

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Амурский государственный университет»



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной и научной работе

А.В. Лейфа

« 1 » сентября 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Ракетные двигатели

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

Специализация образовательной программы – «Эксплуатация стартовых и технических комплексов и систем жизнеобеспечения»

Квалификация выпускника инженер

Год набора: 2021

Форма обучения: очная

Курс 3 Семестр 6

Зачет 6 семестр

Общая трудоемкость дисциплины 72 (акад. час.), 23.е.

Составитель: В.В. Соловьев, доцент, канд. техн. наук, М.А. Аревкин, асс.

Факультет Инженерно-физический

Кафедра Стартовые и технические ракетные комплексы

2021 г.

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по специальности 24.05.01 – «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов», утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 12.08.2020 № 964

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры «Стартовые и технические ракетные комплексы»

« 1 » сентября 2021 г., протокол № 1

Зам. заведующего кафедрой _____ В.В. Соловьев

СОГЛАСОВАНО

Учебно-методическое управление

 Н.А. Чалкина
« 1 » сентября 2021 г.

СОГЛАСОВАНО

Выпускающая кафедра

 В.В. Соловьев
« 1 » сентября 2021 г.

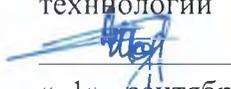
СОГЛАСОВАНО

Директор научной библиотеки

 О.В. Петрович
« 1 » сентября 2021 г.

СОГЛАСОВАНО

Центр информационных и образовательных технологий

 Тодосейчук А. А.
« 1 » сентября 2021 г.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины - дать студентам знания в области двигателей и энергосистем ракет в соответствии с современными требованиями. Эти знания позволят глубже понимать вопросы проектирования летательных аппаратов и анализа их динамических характеристик

Задачи дисциплины изучение физической сущности явлений, происходящих в материалах при воздействии на них различных факторов в условиях производства и эксплуатации и их влияния на структуру и свойства материалов; изучение зависимостей между составом, строением и свойствами материалов, теории и практики различных способов упрочнения материалов, обеспечивающих высокую надежность и долговечность деталей машин, инструментов и других изделий; изучение основных групп современных металлических и неметаллических конструкционных материалов, их свойств и области применения, определение основных характеристики материалов и их соответствия требованиям ГОСТов и ТУ; приобретение навыков расчета потребностей в материалах; анализ перспективного развития рынка новых конструкционных материалов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Ракетные двигатели» относится к дисциплинам вариативной части образовательной программы. Знания, получаемые в ходе изучения данной дисциплины, могут быть использованы при выполнении расчетов по дисциплинам «Детали машин», «Прикладная механика», «Технология конструкционных материалов», а также могут быть полезны при выполнении научно-исследовательских работ студентов.

Для освоения дисциплины необходимо знать: физику, химию, материаловедение; технологию конструкционных материалов.

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения

Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
ПК-1 Способен организовывать и контролировать выполнение работ на всех этапах эксплуатации комплексов и систем заправки РН, РБ и КА компонентами ракетного топлива	ИД – 1 ПК-1 Знать: - выполнение работ на всех этапах эксплуатации комплексов и систем заправки РН, РБ и КА компонентами ракетного топлива ИД – 2 ПК-1 Уметь: - организовывать и контролировать выполнение работ на всех этапах эксплуатации комплексов и систем заправки РН, РБ и КА компонентами ракетного топлива ИД – 3 ПК-1. Владеть: организацией и контролем выполнения работ на всех этапах эксплуатации комплексов и систем заправки РН, РБ и КА компонентами ракетного топлива

4. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 академических часа.

