Знать принципы работы и условия эксплуатации разработанных составных частей космических аппаратов.

Знать: Конструкция изделия РКТ.

Знать: технические требования к КД.

Знать современные технологии сборки и испытаний агрегатов и изделий РКТ

## **2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО**

Дисциплина относится к базовой части блока 1 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 4-ом курсе в 7-ом и 8-ом семестрах кафедрой «Ракетных двигателей (КБ Химмаш, базовая кафедра)».

При очно-заочной форме обучения дисциплина реализуется на 4-ом курсе в 7-ом и 8-ом семестрах кафедрой «Ракетных двигателей (КБ Химмаш, базовая кафедра)».

Дисциплина «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 изученных компетенциях УК-1, УК-8, ОК-2, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ОПК-7, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-10.

Знания и компетенции, полученные при освоении дисциплины «Ракетные двигатели», являются базовыми при изучении дисциплин: «Теория двигателей», «Ракетные топлива» и при подготовке выпускной квалификационной работы специалиста.

## **3. Объем дисциплины и виды учебной работы**

Общая трудоемкость освоения дисциплины для обучающихся при очной форме обучения составляет 8 зачетных единицы, 288 часов.

Общая трудоемкость освоения дисциплины для обучающихся при очно-заочной форме обучения составляет 8 зачетных единицы, 288 часов.

Предусматриваются занятия следующих видов: лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов. Текущий контроль знаний – те-

стирование, итоговый контроль знаний – зачет в 7-ом семестре и экзамен в 8-ом семестре.

**Таблица 1**

<b>Виды занятий</b>	<b>Всего часов</b>	<b>Семестр 7</b>	<b>Семестр 8</b>	<b>Семестр 9</b>	<b>Семестр ...</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>288</b>	<b>108</b>	<b>180</b>		
<b>ОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ</b>					
<b>Аудиторные занятия</b>	<b>96</b>	<b>32</b>	<b>64</b>		
Лекции (Л)	48	16	32		
Практические занятия (ПЗ)	48	16	32		
Лабораторные работы (ЛР)					
Практическая подготовка					
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>192</b>	<b>76</b>	<b>116</b>		
Курсовые работы (проекты)	+		+		
Расчетно-графические работы					
Контрольная работа, домашнее задание	+ +	+ -	+ +		
<b>Текущий контроль знаний</b>	<b>Тест</b>	<b>+</b>	<b>+</b>		
<b>Вид итогового контроля, Зачет</b>	<b>Экзамен /зачет</b>	<b>Зачет</b>	<b>Экза- мен</b>		
<b>ОЧНО-ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ</b>					
<b>Аудиторные занятия</b>	<b>48</b>	<b>24</b>	<b>24</b>		
Лекции (Л)	16	8	8		
Практические занятия (ПЗ)	32	16	16		
Лабораторные работы (ЛР)					
Практическая подготовка					
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>240</b>	<b>120</b>	<b>120</b>		
Курсовые работы (проекты)	+		+		
Расчетно-графические работы					
Контрольная работа, домашнее задание	+ +	+ -	+ +		
<b>Вид итогового контроля, Зачет</b>	<b>Зачет, экзамен</b>	<b>Зачет</b>	<b>Экза- мен</b>		

**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	Практи- ческая подгото- вка, час Очная /заочная форма	Код ком- петенций
Тема 1. Введение. Основы теории процессов в ракетных двигателях	2/1	2/2	1/1	-/-	ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7
Тема 2. Тяга и удельный импульс тяги	2/2	4/4	2/1	1/1	ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7
Тема 3. Относительная начальная масса и характеристическая скорость ракеты	4/2	2/4	2/1	-/-	ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7
Тема 4. Основные элементы конструкции ракетного двигателя	4/2	4/2	2/1	1/1	ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7
Тема 5. Жидкостные ракетные двигатели (ЖРД)	4/1	4/4	2/-	-/-	ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7
Тема 6. Конструкция жидкостных ракетных двигателей	4/1	4/2	2/-	1/1	ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7
Тема 7. Производство и испытания ЖРД	4/1	4/2	2/-	-/-	ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7
Тема 8. Конструкция РДТТ	4/1	4/2	2/-	2/2	ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7
Тема 9. Двигатели ракетных ступеней	4/1	4/2	2/-	-/-	ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7
Тема 10. Твёрдотопливные ракетные ступени	4/1	4/2	2/1	1/1	ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7
Тема 11. Геометрия твёрдотопливного заряда	4/1	4/2	2/1	1/1	ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7



Тема 12. Достоинства и недостатки РДТТ	4/1	4/2	2/1	1/1	ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7
Тема 13. Перспективные ракетные двигательные системы	4/1	4/2	1/1	-/-	ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7
<b>Итого:</b>	<b>48/16</b>	<b>48/32</b>	<b>24/8</b>	<b>8/8</b>	

## 4.2. Содержание тем дисциплины

### **Тема 1. Введение. Основы теории процессов в ракетных двигателях**

Основное уравнение реактивного движителя.

Критерий оптимизации - осуществить запуск на орбиту космический аппарат наибольшего веса при данных энергетических затратах.

Скорость истечения газовой струи в системе отсчета самой ракеты.

Интенсивный процесс быстрого контролируемого горения внутри работающего ракетного двигателя.

