



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

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«РАСЧЕТ, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАКЕТНЫХ
СИСТЕМ»**

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: «Расчет, конструкция и проектирование ракетных систем» – Королев МО: «Технологический университет», 2023.

Рецензент: д.т.н., с.н.с. Бершадский В.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)	Мороз А.П. д.т.н., с.н.с. 				
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. Основами проектирования ракетных двигателей твердого топлива и ракетных двигателей жидкого топлива различного назначения.
2. Навыками выполнения этапов разработки: формирование задания, расчет параметров, выбор конструктивной схемы, материалов, разработка конструкции, расчет на прочность и т.д.
3. Анализом стадий разработки жидких ракетных двигателей и автоматизированное проектирование его элементов.
4. Конструктивно-компоновочными схемами и конструкциями узлов двигателей.
5. Методологией расчетно-конструкторской разработки двигателей различных схем для выбора базовой компоновки на этапе технического предложения.

В процессе обучения студент приобретает и совершенствует следующие **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-4. Способность сопровождения и анализа результатов процесса подготовки и проведения испытаний космических аппаратов, космических систем и их составных частей в наземных условиях;

Основными **задачами** дисциплины являются:

1. Ознакомление обучающихся с ключевыми понятиями и вопросами устройства ракетных двигателей;

2. Овладение основами проектирования ракетных двигателей твердого топлива и ракетных двигателей жидкого топлива различного назначения;

3. Получение навыков выполнения этапов разработки: формирование задания, расчет параметров, выбор конструктивной схемы, материалов, разработка конструкции, расчет на прочность и т. д.;

4. Изучение основ комплексного проектирования и экспериментальной отработки комбинированных ракетных (ракетно-прямоточных) двигателей на твердом топливе;

5. Изучение стадий разработки жидких ракетных двигателей и автоматизированное проектирование его элементов, конструктивно-компоновочных схем и конструкций узлов комбинированных двигателей;

6. Ознакомление с методологией расчетно-конструкторской разработки двигателей различных схем для выбора базовой компоновки на этапе технического предложения.

Показатели освоения компетенции отражают следующие индикаторы:

Трудовые действия:

- Проведение анализа вариантов технических решений при разработке проектов космических аппаратов, космических систем и их составных частей.
- Разрабатывать программы и методики проведения испытаний составных частей космических аппаратов
- Анализировать дефекты, их последствия и несоответствия конструкторской документации.
- Применять физические принципы, используемые при испытаниях для имитации условий реальной эксплуатации.
- Анализировать перспективы развития как ракетно-космической техники в целом, так и ее отдельных видов для проработки технических заданий.

Необходимые умения:

- Выполнять расчеты с использованием специализированного ПО.
- Применять средства индивидуальной защиты при проведении испытаний.
- Оформлять технические отчеты по результатам сопровождения процесса подготовки и проведения испытаний.
- 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.

Необходимые знания:

- Знать основы инженерного синтеза сложных систем, аналитический аппарат и алгоритмы приложения в технике.
- Знать Единая система конструкторской документации;
- Особенности инженерно-технического подхода к решению профессиональных проблем.
- Знать основы метрологии, стандартизации и сертификации.
- Знать назначение и параметры оборудования для проведения испытаний. Регламенты проведения испытаний проектируемых составных частей космических аппаратов и космических систем.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

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

Дисциплина «Расчет, конструкция и проектирование ракетных систем» базируется на ранее полученных знаниях, приобретенных в процессе изучения дисциплин: «Метрология, стандартизация и взаимозаменяемость в ракетно-космической технике», «Сопротивление материалов», «Детали машин», «Строительная механика ракет», «Основы устройства ракет и КА», «Теория механизмов и машин», «Технология конструкционных материалов», «Теория автоматического управления», «Теория поиска и принятия решений», «Электрооборудование ракетных двигательных установок» и ранее частично изученные компетенции УК-8; ОПК-1; ОПК-4; ОПК-5, ОПК-6, ОПК-7, ОПК-8, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-10.

Знания и компетенции, полученные при освоении дисциплины «Расчет, конструкция и проектирование ракетных систем», являются базовыми для прохождения производственной практики и при подготовке выпускной квалификационной работы.

3. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость программы для обучающихся очной и очно-заочной форм обучения составляет 7 зачетных единиц, 252 ч. Преподавание предусматривает проведение учебных занятий следующих видов: лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов.

Текущий контроль знаний – тестирование дважды в семестр, итоговый контроль знаний: 9 семестр – зачет; А семестр – экзамен.

При очно-заочной форме обучения общая трудоемкость программы составляет 7 зачетных единиц, 252 ч. Преподавание предусматривает проведение учебных занятий следующих видов: лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов.

Текущий контроль знаний – тестирование, итоговый контроль знаний – 9 семестр зачет; А семестр – экзамен.

Таблица 1

Виды занятий	Всего часов	Семестр 9	Семестр А	Семестр В	Семестр ...
Общая трудоемкость	252	108	144		
ОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ					
Аудиторные занятия	96	48	48		
Лекции (Л)	32	16	16		
Практические занятия (ПЗ)	64	32	32		
Лабораторные работы (ЛР)					

Практическая подготовка					
Самостоятельная работа	156	60	96		
Курсовые работы (проекты)					
Расчетно-графические работы					
Контрольная работа	+	+	+		
Текущий контроль знаний	Тест	+	+		
Вид итогового контроля,	Экзамен/ зачет	Зачет	Экзамен		
ОЧНО-ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ					
Общая трудоемкость	252	108	144		
Аудиторные занятия	48	24	24		
Лекции (Л)	20	10	10		
Практические занятия (ПЗ)	28	14	14		
Лабораторные работы (ЛР)					
Практическая подготовка					
Самостоятельная работа	204	84	124		
Курсовые работы (проекты)					
Расчетно-графические работы					
Контрольная работа	+	+	+		
Вид итогового контроля	Экзамен/ зачет	Зачет	Экзамен		

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	Практичес кая подготовк , час Очная /заочная форма	Код ком- петенций
Тема 1. Классификация и основные устройства химических РД	1/1	2/1	1/1		ПК-1; ПК-2; ПК-4
Тема 2. Основной агрегат ЖРД- камера сгорания (КС)	1/1	2/2	1/1		ПК-1; ПК-2; ПК-4
Тема 3. Простейшие схемы ЖРД	1/1	2/2	1/1		ПК-1; ПК-2; ПК-4
Тема 4. Тяга ЖРД с вытеснительной системой подачи топлива и двигатели с ТНА, рабочее тело которого дожигается в камере сгорания	2/1	4/1	1/1	2/2	ПК-1; ПК-2; ПК-4
Тема 5. Тяга и удельный импульс ЖРД без дожигания продуктов газогенерации турбины	2/1	4/1	1/1		ПК-1; ПК-2; ПК-4
Тема 6. Расчет тяги и удельного импульса камеры ЖРД с исполь-	2/1	4/2	1/1		ПК-1; ПК-2; ПК-4

зованием газодинамических функций					
Тема 7. Расчет тяги и удельного импульса при наличии скачка уплотнения в сопле камеры	2/1	4/1	1/1		ПК-1; ПК-2; ПК-4
Тема 8. Теория и расчет однокомпонентных центробежных форсунок с учетом вязкости компонентов топлива	1/1	2/2	2/2	2/2	ПК-1; ПК-2; ПК-4
Тема 9. Расчет двухкомпонентных центробежных форсунок с внешним и внутренним смешением компонентов топлива	2/1	4/1	1/-		ПК-1; ПК-2; ПК-4
Тема 10. Неустойчивость рабочего процесса жидкостных ракетных двигателей	2/1	4/1	1/-		ПК-1; ПК-2; ПК-4
Тема 11. Сопла ЖРД	2/1	4/2	1/-	2/2	ПК-1; ПК-2; ПК-4
Тема 12. Основы теории теплообмена в камере жидкостных ракетных двигателей	2/1	4/2	2/1		ПК-1; ПК-2; ПК-4
Тема 13. Теплозащита стенок камеры ЖРД и расчет охлаждения	1/1	2/1	1/		ПК-1; ПК-2; ПК-4
Тема 14. Пневмогидравлические системы жидкостных ракетных двигателей	2/1	4/1	1/-	2/2	ПК-1; ПК-2; ПК-4
Тема 15. Насосная подача топлива	1/1	2/1	1/-		ПК-1; ПК-2; ПК-4
Тема 16. Расчет элементов жидкостных ракетных двигательных установок	2/1	4/1	2/1		ПК-1; ПК-2; ПК-4
Тема 17. Особенности расчета жидкостных ракетных двигателей с дожиганием продуктов газогенерации	2/1	4/2	1/-	2/2	ПК-1; ПК-2; ПК-4
Тема 18. Расчет и выбор оптимальных параметров жидкостных ракетных двигателей	1/1	2/1	1/-		ПК-1; ПК-2; ПК-4
Тема 19. Смешение компонентов топлива	1/1	2/1	1/-		ПК-1; ПК-2; ПК-4
Тема 20. Влияние точности изготовления форсунок на расход компонентов топлива	2/1	4/2	2/1	2/2	ПК-1; ПК-2; ПК-4
Итого:	32/20	64/28	24/12	12/12	

4.2. Содержание тем дисциплины

Тема 1. Классификация и основные устройства химических РД

Разделение химических РД в зависимости от агрегатного состояния топлива до его использования в двигателе.