№	Тема (раздел дисциплины)	Семестр	Виды контактной работы и трудоемкость (в академических часах)			Самостоятельная работа (в академических часах)	Формы текущего контроля успеваемости
			Л	ЛР	КТО		
1	Двигательные установки и	6					Самостоятельная работа. Тест

	энергосистемы. Виды энергии, используемые в двигательной установке. Структурная схема и классификация двигательных установок.		2	2		4	
2	Системы подачи топлива. Вытеснительная подача топлива, насосная подача с дожиганием и без дожигания генераторного газа. Выбор системы подачи топлива. Системы управления и регулирования, характеристики ЖРД.	6	2	2		5,8	Самостоятельная работа. Тест
3	Атмосферные двигатели, их особенности и области. Нехимические и перспективные ракетные двигатели	6	2	2		4	Самостоятельная работа. Тест
4	Ракетные двигательные установки. Виды жидких и твердых ракетных топлив, основные характеристики камеры сгорания и двигателя.	6	2	2		4	Самостоятельная работа. Тест
5	Газотермодинамические процессы в камере сгорания и сопле ЖРД. Распыление, смешение и горение компонентов в камере.	6	2	2		4	Самостоятельная работа. Тест
6	Конструкция камеры сгорания. Назначение и принцип работы ее элементов. Процессы теплообмена в камере, проточное охлаждение и другие методы защиты стенок. Особенности конструкции	6	2	2		4	Самостоятельная работа. Тест

	газогенераторов						
7	Конструкция турбонасосного агрегата. Назначение, принцип работы, элементы конструкции. Кавитация в насосах, влияние характеристик ТНА на величину давления наддува баков. Конструкция других агрегатов системы подачи топлива. Компоновка ЖРД	6	2	2		4	Самостоятельная работа. Тест
8	Ракетные двигатели твердого топлива. Механизм горения твердых топлив, особенности рабочего процесса, особенности конструкции РДТТ.	6	4	2		8	Самостоятельная работа. Тест
9	Зачет	6			0,2		
ИТОГО			18	16	0,2	37,8	

Л-лекции, ЛР – лабораторные работы, КТО – контроль теоретического обучения

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Лекции

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)
1	Двигательные установки и энергосистемы. Виды энергии, используемые в двигательной установке. Структурная схема и классификация двигательных установок.	Классификация реактивных двигателей. Источники энергии для ракетных двигателей Химические ракетные топлива Термодинамические циклы воздушно-реактивных и ракетных двигателей Основные характеристики РДТТ. Тяга двигателя Режимы работы сопла Удельный импульс тяги Расходный комплекс и характеристическая скорость Тяговый комплекс и коэффициент тяги Использование газодинамических функций для определения тяги, удельного импульса тяги и тягового комплекса Коэффициенты полезного действия двигателя Полный импульс тяги и его связь с удельным импульсом и расходом топлива Мощность Удельная масса. Коэффициент массового совершенства РДТТ

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)
2	Системы подачи топлива. Вытеснительная подача топлива, насосная подача с дожиганием и без дожигания генераторного газа. Выбор системы подачи топлива. Системы управления и регулирования, характеристики ЖРД.	Принципы действия и схемно-конструктивные модификации ПВРД Тягово-энергетические параметры ракетно-прямоточного двигателя и их связь с динамикой полета летательного аппарата Физико-математическое описание рабочего процесса ракетно-прямоточного двигателя на гибридном топливе Схемно-конструктивные решения и методы расчета параметров рабочего процесса ГРД (газогенератора) Выбор стартовой ступени летательного аппарата с РПВРД
3	Атмосферные двигатели, их особенности и области. Нехимические и перспективные ракетные двигатели	Внутренняя энергия, энтальпия и теплота сгорания и теплота образования. Термодинамические функции Основные исходные данные и допущения для термодинамического расчета Термодинамический расчет состава продуктов сгорания и температуры при постоянном давлении. Термодинамическая диссоциация Термодинамический расчет продуктов горения при истечении из соплового аппарата Термодинамический и теплофизический методы определения состава и свойств гетерогенных систем
4	Ракетные двигательные установки. Виды жидких и твердых ракетных топлив, основные характеристики камеры сгорания и двигателя.	Тепломассообмен в камере сгорания и сопловом аппарате Общие положения Конвективный теплообмен. Характер течения и теплообмена пограничном слое Радиационный теплообмен Тепловое состояние элементов конструкции энергетической системы Взаимодействие продуктов горения ТТ с поверхностью стенки энергетической системы. Механизм горения твердых топлив, особенности рабочего процесса, особенности конструкции РДТТ.
5	Газотермодинамические процессы в камере сгорания и сопле ЖРД. Распыление, смешение и горение компонентов в камере	Скорость газообразования воспламенительного состава Принципы построения математических моделей процесса воспламенения Уравнения, описывающие нестационарный процесс для воспламенительного периода Одномерная нестационарная модель выхода двигателя на стационарный режим работы.
6	Конструкция камеры сгорания. Назначение и принцип работы ее элементов. Процессы теплообмена в камере, проточное охлаждение и другие методы защиты стенок. Особенности конструкции газогенераторов	Потребные управляющие силы. Типы систем управления вектором тяги и основные требования к ним Шарнирный момент Качающееся управляющее сопло (КУС) Разрезное управляющее сопло (РУС) Газовые рули Сопло со сферическим дефлектором Сопло с управляющими щитками (триммерами) Вдув рабочего вещества в расширяющуюся часть сопла Выброс управляющей жидкости в расширяющуюся часть сопла конструкции газогенераторов