Необходимые компоненты для осуществления реакции горения: окислительный агент (окислитель) и восстановительный агент (горючее).

### **Тема 2. Тяга и удельный импульс тяги**

Оценивание эффективности двигателя его удельным импульсом.

Единицы измерения удельного импульса.

Факторы, от которых зависит величина удельного импульса тяги.

Выделяемая энергия при сгорании топлива, и эффективности ее использования в двигателе.

Разделение ракетных двигателей по назначению: разгонные (стартовые), тормозные, маршевые, управляющие и другие.

### **Тема 3. Относительная начальная масса и характеристическая скорость ракеты**

Относительная начальная масса и характеристическая скорость ракеты - основные характеристики ракеты как летательного аппарата.

Формула определения относительной начальной массы.

Параметры, определяющие конечную скорость, которую развивает ракета.

Формула К.Э. Циолковского определяющая характеристическую конечную скорость ракеты.

Пути повышения конечной скорости ракеты.

### **Тема 4. Основные элементы конструкции ракетного двигателя**

Основные части: камера сгорания и сопло.

Достаточный объем камеры сгорания для полного смешения, испарения и сгорания компонентов топлива.

Проектирование камеры и системы подачи топлива должны обеспечивать эффективное горение топлива: скорость газа в камере была ниже скорости звука.

Подбор контура расширяющейся части сопла и степень его расширения (отношение площадей на выходе и в горловине) исходя из скорости истечения газовой струи и давления окружающей среды.

### **Тема 5. Жидкостные ракетные двигатели (ЖРД)**

Использование самовоспламеняющегося жидкостного топлива.

Токсичность и агрессивность компонентов самовоспламеняющегося жидкостного топлива.

Однокомпонентные, двухкомпонентные, трехкомпонентные ЖРД.

Их удельный импульс двигателей в зависимости от состава компонентов ракетного топлива.

Выключение, повторный запуск и регулирование тяги.

### **Тема 6. Конструкция жидкостных ракетных двигателей**

Системы подачи горючего и окислителя в камеру сгорания ЖРД: вытеснительная, насосная.

Бак горючего.

форсунки смесительной головки.

Баллоны с газом высокого давления.

Клапаны.

Бак окислителя.

Рубашка охлаждения.

Баллоны с газом низкого давления.

Насосы.

Турбины.

Отбор горячего газа на привод турбины.

### **Тема 7. Производство и испытания ЖРД**

Повышенные требования к точности изготовления ЖРД. Контроль вибрации.

Балансировка лопаток, колес и валов турбин и насосов двигателя.

Испытания на гидравлических и огневых стендах.

Давления и скорости вращения в процессе огневых испытаний двигателя.

Допустимые предельные нагрузки на отдельные агрегаты и конструкцию в целом.

Кратковременные и контрольно-выборочные огневые испытания летных образцов двигателей.

Приемо-сдаточные испытания, имитирующие основные этапы полета.

### **Тема 8. Конструкция РДТТ**

Типы зарядов топлива; продольное и поперечные сечения.

Устройство зажигания.

Корпус двигателя.

Поверхность горения (открытая).

Изоляция.

Переднее днище.

Центральный канал.

Топливный заряд.

Выхлопное сопло.

Виды горения: торцевое, радиальное, регрессивное канальное.

### **Тема 9. Двигатели ракетных ступеней**

Влияние ступеней ракеты на эффективность полезной нагрузки, которую может нести ракета.

Конструктивное решение - создание большой ракеты в виде объединения нескольких отдельных ступеней.

Оптимизация ступеней для соответствующего участка траектории полета ракеты.

Компоновка ступеней: последовательная, параллельная или комбинированная.

### **Тема 10. Твердотопливные ракетные ступени**

Смешивание в мелкодисперсную однородную топливную смесь горючего и окислителя в современных твердотопливных ракетных двигателях.

Основа современного твердотопливного двигателестроения - строгий контроль процесса производства топлива с тем, чтобы его компоненты были равномерно перемешаны.

### **Тема 11. Геометрия твердотопливного заряда**

Зависимость характера изменения тяги в процессе горения от формы заряда топлива.

Геометрия заряда: нейтральная, прогрессивная и регрессивная.

Плавное регулирование тяги с помощью конического канала за счет уменьшения со временем скорости выгорания и тяги.

### **Тема 12. Достоинства и недостатки РДТТ**

Основные достоинства: простота, легкость обслуживания, быстрый запуск и большая мощность при небольшом объеме.

Основные недостатки твердотопливных двигателей: практическая невозможность регулирования тяги во время полета, трудность отключения двигателя.

Отсечка тяги путем открытия отверстий в передней части двигателя.

### **Тема 13. Перспективные ракетные двигательные системы**

Идея альтернативы РДТТ и ЖРД - гибридный двигатель, использующий твердое горючее и жидкий окислитель.

Электроракетный двигатель, использующий электричество для нагрева рабочего тела. Ионный двигатель, использующий высоковольтную дугу для ионизации рабочего тела, аргона или паров ртути, и электрическое поле для ускорения потока ионов.

Ядерные ракетные двигатели. Газофазный ядерный двигатель, использующий медленно движущую газовую струю делящегося плутония, окруженную более быстрым потоком охлаждающего водорода.

Фотонные двигатели.