Жидкостные ракетные двигатели (ЖРД).

Ракетные двигатели твердого топлива (РДТТ).

Гибридные (комбинированные) ракетные двигатели (ГРД).

Тема 2. Основной агрегат ЖРД- камера сгорания (КС)

Схема камеры ЖРД, работающей на двухкомпонентном топливе.

КС и сопло - конструктивно одно целое.

Устройство КС: смесительная головка, форсунки, внутренняя огневая стенка, наружная силовая рубашка, гофры, ребра, выштамповки.

Воспламенение (зажигание) топлива.

Состав КС (или нескольких камер): система регулирования и подачи компонентов топлива, исполнительные устройства для создания управляющих моментов, соединительные магистрали и т. п.

Органы автоматики: различные клапаны, редукторы, запальные устройства и другие элементы.

Вытеснительная, насосная и турбонасосная системы подачи компоненты в камеру сгорания.

Тема 3. Простейшие схемы ЖРД

Понятие о ракетной двигательной установке (ДУ), состоящей из двигателя и топливных баков.

Состав ДУ с ЖРД: один или несколько ЖРД, топливные баки, агрегаты наддува топливных баков, магистрали, соединяющих ЖРД с баками, системы заправки и слива компонентов.

Двигательная установка ЖРД с вытеснительной системой подачи.

Двигательная установка ЖРД с насосной системой подачи.

ЖРД с дожиганием продуктов газогенерации.

Отличие РДТТ от ЖРД.

Тема 4. Тяга ЖРД с вытеснительной системой подачи топлива и двигателя с ТНА, рабочее тело которого дожигается в камере сгорания

Основное назначение ЖРД — создание тяги в течение определенного промежутка времени.

Определение тяги, создаваемой камерой ЖРД, которая является одновременно и тягой ЖРД, в случае, когда истечение продуктов сгорания топлива в окружающую среду происходит только через камеру.

Принятие движение газов установившимся и одномерным при выводе уравнения тяги.

Определение тяги, как равнодействующей сил давления.

Расчетная схема для определения тяги камеры по теореме импульсов.

Расчетный режим работы сопла камеры, при котором давление на срезе сопла равно давлению окружающей среды.

Условия работы сопла, при которых камера разовьет наибольшую тягу.

Основные составляющие тяги камеры и место их приложения.
Понятие о коэффициенте тяги камеры.
Количественный анализ составляющих тяги.

Тема 5. Тяга и удельный импульс ЖРД без дожигания продуктов газогенерации турбины

Возможности для увеличения удельного импульса за счет повышения степени расширения газов.

Частичное улучшение удельного импульса путем выброса продуктов сгорания.

Через реактивные патрубки.

Использование ЖРД с дожиганием продуктов газогенерации - исключение потерь в удельном импульсе.

Тема 6. Расчет тяги и удельного импульса камеры ЖРД с использованием газодинамических функций

Использование при расчете количественных соотношений между давлением, плотностью, температурой и коэффициентом скорости.

Основные газодинамические функции и их комбинации.

Тема 7. Расчет тяги и удельного импульса при наличии скачка уплотнения в сопле камеры

Работа сопла на режиме недорасширения, расчетном режиме и (до определенных значений) на режиме перерасширения.

Изменения параметров течения газовой струи только за соплом, в свободной сверхзвуковой струе.

Мостообразный скачок уплотнения, состоящий из двух косых скачков и центрального скачка переменной интенсивности.

Схема рабочего процесса в сопле со скачком уплотнения.

Определение местоположения скачка уплотнения.

Тема 8. Теория и расчет однокомпонентных центробежных форсунок с учетом вязкости компонентов топлива

Силы трения на стенке направленные навстречу скорости течения, возникающие вследствие вязкости жидкости.

Разложение скорости течения жидкости в камере закручивания на составляющие.

Тема 9. Расчет двухкомпонентных центробежных форсунок с внешним и внутренним смешением компонентов топлива

Двухкомпонентные форсунки: с внешним и внутренним смешением.

Две камеры закручивания двухкомпонентных форсунок с внешним смешением.

Расчетная схема двухкомпонентной форсунки с внутренним смешением.

Суммарный массовый расход топлива через форсунку.

Гидравлика центробежной форсунки при подаче перегретого компонента топлива

Участие одного из компонентов топлива или обоих компонента в охлаждении камеры, газогенераторов и т. п. перед поступлением в форсунку.

Влияние конструктивных факторов на гидравлику центробежных форсунок

Схема течения жидкости во входных каналах.

Тема 10. Неустойчивость рабочего процесса жидкостных ракетных двигателей

Общие сведения о неустойчивости рабочего режима жидкостных ракетных двигателей.

Классификация неустойчивых режимов.

Качественный механизм возбуждения колебаний давления в камере сгорания.

Процесс выгорания топлива в камере сгорания и его характеристика - время преобразования.

Физическая картина возбуждения низкочастотных колебаний.

Основы теории низкочастотных колебаний.

Особенности высокочастотных колебаний и акустика камеры сгорания.

Физическая картина возбуждения высокочастотных колебаний.

Основа теории высокочастотных продольных колебаний.

Неустойчивость, вызываемая совместными колебаниями ракеты и двигателя.

Тема 11. Сопла ЖРД

Общие сведения об оценке совершенства, потерях и схемах сопел

Анализ и оценка потерь в соплах.

Основы профилирования сопел Лавалья.

Основы построения коротких профилированных сопел.

Расчет сопел на основе свободно расширяющегося течения.

Построение газодинамического профиля камеры жидкостных ракетных двигателей.

Кольцевые сопла или сопла с центральным телом.

Тема 12. Основы теории теплообмена в камере жидкостных ракетных двигателей

Особенности конвективного теплообмена в условиях камеры ЖРД.

Уравнения пограничного слоя.

Метод решения интегральных соотношений пограничного слоя.

Расчетные соотношения для конвективного теплового потока и трения в камере ЖРД.

Методы расчет конвективной теплообмена на основе теории подобия.
Лучистый теплообмен в камере ЖРД.

Тема 13. Теплозащита стенок камеры ЖРД и расчет охлаждения

Особенности и схемы теплозащиты стенок камеры ЖРД.

Физические основы различных схем теплозащиты.

Основные особенности и требования, предъявляемые к наружному охлаждению.

Теплоотдача ребренной поверхности стенки в охлаждающую жид-
кость.

Интенсификация наружного проточного охлаждения.

Особенности расчета тепловых потоков в стенку при завесном охла-
ждении.

Примерный порядок расчета охлаждения.

Тема 14. Пневмогидравлические системы жидкостных ракетных двигателей

Системы подачи топлива.

Системы наддува.

Бустерные насосы.

Запуск жидкостных ракетных двигателей.

Останов жидкостных ракетных двигателей.

Регулирование ЖРД.

Системы космических ЖРД.

Тема 15. Насосная подача топлива

Общая теория лопаточных машин.

Насосы турбонасосных агрегатов.

Насосы автономных агрегатов.

Турбины.

Совместная работа насосов с турбинами.

Тема 16. Расчет элементов жидкостных ракетных двигательных установок

Топливные баки.

Расчет систем вытеснения (наддува).

Влияние теплообмена на работу системы подачи топлива.

Расчет газогенераторов.

Особенности расчета систем подачи космических ЖРД.

Пневмогидравлический расчет ЖРД.

Тема 17. Особенности расчета жидкостных ракетных двигателей с дожиганием продуктов газогенерации

Расчетные схемы.

Вывод уравнений, определяющих распределение расхода топлива в газогенераторы и камеру сгорания.

