

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

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной и  
научной работе

Лейфа А.В. Лейфа

« 1 » сентября 2022 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 – 2022

Форма обучения – Очная

Курс 3 Семестр 6

Зачет 6 сем

Общая трудоемкость дисциплины 108 (академ. час), 3.00 (з.е)

Составитель К.А. Насуленко, Доцент,

Инженерно-физический факультет

Кафедра стартовых и технических ракетных комплексов

Рабочая программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта ВО для 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 стартовых и технических ракетных комплексов

01.09.2022 г. , протокол № 1

Заведующий кафедрой Соловьев В.В. Соловьев

СОГЛАСОВАНО

Учебно-методическое управление

Чалкина Н.А. Чалкина

« 1 » сентября 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Научная библиотека

Петрович О.В. Петрович

« 1 » сентября 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Выпускающая кафедра

Соловьев В.В. Соловьев

« 1 » сентября 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Центр цифровой трансформации и  
технического обеспечения

Годосейчук А.А. Годосейчук

« 1 » сентября 2022 г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цель 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:

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 И ИНДИКАТОРЫ ИХ ДОСТИЖЕНИЯ

### 3.1 Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения

Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
ПК-1 Способен осуществлять проектирования, конструирования и сопровождения на всех этапах жизненного цикла КА, КС и составных частей	ИД – 1 ПК-1 Знать: - последовательность и содержание основных этапов проектирования КА и КС, ключевые требования массо- габаритного совершенства конструкции и надёжности. ИД – 2 ПК-1 Уметь: - разрабатывать проекты КА, КС и их составных частей, оформлять проектно-конструкторскую и рабоче- конструкторскую документацию ИД – 3 ПК-1. Владеть: - практическим опытом сопровождения процесса и испытания КА, КС и их составных частей, анализа и оценки их работы в процессе эксплуатации

## 4. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3.00 зачетных единицы, 108 академических часов.

- 1 – № п/п  
 2 – Тема (раздел) дисциплины, курсовая работа (проект), промежуточная аттестация  
 3 – Семестр  
 4 – Виды контактной работы и трудоемкость (в академических часах)  
 4.1 – Л (Лекции)  
 4.2 – Лекции в виде практической подготовки  
 4.3 – ПЗ (Практические занятия)  
 4.4 – Практические занятия в виде практической подготовки  
 4.5 – ЛР (Лабораторные работы)  
 4.6 – Лабораторные работы в виде практической подготовки  
 4.7 – ИКР (Иная контактная работа)  
 4.8 – КТО (Контроль теоретического обучения)  
 4.9 – КЭ (Контроль на экзамене)  
 5 – Контроль (в академических часах)  
 6 – Самостоятельная работа (в академических часах)  
 7 – Формы текущего контроля успеваемости

1	2	3	4									5	6	7
			4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9			
1	Двигательные установки и энергосистемы. Виды энергии, используемые в двигательной установке. Структурная схема и классификация двигательных установок.	6	2										8	Самостоятельная работа. Тест
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		16								8	Самостоятельная работа. Тест
3	Атмосферные двигатели, их особенности и области. Нехимические и перспективные ракетные	6	2										8	Самостоятельная работа. Тест



	агрегатов системы подачи топлива. Компонировка ЖРД												
8	Ракетные двигатели твердого топлива. Механизм горения твердых топлив, особенности рабочего процесса, особенности конструкции РДТТ.	6	4									10	Самостоятельная работа. Тест
9	Зачет	6							0.2				
	Итого		18.0	16.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	73.8			

## 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
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,	Внутренняя энергия, энтальпия и теплота сгорания

	их особенности и области. Нехимические и перспективные ракетные двигатели	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 Впрыск управляющей жидкости в расширяющуюся часть сопла конструкции газогенераторов 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	Конструкция турбонасосного агрегата.

твердого топлива. Механизм горения твердых топлив, особенности рабочего процесса, особенности конструкции РДТТ.	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. Практические занятия

Наименование темы	Содержание темы
Конструкция РД	Конструкция ЖРД РД 107 Конструкция ЖРД РД 180 Конструкция камеры сгорания ЖРД (РД 107) Конструкция турбонасосного агрегата Конструкция РДТТ

## 6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)	Трудоемкость 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	8
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	8
3	Атмосферные двигатели, их особенности и области. Нехимические и перспективные ракетные двигатели	Конспект некоторых разделов по теме	8



4	Ракетные двигательные установки. Виды жидких и твердых ракетных топлив, основные характеристики камеры сгорания и двигателя.	Конспект некоторых разделов по теме	9.8
5	Газотермодинамические процессы в камере сгорания и сопле ЖРД. Распыление, смешение и горение компонентов в камере.	Конспект некоторых разделов по теме	10
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	10
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	10
8	Ракетные двигатели твердого топлива. Механизм горения твердых топлив, особенности рабочего процесса, особенности конструкции РДТТ.	Конспект некоторых разделов по теме	10

## 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 : 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: 02.06.2021). — 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] : 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/](https://e.lanbook.com/)

book/58420

4. Гаврюшин, С.С. Твердотельное моделирование камеры ракетного двигателя с применением системы САПР: 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>

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

№	Наименование	Описание
1	Операционная система MS Windows 10 Education, Pro	DreamSpark Premium Electronic Software Delivery (3 years) Renewal по договору - Сублицензионный договор № Tr000074357/КНВ 17 от 30 июня 2019 года.
2	MS Office 2013/2016 PRO PLUS Academic	Сублицензионный договор № Tr000027462 от 10.12.2015.
3	7-Zip	Бесплатное распространение по лицензии GNU LGPL <a href="http://www.7-zip.org/license.txt">http://www.7-zip.org/license.txt</a> .
4	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>	Электронно-библиотечная система IPRbooks - научно-образовательный ресурс для решения задач обучения в России и за рубежом. Уникальная платформа ЭБСИPRbooks объединяет новейшие информационные технологии и учебную лицензионную литературу. Контент ЭБСИPRbooks отвечает требованиям стандартов высшей школы, СПО, дополнительного и дистанционного образования. ЭБСИPRbooks в полном объеме соответствует требованиям законодательства РФ в сфере образования
5	<a href="http://www.e.lanbook.com">http://www.e.lanbook.com</a>	Электронная библиотечная система «Издательства Лань», тематические пакеты: математика, физика, инженерно-технические науки, химия
6	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	Научная электронная библиотека журналов

в) профессиональные базы данных и информационные справочные системы

№	Наименование	Описание
1	<a href="http://ecoruspace.me/">http://ecoruspace.me/</a>	Ecoruspace.me. Информационный Интернет- сайт посвящен существующей и планируемой ракетно-космической технике
2	<a href="http://www.vniiem.ru">www.vniiem.ru</a>	АО «Научно- производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические системы имени А.Г. Иосифьяна»
3	<a href="http://www.makeyev.ru">www.makeyev.ru</a>	АО «Государственный ракетный центр им. академика В.П. Макеева»

**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.