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

1. «Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины».

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

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

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

### **Основная литература:**

1. Гречух, И. Н. Жидкостные ракетные двигатели : учебное пособие / И. Н. Гречух, Л. И. Гречух. — Омск : ОмГТУ, 2017. — 140 с. — ISBN 978-5-8149-2470-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/149080> дата обращения: 19.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. 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. – 304 с. [http:// rucont.ru/efd/230123](http://rucont.ru/efd/230123)

3. Анискевич, Ю. В. Основы устройства и теории ЖРД : учебное пособие / Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2016. — 118 с. — ISBN 978-5-85546-936-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/98201> (дата обращения: 19.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### **Дополнительная литература:**

1. Ерохин, Б. Т. Теория и проектирование ракетных двигателей : учебник / Б. Т. Ерохин. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 608 с. — ISBN 978-5-8114-1720-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/168767> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Пинчук, В. А. Энергетический расчёт ЖРД с нагнетательными системами питания : учебное пособие / В. А. Пинчук. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2018. — 90 с. — ISBN 987-5-907054-19-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/122084> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. 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.

#### **Электронные ресурсы образовательной среды «МГОТУ»:**

- <http://biblioclub.ru/index.php> -библиоклуб (университетская библиотека);
- [http:// www.znanium.com](http://www.znanium.com) - электронно-библиотечная система Znanium.com!;
- [http:// e.lanbook.com](http://e.lanbook.com) электронно-библиотечная система издательства «Лань»;
- [http:// www.rucont.ru/](http://www.rucont.ru/) Национальный цифровой ресурс Руконт - межотраслевая электронная библиотека (ЭБС);
- [http:// www.polpred.com/](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](http://www.garant.ru)
2. Общероссийская сеть распространения правовой информации Консультант Плюс - [http:// www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)
3. <http://sk.ru/foundation/space/> - Кластер «Космические технологии и телекоммуникации»
4. <http://www.gost.ru/wps/portal/> - Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)
5. <http://standard.gost.ru/wps/portal/> - Портал Росстандарта по стандартизации
6. <http://tk.gost.ru/wps/portal/> - Портал технических комитетов Росстандарта
7. <http://iso.gost.ru/wps/portal/> - Портал по международной стандартизации
8. <http://iec.gost.ru/wps/portal/> - Портал Международной электротехнической комиссии (МЭК; англ. InternationalElectrotechnicalCommission, IEC)
9. <http://wto.gost.ru/wps/portal/> - Информационный портал ВТО
10. <http://www.easc.org.by/> - Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации
11. [www.znanium.com](http://www.znanium.com) - Электронно-библиотечная система Znanium.com.
12. <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:** *MSOffice, AIFusionProcessModeler, RAMUS.*

### **Информационные справочные системы:**

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

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

### **Лекционные занятия:**

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

### **Практические занятия:**

- компьютерный класс с проектором для интерактивного обучения, оборудованный современными лицензионными программно-техническими средствами: операционная система не ниже WindowsXP; офисные программы MSOffice, AIFusionProcessModeler, RAMUS, 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 ТЕХНОЛОГИЙ  
МАШИНОСТРОЕНИЯ**

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

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)  
«РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ»**

**Специалитет:** 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно–космических комплексов»

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

**Уровень высшего образования:** специалитет

**Квалификация (степень) выпускника:** инженер

**Форма обучения:** очная, очно-заочная

**Королёв  
2023**



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

№ п/п	Индекс компетенции	Содержание компетенции	Раздел дисциплины, обеспечивающий формирование компетенции	В результате изучения раздела дисциплины, обеспечивающего формирование компетенции, (или ее части), обучающийся приобретает:		
				Трудовые действия	Необходимые умения	Необходимые знания
1	ПК-1	Способен проводить теоретические и экспериментальные исследования в области создания новых образцов космической техники в соответствии с тактико-техническими характеристиками и техническим заданием ...	Тема1-13	Разработка рекомендаций и заключений по использованию результатов теоретических и экспериментальных исследований космических аппаратов, космических систем и их составных частей.	Анализировать перспективы развития как ракетно-космической техники в целом, так и ее отдельных видов для проработки технических заданий.	Знать основы метрологии, стандартизации и сертификации.
2	ПК-2	Способность проектировать космические аппараты, космические системы и их составные части.	Тема1-13	Проведение анализа вариантов технических решений при разработке проектов космических аппаратов, космических систем и их составных частей.	Выполнять расчеты с использованием специализированного ПО.	Знать основы инженерного синтеза сложных систем, аналитический аппарат и алгоритмы приложения в технике.
3	ПК-3	Способность осуществлять сопровождение процесса изготовления космических аппаратов, космических систем и их	Тема1-13	Проводить исследование и анализ дефектов изготовленных космических аппаратов, космических	Проводить корректировку проектной конструкторской, рабочей конструкторской доку-	Знать основные технические характеристики и возможности производственного оборудования, техноло-