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)
		конструкции газогенераторов
7	Конструкция турбонасосного агрегата. Назначение, принцип работы, элементы конструкции. Кавитация в насосах, влияние характеристик ТНА на величину давления наддува баков. Конструкция других агрегатов системы подачи топлива. Компоновка ЖРД	Системы подачи топлива. Вытеснительная подача топлива, насосная подача с дожиганием и без дожигания генераторного газа. Выбор системы подачи топлива. Системы управления и регулирования, характеристики ЖРД
8	Ракетные двигатели твердого топлива. Механизм горения твердых топлив, особенности рабочего процесса, особенности конструкции РДТТ.	Конструкция турбонасосного агрегата. Назначение, принцип работы, элементы конструкции. Кавитация в насосах, влияние характеристик ТНА на величину давления наддува баков. Конструкция других агрегатов системы подачи топлива. Компоновка ЖРД

5.2 Лабораторные занятия

№ п/п	Лабораторные занятия
1	Конструкция ЖРД РД 107
2	Конструкция ЖРД РД 180
3	Конструкция камеры сгорания ЖРД (РД 107)
4	Конструкция турбонасосного агрегата
5	Конструкция РДТТ

6 САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Форма (вид) самостоятельной работы	Трудоёмкость в академических часах
1	Двигательные установки и энергосистемы. Виды энергии, используемые в двигательной установке. Структурная схема и классификация двигательных установок.	Конспект некоторых разделов по теме..	4
2	Системы подачи топлива. Вытеснительная подача топлива, насосная подача с дожиганием и без дожигания генераторного газа. Выбор системы подачи топлива. Системы управления и регулирования, характеристики ЖРД	Конспект некоторых разделов по теме.	5,8
3	Атмосферные двигатели, их	Конспект некоторых	4

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Форма (вид) самостоятельной работы	Трудоёмкость в ака- демических часах
	особенности и области. Нехимические и перспективные ракетные двигатели	разделов по теме	
4	Ракетные двигательные установки. Виды жидких и твердых ракетных топлив, основные характеристики камеры сгорания и двигателя.	Конспект некоторых разделов по теме.	4
5	Газотермодинамические процессы в камере сгорания и сопле ЖРД. Распыление, смешение и горение компонентов в камере	Конспект некоторых разделов по теме.	4
6	Конструкция камеры сгорания. Назначение и принцип работы ее элементов. Процессы теплообмена в камере, проточное охлаждение и другие методы защиты стенок. Особенности конструкции газогенераторов	Конспект некоторых разделов по теме	4
7	Конструкция турбонасосного агрегата. Назначение, принцип работы, элементы конструкции. Кавитация в насосах, влияние характеристик ТНА на величину давления наддува баков. Конструкция других агрегатов системы подачи топлива. Компоновка ЖРД	Конспект некоторых разделов по теме	4
8	Ракетные двигатели твердого топлива. Механизм горения твердых топлив, особенности рабочего процесса, особенности конструкции РДТТ.	Конспект некоторых разделов по теме	8

7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Интегральная модель образовательного процесса по дисциплине формируют технологии методологического уровня: технология поэтапного формирования умственных действий, технология развивающего обучения, элементы технологии развития критического мышления, самоуправление. На занятиях используются методы активного обучения, как «Проблемная лекция». Перед изучением модуля обозначается проблема, на решение которой будет направлен весь последующий материал модуля. При чтении лекции используются мультимедийные презентации. При выполнении практических работ используется прием интерактивного обучения «Кейс-метод»: студентам выдается задание для подготовки к выполнению работы; с преподавателем обсуждается цель работы и ход её выполнения; цель анализируется с разных точек зрения, выдвигаются гипотезы, делаются выводы,

анализируются полученные результаты.