Определение необходимого давления на выходе из насосов.

Располагаемая мощность.

Потребляемая мощность.

Уравнение энергетического баланса и совмещенная характеристика системы.

Регулирование тяги в жидкостных ракетных двигателях с дожиганием.

Тема 18. Расчет и выбор оптимальных параметров жидкостных ракетных двигателей

Общие сведения.

Расчет и выбор оптимального давления в камере сгорания для вытеснительной системы подачи топлива.

Расчет оптимального давления в камере сгорания при насосной системе подачи топлива.

Выбор типа системы подачи топлива.

Расчет и выбор оптимального давления на срезе сопла.

Оценка эффективности топлива.

Тема 19. Смешение компонентов топлива

Теоретическое и экспериментальное распределение концентрации топлива в поперечном сечении камеры сгорания.

Условия организации процесса смешивания: в поперечном сечении камеры сгорания состав топлива оптимальный и равномерный, развитие максимальной скорости смешения топлива и его паров.

Шахматное и сотовое расположения форсунок горючего и окислителя.

Схемы образования пучков капель при шахматном и сотовом расположении форсунок.

Распределение форсунок на головке камеры сгорания при наличии пристеночного слоя и концентрическом расположении форсунок на периферии.

Расчетная схема распределения жидких компонентов вблизи головки.

Схема взаимодействия факелов центробежных форсунок.

Соотношение компонентов топлива в пристеночном слое.

Тема 20. Влияние точности изготовления форсунок на расход компонентов топлива

Требования по точности совпадения расходных характеристик отдельных форсунок.

Обеспечение создания камер сгорания с высокой полнотой сгорания топлива в минимальных ее объемах.

Обеспечение надежности внутреннего охлаждения с минимальными потерями в удельном импульсе.

Определение по заданной точности выполнения отдельных размеров форсунки отклонение величины расхода от номинального.

Определение по заданному допустимому отклонению величины расхода допусков для выполнения двух размеров и назначение допуска на третий размер.

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 «Расчет конструкция и проектирование ракетных систем» приведена в Приложении 1.

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

Основная литература:

1. 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).

2. Тестоедов, Н. А. Проектирование и конструирование баллистических ракет и ракет-носителей : учебное пособие / Н. А. Тестоедов, В. В. Кольга, Л. А. Семенова. — Красноярск : СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2014. — 308 с. — ISBN 978-5-86433-608-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/147502> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. 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: 22.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Дополнительная литература:

а. Исаков, А. Л. Инженерные задачи проектирования ракет : учебное пособие / А. Л. Исаков. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2017. — 113 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-

- библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/121825> — Режим доступа: для авториз. пользователей.
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
 3. Проектирование транспортных средств специального назначения: учеб. пособие / Е.В. Воробьев, О.Е. Денисов, В.И. Кузнецов; под ред. А.Н. Со-вы. - М.: МАДИ, 2014. - 96 с.
 4. 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>.

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/](http://sk.ru/foundation/space/) - Кластер «Космические технологии и телекоммуникации»
4. [http:// www.gctc.ru/](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/](http://www.gost.ru/wps/portal/) - Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)
6. [http:// standard.gost.ru/wps/portal/](http://standard.gost.ru/wps/portal/) - Портал Росстандарта по стандартизации
7. [http:// tk.gost.ru/wps/portal/](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/](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: *MSOffice, AIFusion Process Modeler, RAMUS.*

Информационные справочные системы:

1. Ресурсы информационно-образовательной среды «МГОТУ».
2. Рабочая программа и методическое обеспечение по дисциплине «Расчет конструкция и проектирование ракетных систем».

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 Windows XP; офисные программы MSOffice, AIFusion Process Modeler, 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

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)
«РАСЧЕТ, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
РАКЕТНЫХ СИСТЕМ»**

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**

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

Таблица 1

№ 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	ПК-1 Способен проводить теоретические и экспериментальные исследования в области создания новых образцов космической техники в соответствии с тактико-техническими характеристиками и техническим заданием	Тема 1-20	<p>Анализировать перспективы развития как ракетно-космической техники в целом, так и ее отдельных видов для проработки технических заданий.</p> <p>ПК-1.2 Обрабатывать информацию о разработке и сертификации космических аппаратов, космических систем и их составных частей из различных источников, в том числе на английском языке</p>	<p>Разработка рекомендаций и заключений по использованию результатов теоретических и экспериментальных исследований космических аппаратов, космических систем и их составных частей.</p>	<p>Знать основы метрологии, стандартизации и сертификации.</p> <p>Знать Единую систему конструкторской документации; Особенности инженерно-технического подхода к решению профессиональных проблем.</p>
2	ПК-2	ПК-2. Способность проектировать космические аппараты, космические системы и их составные части.	Тема 1-20	Проведение анализа вариантов технических решений при разработке проектов космических аппаратов,	Выполнять расчеты с использованием специализированного ПО.	Знать основы инженерного синтеза сложных систем, аналитический аппарат и алгоритмы приложения в

				космических систем и их составных частей		технике. Знать основы систем автоматизированного проектирования
3	ПК-4	ПК-4. Способность сопровождения и анализа результатов процесса подготовки и проведения испытаний космических аппаратов, космических систем и их составных частей в наземных условиях.	Тема 1-20	Разрабатывать программы и методики проведения испытаний составных частей космических аппаратов Анализировать дефекты, их последствия и несоответствия конструкторской документации	Оформлять технические отчеты по результатам сопровождения процесса подготовки и проведения испытаний. Применять физические принципы, используемые при испытаниях для имитации условий реальной эксплуатации	Знать назначение и параметры оборудования для проведения испытаний Регламенты проведения испытаний проектируемых составных частей космических аппаратов и космических систем.

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; ПК-2; ПК-4	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	Например: Проводится в письменной форме. 1. Выбор оптимального метода решения задачи (1балл). 2. Умение применить выбранный метод (1балл). 3. Логический ход решения правильный, но имеются арифметические ошибки в расчетах (1балл). 4. Решение задачи и получение правильного

		компетенция не сформирована) - 2 и менее баллов	результата (2 балла). 5. Задача не решена вообще (0 баллов). Максимальная оценка - 5 баллов.
ПК-1; ПК-2; ПК-4	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"> • компетенция освоена на продвинутом уровне - 70% правильных ответов; • компетенция освоена на базовом уровне - от 51% правильных ответов; <p>В) не сформирована (компетенция не сформирована) - менее 50% правильных ответов</p>	<p>Проводится письменно. Время, отведенное на процедуру - 30 минут. Неявка — 0 баллов.</p> <p>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. Классификация и основные устройства химических РД.
2. Разделение химических РД в зависимости от агрегатного состояния топлива до его использования в двигателе.
3. Жидкостные ракетные двигатели (ЖРД).
4. Ракетные двигатели твердого топлива (РДТТ).
5. Гибридные (комбинированные) ракетные двигатели (ГРД).
6. Схема камеры ЖРД, работающей на двухкомпонентном топливе.
7. КС и сопло - конструктивно одно целое.

8. Понятие о ракетной двигательной установке (ДУ), состоящей из двигателя и топливных баков.
9. Состав ДУ с ЖРД: один или несколько ЖРД, топливные баки, агрегаты наддува топливных баков, магистрали, соединяющих ЖРД с баками, системы заправки и слива компонентов.
10. Двигательная установка ЖРД с вытеснительной системой подачи.
11. Двигательная установка ЖРД с насосной системой подачи.
12. ЖРД с дожиганием продуктов газогенерации.
13. Отличие РДДТ от ЖРД.
14. Тяга ЖРД с вытеснительной системой подачи топлива и двигателя с ТНА, рабочее тело которого дожигается в камере сгорания.
15. Условия работы сопла, при которых камера разовьет наибольшую тягу.
16. Основные составляющие тяги камеры и место их приложения.
17. Тяга и удельный импульс ЖРД без дожигания продуктов газогенерации турбины
18. Возможности для увеличения удельного импульса за счет повышения степени расширения газов.
19. Расчет тяги и удельного импульса камеры ЖРД с использованием газодинамических функций.
20. Основные газодинамические функции и их комбинации.
21. Схема рабочего процесса в сопле со скачком уплотнения.
22. Влияние конструктивных факторов на гидравлику центробежных форсунок
23. Схема течения жидкости во входных каналах.
24. Классификация неустойчивых режимов.
25. Сопла ЖРД.
26. Системы подачи топлива.
27. Системы наддува.
28. Бустерные насосы.
29. Запуск жидкостных ракетных двигателей.
30. Останов жидкостных ракетных двигателей.
31. Регулирование ЖРД.
32. Системы космических ЖРД.
33. Насосная подача топлива
34. Турбины.
35. Совместная работа насосов с турбинами.
36. Топливные баки.
37. Влияние теплообмена на работу системы подачи топлива.
38. Расчет газогенераторов.
39. Особенности расчета систем подачи космических ЖРД.
40. Особенности расчета жидкостных ракетных двигателей с дожиганием продуктов газогенерации.
41. Располагаемая мощность.
42. Потребляемая мощность.