		составных частей		систем и их составных частей на несоответствие конструкторской документации.	ментации на космические аппараты, космические системы и их составные части.	гической оснастки и средств измерений, используемых в организациях ракетно-космической промышленности
4	ПК-4	Способность сопровождения и анализа результатов процесса подготовки и проведения испытаний космических аппаратов, космических систем и их составных частей в наземных условиях.	Тема1-13	Разрабатывать программы и методики проведения испытаний составных частей космических аппаратов	Оформлять технические отчеты по результатам сопровождения процесса подготовки и проведения испытаний.	Знать назначение и параметры оборудования для проведения испытаний Регламенты проведения испытаний проектируемых составных частей космических аппаратов и космических систем.
5	ПК-5	Способность к анализу и оценке работы космических аппаратов, космических систем и их составных частей при подготовке к запуску и в процессе эксплуатации	Тема1-13	Проводить анализ материалов исследований патентной чистоты разрабатываемых космических аппаратов, космических систем и их составных частей.	Владеть разработкой предложений по модернизации составных частей космических аппаратов и космических систем в перспективных разработках	Знать физические и механические характеристики разработанных составных частей космических аппаратов и космических систем
6	ПК-6	Способность разработки технологических процессов сборки и испытаний агрегатов и систем с применением средств авто-	Тема 1-13	Оформлять технологическую документацию. Определять маршрут сборки и последовательность выполнения	уметь работать с программными средствами общего и специального назначения Уметь читать конструкторскую документацию.	Знать: Конструкция изделия РКТ. ПК-6.6 Единая система технологической документации (ЕСТД) и НД организации

		материзированного проектирования		операций		по правилам разработки и оформления технологических процессов
7	ПК-7	Способность внедрять в производство технологические процессы сборки и испытаний изделий и агрегатов РКТ	Тема1-13	Проведение экспериментальных и опытных работ по внедрению технологических процессов сборки и испытаний изделий и агрегатов РКТ, оснастки, оборудования в составе комиссии.	уметь оформлять акты внедрения технологического процесса сборки и испытаний изделий и агрегатов РКТ.  Уметь формулировать вопросы и заносить их в журнал конструктивных замечаний.	Знать: технические требования к КД. НД организации в части отработки КД на технологичность, по внедрению и аттестации технологических процессов. знать современные технологии сборки и испытаний агрегатов и изделий РКТ

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

Код компетенции	Инструменты, оценивающие сформированность компетенции	Этапы и показатель оценивания компетенции	Критерии оценивания компетенции на различных этапах формирования и шкалы оценивания
ПК-1 – 7.	Задачи	А) полностью сформирована (компетенция, освоена на высоком уровне) - 5 баллов Б) частично сформирована: • компетенция освоена на продвинутом уровне - 4 балла; • компетенция освоена на базовом уровне - 3 балла; В) не сформирована (компетенция не сформирована) - 2 и	Например: Проводится в письменной форме. 1. Выбор оптимального метода решения задачи (1 балл). 2. Умение применить выбранный метод (1 балл). 3. Логический ход решения правильный, но имеются арифметические ошибки в расчетах (1 балл). 4. Решение задачи и получение правильного результата (2 балла). 5. Задача не решена

		менее баллов	вообще (0 баллов). Максимальная оценка - 5 баллов.
ПК-1 – 7.	Тест	<p>А) полностью сформирована (компетенция освоена на высоком уровне) - 90% правильных ответов</p> <p>Б) частично сформирована:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• компетенция освоена на продвинутом уровне - 70% правильных ответов;</li> <li>• компетенция освоена на базовом уровне - от 51% правильных ответов;</li> </ul> <p>В) не сформирована (компетенция не сформирована) - менее 50% правильных ответов</p>	<p>Проводится письменно. Время, отведенное на процедуру - 30 минут. Неявка — 0 баллов. Критерии оценки определяются процентным соотношением.</p> <p>Неудовлетворительно - менее 50% правильных ответов.</p> <p>Удовлетворительно - от 51 % правильных ответов.</p> <p>Хорошо - от 70%.</p> <p>Отлично - от 90%.</p> <p>Максимальная оценка – 5 баллов</p>

### **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. Необходимые компоненты для осуществления реакции горения в ракетном двигателе.
2. Разделение ракетных двигателей по назначению.
3. Основные элементы конструкций ракетных двигателей.
4. Жидкостные ракетные двигатели
5. Твердотопливные ракетные двигатели.
6. Перспективные ракетные двигатели.

#### **Примерная тематика контрольного задания**

1. Основные части конструкции ракетного двигателя.
2. Токсичность и агрессивность компонентов самовоспламеняющегося жидкостного топлива.
3. Производство и испытания ЖРД.

4. Конструкции РДТТ.
5. Перспективные ракетные двигательные системы.

#### **Примерная тематика практических заданий**

1. Практическое применение уравнения реактивного движителя.
2. Определение параметров, определяющих конечную скорость, которую развивает ракета.
3. Балансировка лопаток, колес и валов турбин и насосов двигателя.
4. Определение зависимости характера изменения тяги в процессе горения от формы заряда топлива.
5. Подбор контура расширяющейся части сопла и степень его расширения (отношение площадей на выходе и в горловине) исходя из скорости истечения газовой струи и давления окружающей среды.

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

Формой контроля знаний по дисциплине «Ракетные двигатели» являются текущий контроль знаний в виде теста, реферата, презентации группового доклада и промежуточная аттестация в виде зачета и экзамена.