Рекомендуется использование информационных технологий при организации коммуникаций со студентами для предоставления информации, выдача рекомендаций и консультирования по оперативным вопросам (электронная почта).

8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Вопросы к зачету:

1. Классификация реактивных двигателей.
2. Двигательные установки и энергосистемы.
3. Виды энергии, используемые в двигательной установке.
4. Структурная схема и классификация двигательных установок.
5. Атмосферные двигатели, их особенности и области применения.
6. Устройство ВРД.
7. Ракетные двигательные установки.
8. Виды жидких и твердых ракетных топлив, основные характеристики камеры сгорания и двигателя.
9. Газотермодинамические процессы в камере сгорания и сопле ЖРД.
10. Распыление, смешение и горение компонентов в камере.
11. Элементы теории форсунок.
12. Термодинамические характеристики продуктов сгорания. Потери в камере сгорания и сопле.
13. Понятие о неустойчивости рабочего процесса в камере.
14. Элементы теории форсунок.
15. Термодинамические характеристики продуктов сгорания.
16. Потери в камере сгорания и сопле.
17. Понятие о неустойчивости рабочего процесса в камере.
18. Конструкция камеры сгорания. Назначение и принцип работы ее элементов.
19. Процессы теплообмена в камере, проточное охлаждение и другие методы защиты стенок.
20. Особенности конструкции газогенераторов.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

а) литература:

1. Ерохин, Б.Т. Теория и проектирование ракетных двигателей [Электронный ресурс] : учеб. — Электрон.дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 608 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/60037>

2. Минашин, А.Г. Основы теории и проектирования жидкостных ракетных двигателей малой тяги: учебное пособие: в 2-х частях. Часть 2 [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.Г. Минашин, Б.Б. Петрикевич. — Электрон.дан. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. — 45 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/62055>

3. Сухов, А.В. Твердые ракетные топлива: Учеб.пособие по курсу «Топлива и рабочие процессы ракетных двигателей на твердом топливе» [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.В. Сухов, М.В. Тюгаев, М.М. Фещенок. — Электрон.дан. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 28 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/58420>

4. Гаврюшин, С.С. Твердотельное моделирование камеры ракетного двигателя с применением системы САТІА: метод. указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Автоматизация проектирования ракетных двигателей» [Электронный ресурс] : учеб.-метод.

пособие / С.С. Гаврюшин, А.Р. Полянский, Д.А. Ягодников. — Электрон.дан. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. — 44 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/58414>

5. Топлива жидкостных ракетных двигателей [Электронный ресурс] — Электрон.дан. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 37 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/52307>

6. Вашурин, В.О. Энергетические характеристики твердых и гибридных топлив и определение основных параметров ракетных двигателей [Электронный ресурс] : учеб.пособие / В.О. Вашурин, Б.Б. Петрикевич, Д.А. Чумаев. — Электрон.дан. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — 36 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/52299>

7. Егорычев В.С. Теория, расчёт и проектирование ракетных двигателей: [Электронный ресурс]: электрон, учеб.пособие / В.С. Егорьев; Минобрнауки России, Самар, гос. аэрокосм, ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон, текст, и граф.дан. (3,25 Мбайт). - Самара, 2011 <http://repo.ssau.ru/handle/Uchebnye-posobiya/Teoriya-raschet-i-proektirovanie-raketnyh-dvigateli-Elektronnyi-resurs-elektron-ucheb-posobie-54624>