43. Уравнение энергетического баланса и совмещенная характеристика системы.
44. Регулирование тяги в жидкостных ракетных двигателях с дожиганием.
45. Расчет и выбор оптимальных параметров жидкостных ракетных двигателей
46. Расчет и выбор оптимального давления в камере сгорания для вытеснительной системы подачи топлива.
47. Расчет оптимального давления в камере сгорания при насосной системе подачи топлива.
48. Выбор типа системы подачи топлива.
49. Оценка эффективности топлива.
50. Смешение компонентов топлива.

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.
4. Параметры, характеризующие работу форсунок.
5. Однокомпонентные форсунки.
6. Струйные форсунки. Центробежные форсунки.
7. Расчёт струйных форсунок.
8. Основы теории центробежных форсунок. Геометрическая характеристика форсунки.
9. Влияние вязкости на работу центробежной форсунки. Влияние конструктивных факторов на работу центробежной форсунки.
10. Порядок расчёта центробежной форсунки.
11. Расчёт однокомпонентных струйных форсунок генераторного газа. Двухкомпонентные форсунки. Двухкомпонентные форсунки для двигателей с дожиганием генераторного газа.
12. Формы смесительных головок.
13. Схемы расположения форсунок на головке. Геометрический метод оценки энергетических характеристик.
14. Камера сгорания. Формы камер сгорания.
15. Определение объёма камеры сгорания по времени пребывания, определение объёма камеры сгорания по литровой тяге.
16. Определение площади поперечного сечения камеры.
17. Проектирование сопел. Требования к соплам.
18. Формы сопел. Профилирование сопел. Оптимальные сопла.
19. Особенности охлаждения камер ЖРД.
20. Способы охлаждения и теплозащиты камеры. Проточное наружное охлаждения. Внутреннее охлаждение. Транспирационное охлаждение.

- Теплозащитные покрытия. Абляционное охлаждение. Аккумуляция тепла. Радиационное охлаждение. Комбинированное охлаждение.
21. Схемы подвода охладителя.
 22. Формы трактов охлаждения. Распределение теплового потока по длине камеры. Особенности охлаждения камер ЖРД малой тяги. Особенности охлаждения камеры двигателя с глубоким регулированием тяги. Порядок расчёта охлаждения камеры ЖРД.
 23. Газогенераторы ЖРД. Области применения и классификация.
 24. Однокомпонентные и многокомпонентные газогенераторы. Однозонные и многозонные газогенераторы. Конструкция и расчёт газогенераторов. ЖРД малой тяги (ЖРД МТ).
 25. Назначение ЖРД МТ, топлива и рабочий процесс в ЖРД МТ.
 26. Состав жидкостной ракетной двигательной установки (ЖРДУ).
 27. Требования к ЖРДУ как к двигательной установке летательного аппарата.
 28. Однокамерные и многокамерные ЖРДУ.
 29. Классификация ЖРДУ по способу подачи топлива.
 30. Схемы ЖРДУ с вытеснительной системой подачи топлива (ВСПТ) и с насосной системой подачи топлива (НСПТ).
 31. Области применения ЖРДУ с ВСПТ и НСПТ.
 32. Топливные баки. Нагруженные и разгруженные баки.
 33. Конструкция топливных баков.
 34. Определение объёма баков.
 35. Определение потребного давления подачи компонентов топлива.
 36. Двигательные установки с вытеснительной системой подачи топлива (ВСПТ).
 37. Виды, запас рабочего тела для вытеснения топлива. Элементы топливных и газовых магистралей ЖРДУ.
 38. ЖРДУ с газобаллонной системой подачи.
 39. Состав, редукторная схема. ЖРДУ с твёрдотопливным газогенератором (ТТГГ).
 40. ЖРДУ с ВСПТ и жидкостным генератором газа (ЖГГ).
 41. ЖРДУ с насосной системой подачи топлива (НСПТ).
 42. Открытая и закрытая схемы ДУ с НСПТ. Сравнительный анализ этих схем, области их применения.
 43. ЖРДУ с турбонасосным агрегатом (ТНА) без дожигания генераторного газа.
 44. ЖРДУ с дожиганием генераторного газа. Выбор типа газогенератора для схемы газ + жидкость.
 45. Схема ЖРДУ с дожиганием на компонентах кислород + водород без газогенератора. Графическое решение уравнения баланса мощностей ТНА. Сравнение окислительного и восстановительного ЖГГ.
 46. Проблемы подачи топлива из баков, маневрирующих КЛА в КС ЖРД. Виды систем отбора топлива (СОТ).
 47. Инерционные, диафрагменные, поршневые СОТ.

48. Способы управления вектором тяги ЖРДУ. Схемы регулирования тяги и соотношения компонентов ЖРДУ.
49. Параметрическая оптимизация ЖРДУ.
50. Запуск и останов ЖРДУ. Импульс последействия

Примерная тематика практических заданий

1. Изучить конструкций форсунок.
2. Изучить конструкции смесительных головок камер ЖРД.
3. Выполнить классификацию изучаемых форсунок и смесительных головок.
4. Сделать эскизы форсунок схем «газ-жидкость» по атласу конструкций.
5. Сделать эскизы форсунок схем «жидкость – жидкость» по атласу конструкций.
6. Сделать эскизы смесительных головок схем «газ-жидкость» по атласу конструкций.
7. Сделать эскизы смесительных головок схем «жидкость – жидкость» по атласу конструкций.
8. Сделать эскизы узлов и смесительных элементов на основе однокомпонентных форсунок по атласу конструкций.
9. Сделать эскизы узлов и смесительных элементов на основе двухкомпонентных форсунок по атласу конструкций.
10. Изучить конструкции смесительных головок по образцам и макетам изделий.
11. Изучить конструкции ЖРДУ по образцам изделий
12. Сделать классификацию изучаемых ЖРДУ по типу источника вытесняющего газа.
13. Сделать классификацию изучаемых ЖРДУ по назначению.
14. Сделать классификацию изучаемых ЖРДУ по способу охлаждения камеры ЖРДУ.
15. Изучить последовательность работы (запуск, работа на режиме, останов) изучаемых ЖРДУ.
16. Подготовить и сделать доклад по последовательности срабатывания исполнительных элементов ПГС одной из изучаемых ЖРДУ.
17. Изучить конструкции ЖРДУ с ТНА открытой схемы по образцам изделий.
18. Изучить конструкции ЖРДУ с ТНА закрытой схемы по образцам изделий.
19. Сделать классификацию изучаемых ЖРДУ по типу газогенератора.
20. Сделать классификацию изучаемых ЖРДУ по назначению.

21. Сделайте классификацию изучаемых ЖРДУ по конструкции ТНА.
22. Изучите последовательность работы (запуск, работа на режиме, останов) изучаемых ЖРДУ.
23. Подготовьте и сделайте доклад по последовательности срабатывания исполнительных элементов ПГС одной из изучаемых ЖРДУ.
24. На примере реальных ЖРДУ с ТНА открытой схемы изучите их конструктивные особенности.
25. На примере реальных ЖРДУ с ТНА закрытой схем изучите их конструктивные особенности.