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
Проводится в сроки, установленные графиком учебного процесса	Тестирование	ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; 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 зна-	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

				ний.		балла, 90% -100% - 5 баллов
Прово- дится в сро- ки, уста- нов- лен- ные графи- ком учеб- ного про- цесса	Реферат	ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7	Реферат, представ- ляющий собой результат реферирова- ния не- скольких книг по определен- ной теме, т.е. краткий обзор ос- новного со- держания этих книг.	Работа над рефератом включает в себя следу- ющие эта- пы: • форму- лирование темы, при- чем она должна быть не только актуальной по своему значению, но и ориги- нальной, ин- тересной по содержа- нию; • подбор и изучение основных источников по теме (как правило, при разработке реферата используют- ся не менее 8—10 раз- личных ис- точников); • составле- ние библио- графии; • обработка и системати- зация ин- формации; • разработка плана рефе- рата; • написание реферата.	Реферат сдается на проверку преподава- телю за одну неде- лю до за- четного занятия	Общая оценка реферата: реферат сдан на проверку преподавателю за одну неделю до зачетного занятия (1 балл); студен- том проявлена инициатива при выборе те- мы реферата и его написании (1 балл); работа выполнена без консультации с преподавате- лем (1 балл); материал представлен связно, логич- но и грамотно (1 балл); оформление в соответствии с требованиями ГОСТ (1 балл)
Прово- дится в сро-	Презента- ция груп- пового до- клада	ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4;	Презентация группового доклада, представ- ля-	Работа над презентаци- ей включает в себя сле-	16-17	Баллы, выстав- ляемые до- кладчику и со- докладчикам:

ки, установленные графификом учебного процесса		ПК-5; ПК-6; ПК-7	ет собой результат реферирования нескольких книг по определенной теме, т.е. краткий обзор основного содержания этих книг.	<p>дующие этапы</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• формулирование темы, причем она должна быть не только актуальной по своему значению, но и оригинальной, интересной по содержанию;</li> <li>• подбор и изучение основных источников по теме (как правило, при разработке доклада используются не менее 8—10 различных источников);</li> <li>• составление библиографии;</li> <li>• обработка и систематизация информации;</li> <li>• разработка плана доклада;</li> <li>• представление доклада</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• сообщил новую информацию (1 балл)</li> <li>• использовал технические средства (1 балл)</li> <li>• знает и хорошо ориентируется в содержании всего доклада (1 балл)</li> <li>• умеет дискутировать и быстро отвечает на вопросы (1 балл)</li> <li>• четко выполняет установленный регламент: докладчик - 10 мин.; содокладчики - 5 мин.; дискуссия - 10 мин. (1 балл)</li> </ul>
Проводится в сроки, установленные графи	Зачет	ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7	3 вопроса	Зачет проводится в устной форме, путем ответа на вопросы. Время, отведенное на процедуру – 30 минут.	Результаты предоставляются в день проведения зачета	<p>Критерии оценки:</p> <p><b>«Зачтено»:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• знание основных понятий предмета;</li> <li>• умение использовать и применять</li> </ul>

фи- ком учеб- ного про- цесса						<p>полученные знания на практике;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• работа на практических занятиях;</li> <li>• знание основных научных теорий, изучаемых предметов;</li> <li>• ответ на вопросы билета.</li> </ul> <p><b>«Не зачтено»:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• демонстрирует частичные знания по темам дисциплин;</li> <li>• незнание основных понятий предмета;</li> <li>• неумение использовать и применять полученные знания на практике;</li> <li>• не работал на практических занятиях;</li> </ul> <p>не отвечает на вопросы.</p>
Проводится в сроки, установленные графиками	Экзамен	ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7	3 вопроса	Экзамен проводится в письменной форме, путем ответа на вопросы. Время, отведенное на процедуру – 45 минут.	Результаты предоставляются в день проведения экзамена	Критерии оценки: <b>«Отлично»:</b> знание основных понятий предмета; умение использовать и применять полученные знания на практике; работа на практических занятиях; знание основных научных теорий, изучаемых предметов;



учебного процесса						<p>ответ на вопросы билета.</p> <p><b>«Хорошо»:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• знание основных понятий предмета;</li> <li>• умение использовать и применять полученные знания на практике;</li> <li>• работа на практических занятиях;</li> <li>• знание основных научных теорий, изучаемых предметов;</li> <li>• частичный ответ на вопросы билета</li> </ul> <p><b>«Удовлетворительно»:</b></p> <p>демонстрирует частичные знания по темам дисциплин;</p> <p>незнание, неумение использовать и применять полученные знания на практике;</p> <p>работал на практических занятиях;</p> <p><b>«Неудовлетворительно»:</b></p> <p>демонстрирует частичные знания по темам дисциплин;</p> <p>незнание основных понятий предмета;</p> <p>неумение использовать и применять полученные знания на практике;</p> <p>не работал на практических занятиях;</p> <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. Сопло конструкции Карла де Лавалья, шведского инженера, работавшего в области паровых турбин предложено в:

1890-х годах;  
1930-х годах;  
1940-х годах;  
1970-х годах.

2. Удельный импульс обычно выражают:

в секундах;  
граммах;  
килограммах;  
 $\text{м/с}^2$ .