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

№	Наименование ресурса	Краткая характеристика
1	http://repo.ssau.ru	Репозиторий (электронный научный архив) создан для длительного хранения, накопления и обеспечения долговременного и надежного открытого доступа к результатам научных исследований университета. Используя репозиторий Самарского университета (до 2016 года – Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королева (национальный исследовательский университет) (СГАУ) и Самарский государственный университет (СамГУ)), можно получить доступ к монографиям, авторефератам, диссертациям, выпускным квалификационным работам, научным статьям, нормативным документам, справочным, учебным и методическим пособиям, аудио и видеоконтенту. В электронном каталоге репозитория размещены работы по техническим научным направлениям, связанным с аэрокосмической техникой, материалами и технологиями; двигателестроением, динамикой и виброакустикой машин; информатикой и фотоникой; фундаментальными исследованиями для перспективных технологий. Гуманитарные исследования представлены работами в области лингвистики, литературоведения, истории, охраны окружающей среды, математики, химии, физики и других науках. Возможен полнотекстовый поиск по автору, заглавию, дате публикации, предмету, типу документа, а также просмотр публикаций по структурным подразделениям университета.
2	Операционная система MS Windows 10 Education	Операционная система MS Windows 10 Education - DreamSparkPremiumElectronicSoftwareDelivery (3 years) Renewal по договору - Сублицензионный договор № Tr000074357/КНВ 17 от 01 марта 2016 г.
3	http://www.iprbookshop.ru/	Электронно-библиотечная система IPRbooks – научно-образовательный ресурс для решения задач обучения в

№	Наименование ресурса	Краткая характеристика
		России и за рубежом. Уникальная платформа ЭБС IPRbooks объединяет новейшие информационные технологии и учебную лицензионную литературу. Контент ЭБС IPRbooks отвечает требованиям
4	ЭБС ЮРАЙТ https://urait.ru	Фонд электронной библиотеки составляет более 4000 наименований и постоянно пополняется новинками, в большинстве своем это учебники и учебные пособия для всех уровней профессионального образования от ведущих научных школ с соблюдением требований новых ФГОСов.
5	http://www.e.lanbook.com	Электронная библиотечная система «Издательства Лань», тематические пакеты: математика, физика, инженерно-технические науки, химия
6	7-Zip	Программа-архиватор, бесплатное распространение по лицензии GNU LGPL http://www.7-zip.org/license.txt
7	LibreOffice	Пакет прикладных программ, бесплатное распространение по лицензии MozillaPublicLicenseVersion 2.0 http://www.libreoffice.org/download/license/

в) профессиональные базы данных и информационные справочные системы

№	Наименование	Описание
1	http://www.kerc.msk.ru	Исследовательский центр им. М.В. Келдыша. На сайте в открытом доступе размещены полные тексты публикаций сотрудников центра, материалы конференций, патенты.
2	https://ecorospace.me/	Космонавтика и авиация. Новости космонавтики. Запуски ракет. Характеристики спутников. Отказы ракетно-космической техники. Авиация. Промышленное производство. Рыночные исследования.
3	www.makeyev.ru	АО «Государственный ракетный центр им. академика В.П. Макеева»
4	www.vniiem.ru	АО «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические системы имени А.Г. Иосифьяна»
5	www.laspace.ru	АО «НПО им. С.А. Лавочкина»
6	www.samspace.ru	АО «Ракетно-космический центр «Прогресс»
7	http://arc.iki.rssi.ru/Welcome.html	Сайт Института Космических Исследований
8	https://www.energia.ru	Официальный сайт РКК ЭНЕРГИЯ им С. П. Королева
9	https://www.roscosmos.ru/	Сайт Госкорпорации "РОСКОСМОС"
10	http://www.russian.space/	ФГУП «Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры (ЦЭНКИ)»

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Занятия по дисциплине проводятся в специальных помещениях, представляющих собой учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, практических работ с лабораторным оборудованием, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения,

служащими для представления учебной информации большой аудитории. Все помещения, в которых проводятся занятия, соответствуют действующим противопожарным правилам и нормам.

Каждый обучающийся обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронно-библиотечным системам и к электронной информационно-образовательной среде университета.

Самостоятельная работа обучающихся осуществляется в помещениях, оснащенных компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета

На занятиях применяется следующее техническое оборудование: ПЭВМ на базе процессора IntelPentium, проектор.