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

Формой контроля знаний по дисциплине «Расчет, конструкция и проектирование ракетных 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
Проводится в сроки, установленные графиком учебного процесса	тестирование	ПК-1; ПК-2; ПК-4	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 предоставляются 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
Проводится в сроки, установленные	реферат	ПК-1; ПК-2; ПК-4	Реферат, представляющий собой результат реферирования	Работа над рефератом включает в себя следующие этапы:•	Реферат сдается на проверку преподавателю за од-	Общая оценка реферата: реферат сдан на проверку преподавателю за одну

<p>ленные графическом учебном процессе</p>			<p>нескольких книг по определенной теме, т.е. краткий обзор основного содержания этих книг.</p>	<p>формулирование темы, причем она должна быть не только актуальной по своему значению, но и оригинальной, интересной по содержанию;</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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>ну неделю до зачетного занятия</p>	<p>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>Проводится в сроки, установленные графическом учебном процессе</p>	<p>Презентация группового доклада</p>	<p>ПК-1; ПК-2; ПК-4</p>	<p>Презентация группового доклада, представляет собой результат реферирования нескольких книг по определенной теме, т.е. краткий обзор основного содержания этих книг.</p>	<p>Работа над презентацией включает в себя 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 содержа- 	<p>16-17</p>	<p>Баллы, выставаемые докладчику и содокладчикам:</p> <ul style="list-style-type: none"> • сообщил новую информацию (1 балл) • использовал технические средства (1 балл) • знает и хорошо ориентируется в содержании всего доклада (1 балл) • умеет дискутировать и

				нию; • 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		быстро отвечает на вопросы (1 балл) • четко выполняет установленный регламент: докладчик - 10 мин.; содокладчики - 5 мин.; дискуссия - 10 мин. (1 балл)
Проводится в сроки, установленные графиком учебного процесса	Зачет	ПК-1; ПК-2; ПК-4	3 вопроса	Зачет проводится в устной форме, путем ответа на вопросы. Время, отведенное на процедуру – 30 минут.	Результаты предоставляются в день проведения зачета	Критерии оценки: «Зачтено»: <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. «Не зачтено»: <ul style="list-style-type: none"> • демонстрирует частичные знания по темам дисциплин; • незнание основных поня-

						<ul style="list-style-type: none"> • тий предмета; • неумение использовать и применять полученные знания на практике; • не работал на практических занятиях; <p>не отвечает на вопросы.</p>
Проводится в сроки, установленные графиком учебного процесса	Экзамен	ПК-1; ПК-2; ПК-4	3 вопроса	Экзамен проводится в устной форме, путем ответа на вопросы. Время, отведенное на процедуру – 30 минут.	Результаты предоставляются в день проведения экзамена	<ul style="list-style-type: none"> • 3 (удовлетворительно) • знание основных понятий предмета; • 4 (хорошо) • знание основных понятий предмета; • умение использовать и применять полученные знания на практике; • работа на практических занятиях; • 5 (отлично) • 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; • незнание основных понятий предмета; • неумение использовать и применять по-

						лученные знания на практике; не отвечает на вопросы.
--	--	--	--	--	--	---

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).

Вопросы РКП РД

Вопрос 1. Двигатели, обеспечивающие торможение КА, носят название...

- (?) 1. Корректирующие;
- (?) 2. Ориентации;
- (?) 3. Стабилизации;
- (!) 4. Тормозные.

Вопрос 2. Давление на срезе сверхзвукового сопла...

- (!) 1. Зависит только от давления в камере сгорания и формы сопла;
- (?) 2. Зависит только формы сопла;
- (?) 3. Зависит только от давления в камере сгорания;
- (?) 4. Не зависит ни от чего.

Вопрос 3. Всевозможные потери в камере, которые ведут к уменьшению удельного импульса, принято оценивать с помощью...

- (!) 1. коэффициента удельного импульса;
- (?) 2. зависимости тяги от времени полета;
- (?) 3. отношения тяги к расходу топлива;
- (?) 4. отношения массы двигателя к его тяге.

Вопрос 4. Характеристики ЖРД бывают...

- (!) 1. дроссельная;
- (!) 2. высотная;

- (?) 3. искусственная;
- (?) 4. естественная.

Вопрос 5. Высотной характеристикой называют...

- (?) 1. зависимости тяги от времени полета;
- (?) 2. отношения тяги к расходу топлива;
- (?) 3. отношения массы двигателя к его тяге;
- (!) 4. зависимость тяги и удельного импульса от давления окружающей среды.

Вопрос 6. Ракетные двигатели твердого топлива в отличие от ЖРД имеют...

- (?) 1. насосную систему подачи топлива;
- (?) 2. воздушную систему подачи топлива;
- (?) 3. гибридную систему подачи топлива;
- (!) 4. не имеют системы подачи.

Вопрос 7. Тяга, развиваемая, двигателем, во время его работы...

- (!) 1. остается всегда постоянной;
- (?) 2. всегда равна удельной производительности;
- (?) 3. имеет неопределенную величину;
- (?) 4. может меняться.

Вопрос 8. Тяговая характеристика- это...

- (?) 1. зависимость тяги от времени полета;
- (!) 2. отношение тяги к расходу топлива;
- (?) 3. отношения массы двигателя к его тяге;
- (?) 4. конечная скорость ракеты.

Вопрос 9. ЖРД используется в основном для типов летательных аппаратов...

- (!) 1. ракет;
- (!) 2. космических аппаратов;
- (?) 3. самолетов;
- (?) 4. планеров.

Вопрос 10. Жидкостные двигатели ракет по назначению подразделяют на...

- (!) 1. основные;
- (?) 2. вспомогательные двигатели;
- (?) 3. необязательные;
- (?) 4. свободные

Вопрос 11. 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...

- (?) 1. 1920-х годах;
- (!) 2. 1950-х годах;
- (?) 3. 1980-х годах;
- (?) 4. 1990-х годах.

Вопрос 12. Тип двигателя, практически освоенный для вывода полезной нагрузки на орбиту искусственного спутника Земли:

- (?) 1. солнечный парус;
- (?) 2. космический лифт;
- (?) 3. двигатель внутреннего сгорания;
- (!) 4. ракетный двигатель.

Вопрос 13. В ЖРД широко используются тип форсунок...

- (!) 1. центробежные;
- (!) 2. струйные;
- (?) 3. спицевые;
- (?) 4. зонтичные.

Вопрос 14. Коэффициент расхода форсунки, равный отношению действительного к теоретическому расходу жидкости, всегда...

- (?) 1. равен единице;
- (!) 2. меньше единицы;
- (?) 3. больше единицы;
- (?) 4. больше двух.

Вопрос 15. Коэффициент расхода для струйной форсунки определяют...

- (?) 1. эмпирически;
- (?) 2. теоретически;
- (!) 3. экспериментально;
- (?) 4. никак не определяют.

Вопрос 16. Двухкомпонентные форсунки бывают с...

- (!) 1. внешним смешением;
- (?) 2. внутренним смешением;
- (?) 3. круговым смешением;
- (?) 4. треугольным смешением.

Вопрос 17. Двухкомпонентные форсунки с внешним смешением имеют следующие количество камер закручивания:

- (!) 1. две;
- (?) 2. одну;
- (?) 3. три;
- (?) 4. Пять.

Вопрос 18. Форма факела распыливания обуславливается:

- (?) 1. формой головки;
- (?) 2. типом форсунок;
- (?) 3. ускорением свободного падения
- (!) 4. гидравлическими параметрами форсунок.

Вопрос 19. Что такое дроссельная характеристика ЖРД:

- (?) 1. характеристика дросселя;
- (!) 2. зависимость тяги от расхода топлива;
- (?) 3. зависимость расхода топлива от тяги;
- (?) 4. зависимость окислителя от горючего.

Вопрос 20. В каком месте камеры сгорания реализуется максимальный тепловой поток в ее стенку:

- (?) 1. у головки;
- (?) 2. в середине;
- (!) 3. в районе критического сечения;
- (?) 4. в сопле.

Вопрос 21. В каком месте камеры сгорания реализуется максимальная температура ее стенки:

- (!) 1. в районе критического сечения;
- (?) 2. у головки;
- (?) 3. в середине;
- (?) 4. в любом месте.

Вопрос 22. Как организовывается завесное охлаждение:

- (?) 1. с помощью занавески;
- (!) 2. периферийными форсунками;
- (?) 3. с помощью специальных устройств;
- (?) 4. специальной щелью.

Вопрос 23. Что такое расходонапряженность камеры сгорания:

- (?) 1. расход с напряжением;
- (?) 2. гидравлический напор;
- (!) 3. отношение расхода топлива к площади камеры сгорания;
- (?) 4. напряжения при осуществлении расходов.

Вопрос 24. Что такое коэффициент соотношения компонентов:

- (!) 1. отношение расхода окислителя к расходу горючего;
- (?) 2. сумма расходов окислителя и горючего;
- (?) 3. разность расходов окислителя и горючего;
- (?) 4. произведение расходов горючего и окислителя.

Вопрос 25. В какой форсунке коэффициент расхода больше, в струйной или центробежной:

- (?) 1. в центробежной;
- (?) 2. в обеих;
- (!) 3. в струйной;
- (?) 4. в никакой.