3. Пути повышения конечной скорости ракеты:

увеличивать относительную начальную массу за счет облегчения конструкции;  
увеличивать удельный импульс за счет применения более высокоэнергетического топлива;  
снижать лобовое сопротивление за счет улучшения обтекания;  
снижать лобовое сопротивление за счет уменьшения размеров ракеты.

4. Какая ступень оптимизирована для соответствующего участка траектории полета пятиступенчатой ракеты и сбрасывается после полного выгорания топлива.

первая;  
вторая;  
третья;  
четвертая.

5. После полного выгорания топлива ступень с ЖРД...

пристыковывается к орбитальной станции;  
закачивается ракетным топливом из следующей ступени;  
продолжает полет в составе ракеты;  
сбрасывается.

6. Компоновка ступеней может быть:

последовательной;  
параллельной;  
разрозненной;  
комбинированной.

7. . При последовательной компоновке каждая ступень запускается, работает и отделяется...

после приземления ракеты;  
вместе с началом работы другой системы;  
прежде, чем начнет работать другая ступень;  
параллельно работе следующей ступени.

8. Большинство космических ракет-носителей представляют собой...

двух- или трехступенчатые ракеты разрозненной компоновки;  
одноступенчатые ракеты комбинированной компоновки;  
одноступенчатые ракеты последовательной компоновки;  
двух- или трехступенчатые ракеты последовательной компоновки.

9. При параллельной компоновке две или более ступеней...

запускаются и работают одновременно;  
запускаются и работают последовательно;  
запускаются и работают **попеременно**;  
запускаются и работают поочередно.

10. Параллельная компоновка часто применяется при движении ракеты...

за пределами Солнечной системы;  
на высоте более 250 км от поверхности Земли;  
на высоте более 500 км от поверхности Земли;  
в плотных слоях атмосферы.

11. Ракето-носители американского «Шаттла» представляют собой пример компоновки:

последовательной;  
параллельной;  
разрозненной;  
комбинированной.

12.Ракето-носители российского «Союза»представляют собой пример компоновки:

последовательной;  
параллельной;  
разрозненной;  
комбинированной.

13.Геометрия заряда РДТТ может быть...

нейтральной;  
прогрессивной;  
регрессивной;  
параллельной.

14.Жидкостные ракетные двигатели, использующие самовоспламеняющееся жидкое топливо, которое может храниться при нормальных температурах в течение длительного времени и воспламеняется при контакте компонентов друг с другом, были созданы в...

1920-х годах;  
1950-х годах;  
1980-х годах;  
1990-х годах.

15.Тип двигателя, практически освоенный для вывода полезной нагрузки на орбиту искусственного спутника Земли:

солнечный парус;  
космический лифт;  
двигатель внутреннего сгорания;  
ракетный двигатель.

16.По назначению ракетные двигатели подразделяются на...

разгонные (стартовые);  
тормозные;  
маршевые;  
управляющие.

17.Жидкостной ракетный двигатель – ракетный двигатель, использующий в качестве ракетного топлива...

жидкости;  
сжиженные газы;

твердые топлива;  
ядерную энергетику.

18. Недостатки ЖРД по сравнению с РДТТ:

значительно более сложное устройство;  
более дорогостоящие;  
компоненты жидкого топлива в невесомости неуправляемо перемещаются в пространстве баков;  
химическая энергия жидких компонентов меньше, чем твердых.

19. Твердотопливный ракетный двигатель использует в качестве топлива...

только твердое горючие;  
только окислитель;  
твердое горючие и окислитель;  
сжиженные газы.

20. Жидкий водород в двигателях применяется...

для первой ступени ракеты;  
на больших высотах;  
на старте ракеты;  
в космосе.

21. Класс легких ракета-носителей способен выводить на орбиту искусственного спутника полезный груз массой...

до 500 кг;  
до 10 т;  
до 100 т;  
свыше 100 т.

22. Класс средних ракета-носителей способен выводить на орбиту искусственного спутника полезный груз массой...

до 500 кг;  
до 10 т;  
до 100 т;  
свыше 100 т.

23. Класс тяжелых ракета-носителей способен выводить на орбиту искусственного спутника полезный груз массой...

до 500 кг;  
до 10 т;  
до 100 т;  
свыше 100 т.

24. Класс сверхтяжёлых ракета-носителей способен выводить на орбиту искусственного спутника полезный груз массой...

до 500 кг;  
до 10 т;  
до 100 т;  
свыше 100 т.

25. Первыми ракетными двигателями, нашедшими практическое применение были...

ЖРД;  
ядерные ракетные двигатели;  
электрические ракетные двигатели;  
РДТТ.

#### **4.2. Типовые вопросы, выносимые на зачет (экзамен)**

1. Газ, как рабочее тело.
2. Параметры состояния.
3. Управление состоянием идеального газа.
4. Закон сохранения и превращения энергии.
5. Внешняя работа газа.
6. Первый закон термодинамики, его уравнение.
7. Термодинамические процессы в газах.
8. Основные элементы конструкции ЖРД, их назначение.
9. Классификация ЖРД по назначению, по количеству компонентов топлива, по способу подачи топлива, по развитию тяги, по количеству включений, по характеру работы.
10. Основные параметры ЖРД: тяга, удельный импульс, удельный расход топлива, удельная масса.
11. Высотная и дроссельная характеристики ЖРД.
12. Идеальный и реальный цикл работы ЖРД.
13. Назначения и требования, применяемые к камерам сгорания.
14. Процессы, происходящие в камерах сгорания, их преимущества и недостатки.
15. Сопла, их назначение.
16. Геометрические формы сопел, их преимущества и недостатки.
17. Форсунки, их назначение, типы, их преимущества и недостатки.
18. Расположение форсунок в камерах сгорания.