Вопрос 26. Что такое коэффициент сопла:

- (?) 1. коэффициент в сопле;
- (!) 2. отношение тяги к произведению давления в камере на площадь критического сечения;
- (?) 3. коэффициент, определяющий длину сопла;
- (?) 4. безразмерный коэффициент.

Вопрос 27. В каком РД удельный импульс больше, в ЖРД или РДДТ:

- (?) 1. в РДДТ;
- (?) 2. в обоих;
- (!) 3. в ЖРД;
- (?) 4. в никаком.

Вопрос 28. Какое сопло более совершенно, коническое или профилированное:

- (?) 1. никакое;
- (?) 2. коническое;
- (!) 3. профилированное;
- (?) 4. оба.

Вопрос 29. Чем определяется совершенство ТНА:

- (?) 1. ничем;
- (!) 2. величиной КПД;
- (?) 3. габаритами;
- (?) 4. массой.

Вопрос 30. Что такое потери на рассеивание в сопле:

- (?) 1. потери по расейности;
- (!) 2. потери, связанные с непаралельностью вектора скорости газа в выходном сечении сопла оси сопла;
- (?) 3. рассеивание продуктов сгорания;
- (?) 4. неравномерность в сопле.

Типовые вопросы, выносимые на зачет

1. Классификация и основные устройства химических РД

2. Разделение химических РД в зависимости от агрегатного состояния топлива до его использования в двигателе.
3. Жидкостные ракетные двигатели (ЖРД).
4. Ракетные двигатели твердого топлива (РДТТ).
5. Гибридные (комбинированные) ракетные двигатели (ГРД).
6. Основной агрегат ЖРД - камера сгорания (КС)
7. Схема камеры ЖРД, работающей на двухкомпонентном топливе.
8. КС и сопло - конструктивно одно целое.
9. Устройство КС: смесительная головка, форсунки, внутренняя огневая стенка, наружная силовая рубашка, гофры, ребра, выштамповки.
10. Воспламенение (зажигание) топлива.
11. Состав КС (или нескольких камер): система регулирования и подачи компонентов топлива, исполнительные устройства для создания управляющих моментов, соединительные магистрали и т. п.
12. Органы автоматики: различные клапаны, редукторы, запальные устройства и другие элементы.
13. Вытеснительная, насосная и турбонасосная системы подачи компоненты в камеру сгорания.
14. Простейшие схемы ЖРД
15. Понятие о ракетной двигательной установке (ДУ), состоящей из двигателя и топливных баков.
16. Состав ДУ с ЖРД: один или несколько ЖРД, топливные баки, агрегаты наддува топливных баков, магистрали, соединяющих ЖРД с баками, системы заправки и слива компонентов.
17. Двигательная установка ЖРД с вытеснительной системой подачи.
18. Двигательная установка ЖРД с насосной системой подачи.
19. ЖРД с дожиганием продуктов газогенерации.
20. Отличие РДТТ от ЖРД.
21. Тяга ЖРД с вытеснительной системой подачи топлива и двигателя с ТНА, рабочее тело которого дожигается в камере сгорания
22. Основное назначение ЖРД—создание тяги в течение определенного промежутка времени.
23. Определение тяги, создаваемой камерой ЖРД, которая является одновременно и тягой ЖРД, в случае, когда истечение продуктов сгорания топлива в окружающую среду происходит только через камеру.
24. Принятие движение газов установившимся и одномерным при выводе уравнения тяги.
25. Определение тяги, как равнодействующей сил давления.

Типовые вопросы, выносимые на экзамен

1. Системы подачи топлива.
2. Системы наддува.
3. Бустерные насосы.

4. Запуск жидкостных ракетных двигателей.
5. Останов жидкостных ракетных двигателей.
6. Регулирование ЖРД.
7. Системы космических ЖРД.
8. Насосная подача топлива
9. Турбины.
10. Совместная работа насосов с турбинами.
11. Топливные баки.
12. Влияние теплообмена на работу системы подачи топлива.
13. Расчет газогенераторов.
14. Особенности расчета систем подачи космических ЖРД.
15. Особенности расчета жидкостных ракетных двигателей с дожиганием продуктов газогенерации.
16. Располагаемая мощность.
17. Потребляемая мощность.
18. Уравнение энергетического баланса и совмещенная характеристика системы.
19. Регулирование тяги в жидкостных ракетных двигателях с дожиганием.
20. Расчет и выбор оптимальных параметров жидкостных ракетных двигателей.
21. Расчет и выбор оптимального давления в камере сгорания для вытеснительной системы подачи топлива.
22. Расчет оптимального давления в камере сгорания при насосной системе подачи топлива.
23. Выбор типа системы подачи топлива.
24. Оценка эффективности топлива.
25. Смешение компонентов топлива.

Приложение 2

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

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

КАФЕДРА ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО
ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
«РАСЧЕТ, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
РАКЕТНЫХ СИСТЕМ»**

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**

1. Общие положения

Целью изучения дисциплины является овладение:

1. основами проектирования ракетных двигателей твердого топлива и ракетных двигателей жидкого топлива различного назначения.
2. навыками выполнения этапов разработки: формирование задания, расчет параметров, выбор конструктивной схемы, материалов, разработка конструкции, расчет на прочность и т.д.
3. анализом стадий разработки жидких ракетных двигателей и автоматизированное проектирование его элементов.
4. конструктивно-компоновочными схемами и конструкциями узлов двигателей.
5. методологией расчетно-конструкторской разработки двигателей различных схем для выбора базовой компоновки на этапе технического предложения.

Основными задачами дисциплины являются:

1. ознакомление обучающихся с ключевыми понятиями и вопросами устройства ракетных двигателей;
2. овладение основами проектирования ракетных двигателей твердого топлива и ракетных двигателей жидкого топлива различного назначения;
3. получение навыков выполнения этапов разработки: формирование задания, расчет параметров, выбор конструктивной схемы, материалов, разработка конструкции, расчет на прочность и т.д.;
4. изучение основ комплексного проектирования и экспериментальной отработки комбинированных ракетных (ракетно-прямоточных) двигателей на твердом топливе;
5. изучение стадий разработки жидких ракетных двигателей и автоматизированное проектирование его элементов, конструктивно-компоновочных схем и конструкций узлов комбинированных двигателей;
6. ознакомление с методологией расчетно-конструкторской разработки двигателей различных схем для выбора базовой компоновки на этапе технического предложения.

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: **классификация и основные устройства химических РД.**

Содержание практического занятия: жидкостные ракетные двигатели (ЖРД), ракетные двигатели твердого топлива (РДТТ), гибридные (комбинированные) ракетные двигатели (ГРД).

Цель работы: ознакомление обучающихся с разделением химических РД в зависимости от агрегатного состояния топлива до его использования в двигателе.

Продолжительность занятия – 2/1 ч.

Практическое занятие 2

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: основной агрегат ЖРД- камера сгорания (КС).

Содержание практического занятия: схема камеры ЖРД, работающей на двухкомпонентном топливе, органы автоматики.

Цель работы: изучить систему регулирования и подачи компонентов топлива, исполнительные устройства для создания управляющих моментов, соединительные магистрали и т. п.

Продолжительность занятия – 2/2 ч.

Практическое занятие 3

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: простейшие схемы ЖРД.

Содержание практического занятия: состав ДУ с ЖРД, отличие РДТТ от ЖРД.

Цель работы: овладеть знаниями о ракетной двигательной установке (ДУ), состоящей из двигателя и топливных баков.

Продолжительность занятия – 2/2 ч.

Практическое занятие 4

Вид практического занятия: смешанная форма практического занятия.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: тяга ЖРД с вытеснительной системой подачи топлива и двигателя с ТНА, рабочее тело которого дожигается в камере сгорания.

Содержание практического занятия: определение тяги, создаваемой камерой ЖРД.

Цель работы: овладеть знанием расчетной схемы для определения тяги камеры по теореме импульсов.

Продолжительность занятия – 4/1 ч.

Практическое занятие 5

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: тяга и удельный импульс ЖРД без дожигания продуктов газогенерации турбины.

Содержание практического занятия: изучение возможности для увеличения удельного импульса за счет повышения степени расширения газов.

Цель работы: овладеть знанием частичного улучшения удельного импульса

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 – 4/2 ч.

Практическое занятие 7

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: расчет тяги и удельного импульса при наличии скачка уплотнения в сопле камеры.

Содержание практического занятия: работа сопла на режиме недорасширения и перерасширения.

Цель работы: изучение схемы рабочего процесса в сопле со скачком уплотнения.

Продолжительность занятия – 4/1 ч.

Практическое занятие 8

Вид практического занятия: практическая работа в группе.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: теория и расчет однокомпонентных центробежных форсунок с учетом вязкости компонентов топлива.

Содержание практического занятия: изучение влияния.

Цель работы: рассмотреть разложение скорости течения жидкости в камере закручивания на составляющие.

Продолжительность занятия – 2/2 ч.

Практическое занятие 9

Вид практического занятия: практическая работа в группе.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: расчет двухкомпонентных центробежных форсунок с внешним и внутренним смешением компонентов топлива.

Содержание практического занятия: Суммарный массовый расход топлива через форсунку.

Цель работы: определение схема течения жидкости во входных каналах.

Продолжительность занятия – 4/1 ч.

Практическое занятие 10

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: неустойчивость рабочего процесса жидкостных ракетных двигателей.

Содержание практического занятия: классификация неустойчивых режимов.

Цель работы: изучить неустойчивость, вызываемая совместными колебаниями ракеты и двигателя.

Продолжительность занятия – 4/1 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 – 4/2 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 – 4/2 ч.

Практическое занятие 13

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: теплозащита стенок камеры ЖРД и расчет охлаждения.

Содержание практического занятия: рассмотреть особенности и схемы теплозащиты стенок камеры ЖРД.

Цель работы: получить знания о примерном порядке расчета охлаждения.

Продолжительность занятия – 2/1 ч.

Практическое занятие 14

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: пневмогидравлические системы жидкостных ракетных двигателей.

Содержание практического занятия: системы космических ЖРД.

Цель работы: изучить систему подачи топлива.

Продолжительность занятия – 4/1 ч.

Практическое занятие 15

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: насосная подача топлива.

Содержание практического занятия: общая теория лопаточных машин.
Цель работы: изучить совместную работу насосов с турбинами.
Продолжительность занятия – 2/1 ч.

Практическое занятие 16

Вид практического занятия: практическая работа в группах.
Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: расчет элементов жидкостных ракетных двигательных установок.

Содержание практического занятия: расчет систем вытеснения, газогенераторов.

Цель работы: осуществить пневмогидравлический расчет ЖРД.

Продолжительность занятия – 4/1 ч.

Практическое занятие 17

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.

Продолжительность занятия – 4/2 ч.

Практическое занятие 18

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 – 2/1 ч.

Практическое занятие 19

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 – 2/1 ч.

Практическое занятие 20

Вид практического занятия: практическая работа в группах.

Образовательные технологии: самостоятельное решение и групповое обсуждение результатов.

Тема: влияние точности изготовления форсунок на расход компонентов топлива.

Содержание практического занятия: требования по точности совпадения расходных характеристик отдельных форсунок.

Цель работы: обеспечение надежности внутреннего охлаждения с минимальными потерями в удельном импульсе.

Продолжительность занятия – 4/2 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
----------	--	----------

<p>1.</p>	<p>Конструкции РКК. Структура и вид испытательных комплексов</p>	<p><i>Подготовка докладов по темам:</i></p> <p>4. Структура испытательного комплекса и назначение входящих у него систем и сооружений.</p> <p>5. Виды и структура испытательного стенда, назначение и технологические возможности систем стенда.</p> <p>6. Структура технологического цикла подготовки испытаний и назначение входящих в неё работ.</p> <p>7. Назначение и содержание программы испытаний. Способы планирования экспериментов и особенности оформления технического задания на проведение испытаний.</p> <p>9. С использованием функциональной схемы проведения испытаний объяснить основной принцип получения необходимой информации о работоспособности двигателя и его характеристиках.</p> <p>10. Структура и особенности функционирования системы измерений. Виды измеряемых параметров при стендовых испытаниях.</p>
<p>2.</p>	<p>Виды и классификация методов отработки узлов и агрегатов. Технология испытаний</p>	<p>1. <i>Подготовка докладов по темам:</i></p> <p>20. Классификация методов автономной отработки агрегатов и узлов двигателя. Особенности реализации этапов и видов испытаний при автономной отработки двигателя в полной компоновке.</p> <p>21. Методы определения статистической</p>

		<p>прочности камеры и динамической прочности насосов двигателя.</p> <p>22. Метод определения гидравлических характеристик и герметичности клапанов двигателя.</p> <p>23. Метод определения герметичности агрегатов двигателя.</p> <p>24. Метод определения энергетических и кавитационных характеристик топливных насосов двигателя.</p> <p>25. Технология испытаний двигателя в полной компоновке с воспроизведением на стенде натуральных режимов функционирования.</p> <p>26. Внутренние и внешние факторы, влияющие на функционирование двигателя. Принципы моделирования эксплуатационных условий при испытаниях. Основные виды эксплуатационных условий, имитируемые при стендовых испытаниях двигателя.</p> <p>27. Технология испытаний двигателя с имитацией гидродинамики натуральных расходных магистралей.</p> <p>28. Технология испытаний двигателя с имитацией высотных условий окружающей среды.</p> <p>29. Технология испытаний с имитацией влияния пульсационно-частотных воздействий на работу двигателя.</p> <p>30. Технология испытаний двигателя с имитацией посторонних частиц ,газосодержания</p>
--	--	---

		или паросодержания в компонентах топлива.
3	Метрология экспериментальной отработки. Методы оценки надёжности.	<p><i>Подготовка докладов по темам:</i></p> <p>31. Методы обработки результатов испытаний и их анализа. Содержание отчёта по результатам испытаний.</p> <p>32. Способ приведения результатов испытаний двигателя к номинальным условиям.</p> <p>33. Способ оценки точности и достоверности результатов испытаний.</p> <p>34. Определение надёжности работы двигателя на различных этапах его создания.</p> <p>35. Метод определения вероятности безотказной работы двигателя при экспериментальной отработке.</p> <p>36. Нештатные ситуации, неисправности и отказы, аварийные ситуации. Коэффициент охвата аварийных ситуаций.</p> <p>37. Методы и средства контроля технического состояния двигателя как способ повышения надёжности и безопасности двигателя.</p> <p>39. Технические и технологические способы повышающие надёжность двигателя.</p> <p>39. Основные принципы создания двигателей многократного применения и обеспечение их надёжности. Особенности систем стендовой отработки таких двигателей.</p>
4	Ремотопригодность и функциональная без-	<p><i>Подготовка докладов по темам:</i></p> <p>40. Определение ресурса и подтверждение долговечности двигателей многократного при-</p>

	<p>опасность экспериментальной отработки изделий</p>	<p>менения.</p> <p>41. Обеспечение ремонтпригодности и межпускового обслуживания двигателей при стендовых испытаниях.</p> <p>42. Основные принципы сохранения двигателей при возникновении нештатных и аварийных ситуаций.</p> <p>43. Опасные и вредные производственные факторы при стендовых испытаниях двигателей. Определение наибольшей опасности, которая может привести к аварии.</p> <p>44. Функциональная модель безопасного проведения стендовых испытаний двигателей и методы уменьшения риска возникновения аварии.</p> <p>45. Основные организационно-технические мероприятия для повышения безопасности стендовых испытаний двигателей, реализуемые на практике.</p>
--	---	--

Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение:

Тематическое содержание самостоятельной работы представлено в таблице 2.

Таблица 2

Тематическое содержание самостоятельной работы

№ п/п	Виды самостоятельной работы	Количество часов	Перечень заданий
1.	Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	39/50	Изучение открытых источников
2.	Подготовка к практическим занятиям	39/50	Изучение открытых источников
3.	Подготовка докладов	39/50	<p>Изучение открытых источников при подготовке доклада на выбранную тему.</p> <p>Примерные темы докладов</p> <p>1. Классификация и основные</p>

			<p>устройства химических РД.</p> <p>2. Разделение химических РД в зависимости от агрегатного состояния топлива до его использования в двигателе.</p> <p>3. Жидкостные ракетные двигатели (ЖРД).</p> <p>4. Ракетные двигатели твердого топлива (РДТТ).</p> <p>5. Гибридные (комбинированные) ракетные двигатели (ГРД).</p>
4.	Выполнение контрольных заданий	39/58	<p>1. Камера ЖРД. Параметры, характеризующие камеру.</p> <p>2. Процессы, протекающие в камере ЖРД.</p> <p>3. Форсунки как устройства для распыливания и смешения компонентов топлива.</p> <p>4. Параметры, характеризующие работу форсунок.</p> <p>5. Однокомпонентные форсунки.</p>

Примерная тематика докладов в презентационной форме

1. Классификация и основные устройства химических РД.
2. Разделение химических РД в зависимости от агрегатного состояния топлива до его использования в двигателе.
3. Жидкостные ракетные двигатели (ЖРД).
4. Ракетные двигатели твердого топлива (РДТТ).
5. Гибридные (комбинированные) ракетные двигатели (ГРД).
6. Схема камеры ЖРД, работающей на двухкомпонентном топливе.
7. КС и сопло - конструктивно одно целое.
8. Понятие о ракетной двигательной установке (ДУ), состоящей из двигателя и топливных баков.
9. Состав ДУ с ЖРД: один или несколько ЖРД, топливные баки, агрегаты наддува топливных баков, магистрали, соединяющих ЖРД с баками, системы заправки и слива компонентов.
10. Двигательная установка ЖРД с вытеснительной системой подачи.
11. Двигательная установка ЖРД с насосной системой подачи.
12. ЖРД с дожиганием продуктов газогенерации.
13. Отличие РДТТ от ЖРД.
14. Тяга ЖРД с вытеснительной системой подачи топлива и двигателя с ТНА, рабочее тело которого дожигается в камере сгорания.