19. Требования, предъявляемые к системам охлаждения.
20. Наружное охлаждение: преимущества и недостатки.
21. Назначение, требования к системе подачи топлива: типы систем подачи топлива.
22. Турбонасосная система подачи топлива: конструкция, работа, преимущества и недостатки.
23. Вытеснительная система подачи топлива: конструкция, работа, преимущества и недостатки.
24. Основные элементы конструкции РДТТ.
25. Типы РДТТ в зависимости от типа размещения топливного заряда: со свободно вложенным зарядом, с зарядом, скрепленным со стенками корпуса, секционные РДТТ.
26. Материалы, применяемые в РДТТ: скорость горения, поверхность горения, массовый секционный расход, давление в камере сгорания, тяга двигателя.
27. Зависимость скорости горения от внешней температуры, давления, состава топлива.
28. Классификация ЖРД по назначению, по количеству компонентов топлива, по способу подачи топлива, по развитию тяги, по количеству включений, по характеру работы.
29. Топливная защита РДТТ.
30. Преимущества и недостатки РДТТ перед ЖРД.

**Приложение 2**

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

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

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

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

**Направление подготовки:** 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно–космических комплексов»

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

**Уровень высшего образования:** специалитет

**Квалификация (степень) выпускника:** инженер

**Форма обучения:** очная, очно-заочная

**Королёв  
2023**



## 1. Общие положения

### Цель дисциплины:

- понятийным аппаратом жидких ракетных двигателей (ЖРД) и жидкостных ракетных двигательных установок (ЖРДУ);
- методами проведения комплексного технико-экономического анализа для обоснованного принятия решений;
- методами испытаний и вопросами обеспечения надежности; методами математического моделирования ЖРД;
- техникой расчета и конструирования ЖРД и ЖРДУ их узлов и агрегатов с использованием информационных технологий.

### Задачи дисциплины:

формирование у обучающихся знаний:

по ракетным двигателям твердого топлива (РДТТ) и твердотопливных ракетных двигательных установок (РДУТТ);

методам проведения комплексного технико-экономического анализа для обоснованного принятия решений;

методам испытаний и вопросам обеспечения надежности;

методам математического моделирования РДТТ.

## 2. Указания по проведению практических (семинарских) занятий

### Практическое занятие 1

Вид практического занятия: смешанная форма практического занятия.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: введение, основы теории процессов в ракетных двигателях

Содержание практического занятия: история двигателестроения ракетной техники, необходимые компоненты для осуществления реакции горения

Цель работы: ознакомление обучающихся с ключевыми вопросами создания ракетных двигателей в истории развития ракетной техники, основами теории процессов в ракетных двигателях.

Продолжительность занятия– 2/1 ч.

### Практическое занятие 2

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: тяга и удельный импульс тяги.

Содержание практического занятия: оценивание эффективности двигателя его удельным импульсом.

Единицы измерения удельного импульса.

Факторы, от которых зависит величина удельного импульса тяги.

Цель работы: изучить наиболее важное требование к ракетным двигателям.

Продолжительность занятия – 2/- ч.

### **Практическое занятие 3**

Вид практического занятия: решение ситуационных задач.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: относительная начальная масса и характеристическая скорость ракеты

Содержание практического занятия: расчет параметров, определяющих конечную скорость, которую развивает ракета.

Цель работы: научиться использовать в профессиональной деятельности знания и методы, полученные при изучении математических и естественнонаучных дисциплин, овладеть культурой мышления и знанием его общих законов, понимать особенности инженерно-технического подхода к профессиональным проблемам

Продолжительность занятия – 2/1 ч.

### **Практическое занятие 4**

Вид практического занятия: смешанная форма практического занятия.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: основные элементы конструкции ракетного двигателя.

Содержание практического занятия: камера сгорания и сопло, системы подачи топлива.

Цель работы: овладеть знанием устройств, порядка функционирования агрегатов и систем ракетных двигателей

Продолжительность занятия – 2/1 ч.

### **Практическое занятие 5**

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: жидкостные ракетные двигатели.

Содержание практического занятия: изучение требований к однокомпонентным, двухкомпонентным, трехкомпонентным ЖРД, удельный импульс двигателей в зависимости от состава компонентов ракетного топлива.

Цель работы: овладеть знанием устройства ЖРД, порядка функционирования их агрегатов и систем технологического оборудования ракетно-космических комплексов, технологических операций с их применением

Продолжительность занятия – 4/1 ч.

### **Практическое занятие 6**

Вид практического занятия: тестирование.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: тест на выявление уровня освоения теоретических знаний.

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 – 4/1 ч.

### **Практическое занятие 7**

Вид практического занятия: практическое занятие в форме деловой игры.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: производство и испытания ЖРД.

Содержание практического занятия: с помощью обучающих программ прикладной инженерии - KSP выполнить расчет ЖРД в соответствии с поставленной задачей.