15. Условия работы сопла, при которых камера разовьет наибольшую тягу.
16. Основные составляющие тяги камеры и место их приложения.
17. Тяга и удельный импульс ЖРД без дожигания продуктов газогенерации турбины.
18. Возможности для увеличения удельного импульса за счет повышения степени расширения газов.
19. Расчет тяги и удельного импульса камеры ЖРД с использованием газодинамических функций.
20. Основные газодинамические функции и их комбинации.
21. Схема рабочего процесса в сопле со скачком уплотнения.
22. Влияние конструктивных факторов на гидравлику центробежных форсунок.
23. Схема течения жидкости во входных каналах.
24. Классификация неустойчивых режимов.
25. Сопла ЖРД.
26. Системы подачи топлива.
27. Системы наддува.
28. Бустерные насосы.
29. Запуск жидкостных ракетных двигателей.
30. Останов жидкостных ракетных двигателей.
31. Регулирование ЖРД.
32. Системы космических ЖРД.
33. Насосная подача топлива.
34. Турбины.
35. Совместная работа насосов с турбинами.
36. Топливные баки.
37. Влияние теплообмена на работу системы подачи топлива.
38. Расчет газогенераторов.
39. Особенности расчета систем подачи космических ЖРД.
40. Особенности расчета жидкостных ракетных двигателей с дожиганием продуктов газогенерации.
41. Располагаемая мощность.
42. Потребляемая мощность.
43. Уравнение энергетического баланса и совмещенная характеристика системы.
44. Регулирование тяги в жидкостных ракетных двигателях с дожиганием.
45. Расчет и выбор оптимальных параметров жидкостных ракетных двигателей.
46. Расчет и выбор оптимального давления в камере сгорания для вытеснительной системы подачи топлива.
47. Расчет оптимального давления в камере сгорания при насосной системе подачи топлива.
48. Выбор типа системы подачи топлива.
49. Оценка эффективности топлива.
50. Смещение компонентов топлива.

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.
4. Параметры, характеризующие работу форсунок.
5. Однокомпонентные форсунки.
6. Струйные форсунки. Центробежные форсунки.
7. Расчёт струйных форсунок.
8. Основы теории центробежных форсунок. Геометрическая характеристика форсунки.
9. Влияние вязкости на работу центробежной форсунки. Влияние конструктивных факторов на работу центробежной форсунки.
10. Порядок расчёта центробежной форсунки.
11. Расчёт однокомпонентных струйных форсунок генераторного газа. Двухкомпонентные форсунки. Двухкомпонентные форсунки для двигателей с дожиганием генераторного газа.
12. Формы смесительных головок.
13. Схемы расположения форсунок на головке. Геометрический метод оценки энергетических характеристик.
14. Камера сгорания. Формы камер сгорания.
15. Определение объёма камеры сгорания по времени пребывания, определение объёма камеры сгорания по литровой тяге.
16. Определение площади поперечного сечения камеры.
17. Проектирование сопел. Требования к соплам.
18. Формы сопел. Профилирование сопел. Оптимальные сопла.
19. Особенности охлаждения камер ЖРД.
20. Способы охлаждения и теплозащиты камеры. Проточное наружное охлаждение. Внутреннее охлаждение. Транспирационное охлаждение. Теплозащитные покрытия. Абляционное охлаждение. Аккумуляция тепла. Радиационное охлаждение. Комбинированное охлаждение.
21. Схемы подвода охладителя.
22. Формы трактов охлаждения. Распределение теплового потока по длине камеры. Особенности охлаждения камер ЖРД малой тяги. Особенности охлаждения камеры двигателя с глубоким регулированием тяги. Порядок расчёта охлаждения камеры ЖРД.
23. Газогенераторы ЖРД. Области применения и классификация.
24. Однокомпонентные и многокомпонентные газогенераторы. Однозонные и многозонные газогенераторы. Конструкция и расчёт газогенераторов. ЖРД малой тяги (ЖРД МТ).
25. Назначение ЖРД МТ, топлива и рабочий процесс в ЖРД МТ.

26. Состав жидкостной ракетной двигательной установки (ЖРДУ).
27. Требования к ЖРДУ как к двигательной установке летательного аппарата.
28. Однокамерные и многокамерные ЖРДУ.
29. Классификация ЖРДУ по способу подачи топлива.
30. Схемы ЖРДУ с вытеснительной системой подачи топлива (ВСПТ) и с насосной системой подачи топлива (НСПТ).
31. Области применения ЖРДУ с ВСПТ и НСПТ.
32. Топливные баки. Нагруженные и разгруженные баки.
33. Конструкция топливных баков.
34. Определение объёма баков.
35. Определение потребного давления подачи компонентов топлива.
36. Двигательные установки с вытеснительной системой подачи топлива (ВСПТ).
37. Виды, запас рабочего тела для вытеснения топлива. Элементы топливных и газовых магистралей ЖРДУ.
38. ЖРДУ с газобаллонной системой подачи.
39. Состав, редукторная схема. ЖРДУ с твёрдотопливным газогенератором (ТТГГ).
40. ЖРДУ с ВСПТ и жидкостным генератором газа (ЖГГ).
41. ЖРДУ с насосной системой подачи топлива (НСПТ).
42. Открытая и закрытая схемы ДУ с НСПТ. Сравнительный анализ этих схем, области их применения.
43. ЖРДУ с турбонасосным агрегатом (ТНА) без дожигания генераторного газа.
44. ЖРДУ с дожиганием генераторного газа. Выбор типа газогенератора для схемы газ + жидкость.
45. Схема ЖРДУ с дожиганием на компонентах кислород + водород без газогенератора. Графическое решение уравнения баланса мощностей ТНА. Сравнение окислительного и восстановительного ЖГГ.
46. Проблемы подачи топлива из баков, маневрирующих КЛА в КС ЖРД. Виды систем отбора топлива (СОТ).
47. Инерционные, диафрагменные, поршневые СОТ.
48. Способы управления вектором тяги ЖРДУ. Схемы регулирования тяги и соотношения компонентов ЖРДУ.
49. Параметрическая оптимизация ЖРДУ.
50. Запуск и останов ЖРДУ. Импульс последействия.

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

Объём контрольной работы – 10...12 страниц формата А 4, напечатанного с одной стороны текста (1,5 интервал, шрифт Times New Roman).

6. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература:

1. 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).

2. Тестоедов, Н. А. Проектирование и конструирование баллистических ракет и ракет-носителей : учебное пособие / Н. А. Тестоедов, В. В. Кольга, Л. А. Семенова. — Красноярск : СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2014. — 308 с. — ISBN 978-5-86433-608-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/147502> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. 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: 22.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Дополнительная литература:

1. Исаков, А. Л. Инженерные задачи проектирования ракет : учебное пособие / А. Л. Исаков. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2017. — 113 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/121825> — Режим доступа: для авториз. пользователей.
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
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.
4. Теория горения и взрыва: практикум: Учебное пособие / В.А. Девислов, 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>.

Электронные ресурсы образовательной среды «МГОТУ»:

- <http://biblioclub.ru/index.php>-библиоклуб (университетская библиотека);
- <http://www.znaniium.com> - электронно-библиотечная система Znaniium.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".

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. InternationalElectrotechnicalCommission, 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](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 «Расчет, конструкция и проектирование ракетных систем».