Цель работы: экспериментально с помощью компьютерного моделирования изучить виды ракетных двигателей.

Продолжительность занятия – 4/1 ч.

### **Практическое занятие 8**

Вид практического занятия: практическая работа в группе.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: конструкция РДТТ

Содержание практического занятия: изучение типов зарядов топлива и основных элементов конструкции РДТТ.

Цель работы: рассмотреть химические и физические реакции, наблюдающиеся в процессах горения, виды горения, конструкции РДТТ.

Продолжительность занятия – 4/1 ч.

### **Практическое занятие 9**

Вид практического занятия: практическая работа в группе.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: двигатели ракетных ступеней

Содержание влияние ступеней ракеты на эффективность полезной нагрузки, которую может нести ракета.

Цель работы: определение оптимальной ступени для соответствующего участка траектории полета ракеты.

Продолжительность занятия – 2/- ч.

### **Практическое занятие 10**

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: твердотопливные ракетные ступени.

Содержание практического занятия: изучение процесса смешивания в мелкодисперсную однородную топливную смесь горючего и окислителя в современных твердотопливных ракетных двигателях.

Цель работы: подготовить обучающихся в соответствии с технической документацией проводить работы по контролю процесса производства РДТТ.

Продолжительность занятия – 2 ч.

### **Практическое занятие 11**

Вид практического занятия: реферат.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема и 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/- ч.

### **Практическое занятие 12**

Вид практического занятия: презентация группового доклада.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема и 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/- ч.

### Практическое занятие 13

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: перспективные ракетные двигательные системы.

Содержание практического занятия: рассмотреть альтернативы РДТТ и ЖРД

Цель работы: получить перспективных научно-исследовательских разработках в современном ракетном двигателестроении.

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.

№ п/п	Наименование блока (раздела) дисциплины	Виды СРС
1	Изучение открытых источников и подготовка доклада на выбранную тему.	Примерные темы докладов 1. Основные этапы истории развития ракетной техники и применяемых двигателей. 2. Тяга и удельный импульс тяги 3. Разделение ракетных двигателей по назначению 4. Балансировка лопаток, колес и валов турбин и насосов двигателя.

		5. Токсичность и агрессивность компонентов самовоспламеняющегося жидкостного топлива.
2	Примеры, поясняющие принцип движения ракеты и подготовка доклада на выбранную тему.	1. Оптимизация ступени для соответствующего участка траектории полета ракеты 2. Регулирование тяги 3. Скорость истечения газовой струи в системе отсчета самой ракеты 4. Подбор контура расширяющейся части сопла и степень его расширения 5. Давления и скорости вращения в процессе огневых испытаний двигателя. Основные элементы конструкции ракетного двигателя. 2. Конструкция жидкостных ракетных двигателей 3. Конструкция РДТТ 4. Двигатели ракетных ступеней 5. Перспективные ракетные двигательные системы

### **Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение:**

1. Балансировка лопаток, колес и валов турбин и насосов двигателя.
2. Испытания на гидравлических и огневых стендах.
3. Проектирование камеры и системы подачи топлива обеспечивающие эффективное горение топлива: скорость газа в камере была ниже скорости звука.
4. Оптимизация ступени для соответствующего участка траектории полета ракеты.
5. Электроракетные двигатели.
6. Ядерные силовые установки.
7. Лазерные двигатели.
8. Фотонные двигатели.
9. Солнечный парус.

### **Примерные темы докладов с презентацией**

1. Основные элементы конструкции ракетного двигателя.
2. Конструкция жидкостных ракетных двигателей
3. Конструкция РДТТ
4. Двигатели ракетных ступеней
5. Перспективные ракетные двигательные системы

### **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. Гречух, И. Н. Жидкостные ракетные двигатели : учебное пособие / И. Н. Гречух, Л. И. Гречух. — Омск : ОмГТУ, 2017. — 140 с. — ISBN 978-5-8149-2470-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/149080> дата обращения: 19.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. 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](http://rucont.ru/efd/230123)

3. 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».

### **Дополнительная литература:**

1. Ерохин, Б. Т. Теория и проектирование ракетных двигателей : учебник / Б. Т. Ерохин. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 608 с. — ISBN 978-5-8114-1720-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/168767> (дата обращения: 19.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

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

## **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.gost.ru/wps/portal/> - Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)
5. <http://standard.gost.ru/wps/portal/> - Портал Росстандарта по стандартизации
6. <http://tk.gost.ru/wps/portal/> - Портал технических комитетов Росстандарта
7. <http://iso.gost.ru/wps/portal/> - Портал по международной стандартизации
8. <http://iec.gost.ru/wps/portal/> - Портал Международной электротехнической комиссии (МЭК; англ. InternationalElectrotechnicalCommission, IEC)
9. <http://wto.gost.ru/wps/portal/> - Информационный портал ВТО
10. <http://www.easc.org.by/> - Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации
11. [www.znanium.com](http://www.znanium.com) - Электронно-библиотечная система Znanium.com.
12. <http://eup.ru/catalog/all-all.asp> – научно-образовательный портал.

## **8. Перечень информационных технологий**



**Перечень программного обеспечения:** *MSOffice, AIFusionProcessModeler, RAMUS.*

**Информационные справочные системы:**

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