

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Воткинский филиал
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»
(ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»)



Рабочая программа

По дисциплине: **Двигательные установки и энергосистемы**

для специальности: 24.05.01 – Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов (уровень специалитета). Специализация – Ракеты с ракетными двигателями твердого топлива

форма обучения: очная

Общая трудоемкость дисциплины составляет: 4 зачетных единиц(ы)

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
		8			
Контактные занятия (всего)	64	64			
В том числе			-	-	-
Лекции	32	32			
Практические занятия (ПЗ)	16	16			
Семинары (С)	-	-			
Лабораторные работы (ЛР)	16	16			
Самостоятельная работа "(всего)	80	80			
В том числе					
Курсовой проект (работа)	-	-			
Расчетно-графические работы	-	-			
Реферат	-	-			
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>					
<i>Вид промежуточной аттестации: экзамен</i>	36	36			
Общая трудоемкость	часы	144	144		
	з.е.	4	4		

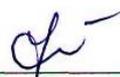
Кафедра «Ракетостроение»

Составитель: Уразбахтин Федор Асхатович, доктор технических наук, профессор

Рабочая программа составлена на основании ФГОС ВО по направлению подготовки 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов» (уровень специалитета) № 1517 от 01.12.2016 (ред. от 13.07.2017) и утверждена на заседании кафедры

Протокол от 20 апреля 2019 г. №8__

Заведующий кафедрой «Ракетостроение»

 /Ф.А.Уразбахтин

22 апреля 2019 г.

СОГЛАСОВАНО

Председатель учебно-методической комиссии по УГСН «24.05.01 – «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов (уровень специалитета)», специализация – Ракеты с ракетными двигателями твердого топлива»

 Уразбахтин Ф.А.

24 апреля 2019 г.

Количество часов рабочей программы соответствует количеству часов рабочего учебного плана по специальности 24.05.01 – Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов, специализация – Ракеты с ракетными двигателями твердого топлива

Ведущий специалист учебной части
ВФ ФГБОУ имени М.Т. Калашникова

 Соловьева Л.Н.

25 апреля 2019 г.

Аннотация к дисциплине «Двигательные установки и энергосистемы»

Название дисциплины		Двигательные установки и энергосистемы				
Номер	83	Академический год		2019/2020	семестр	8
кафедра	«Ракето-строение»	Программа	24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов», специализация «Ракеты с ракетными двигателями твердого топлива»			
Составитель	Корнев А.А., к.т.н.					
Цели и задачи дисциплины, основные темы	<p>Цели: Формирование у студента целостного, научно обоснованного представления о принципах реактивного движения и их реализации в ракетных двигателях, использующих различные источники энергии.</p> <p>Задачи: Приобретение теоретических знаний по основным типам ракетных двигателей и видам топлив, по основам теории тепловых ракетных двигателей; по способам защиты стенок камеры сгорания и механизму горения твердых и жидких топлив.</p> <p>Знания: Методы расчета термодинамических и газодинамических параметров процессов в камере сгорания; особенности рабочих процессов в различных моделях термических двигателей; основы проектирования жидкостных и твердотопливных двигателей.</p> <p>Умения: рассчитывать основные характеристики камеры сгорания и двигателя; рассчитывать процессы теплообмена и защиты стенок камеры сгорания; рассчитывать геометрические характеристики сопла.</p> <p>Навыки: владеть методиками определения термодинамических и внутрибаллистических параметров ракетного двигателя; производить математическое описание рабочих процессов в двигателях конкретного вида и назначения.</p> <p>Лекции (основные темы): Термодинамический расчет процессов, происходящих в камере сгорания; газодинамические процессы в камере сгорания; особенности рабочих процессов в различных моделях термических двигателей; процессы теплообмена и защиты стенок камеры сгорания; механизм горения твердых и гидрореагирующих топлив.</p> <p>Практические занятия: Расчет основных характеристик камеры и двигателя. Расчет и проектирование соплового блока и корпуса РДТТ. Расчет температуры воспламенения твердых топлив. Расчет кривой давления в камере РДТТ</p> <p>Лабораторные работы: Расчет основных характеристик камеры и двигателя. Расчет и проектирование соплового блока и корпуса РДТТ. Расчет температуры воспламенения твердых топлив. Расчет кривой давления в камере РДТТ</p>					
Основная литература	<p>1. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: учебник для высших учебных заведений / М.В. Добровольский.-М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016.-461с. 2. Основы теории тепловых ракетных двигателей. Теория, расчет и проектирование: учебник /А.А. Дорофеев. -М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014.-571с. 3. Ракетные двигательные установки. Термины и определения [Электронный ресурс]: учебное пособие / Д.А. Ягодников, Н.Я. Ирьянов. Электрон. текстовые данные. -М.: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2012. -89 с. — 2227-8397. Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/31527.html</p>					
Технические средства	стандартно оборудованная лекционная аудитория; учебный класс натуральных образцов двигателей, их узлов и элементов					
Компетенции	Приобретаются студентами при освоении модуля					
Общекультурные	-					
Профессиональные	<p>ПК-2. Способен анализировать состояние и перспективы развития как ракетной и ракетно-космической техники в целом, так и ее отдельных направлений, создавать математические модели функционирования объектов ракетной и ракетно-космической техники; ПК-3. Способен разрабатывать с использованием технологий на базе системного подхода последовательность решения поставленной задачи, определять внешний облик изделий, состав и объемно-массовые характеристики приборов, систем, механизмов и агрегатов, входящих в ракетный или ракетно-космический комплекс, а также состав, структуру, объемно-компоновочные схемы объектов наземного ракетно-космического комплекса (в том числе объектов наземного комплекса управления); ПК-6. Способен на основе системного подхода разрабатывать технические задания на проектирование и конструирование систем, механизмов и агрегатов, входящих в проектируемое изделие ракетно-космического комплекса, разрабатывать технические задания на проектирование конструкций и сооружений наземного комплекса; ПК-29. Знает и понимает устройство, работу и процессы, происходящие в изделиях ракетно-космической техники; ПСК-5.1. Способен и готов проводить проектировочные расчёты баллистических ракет с ракетными двигателями твердого топлива различного назначения, а также прочностные, тепловые, теплофизические и динамические расчёты твёрдотопливных двигателей, зарядов твёрдого топлива, подкреплённых отсеков, вспомогательных двигателей и других систем.</p>					
Зачетных единиц	4	Форма проведения занятий	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
		Всего часов	32	16	16	80
Виды контроля	Диф.зач /зач/ экз	КП/КР	Условие зачета дисциплины	Получение оценки «3, 4 или 5»	Форма проведения самостоятельной работы	Подготовка к контрольным, практическим занятиям, лабораторным работам и к экзамену
формы	Экзамен	нет				
Перечень модулей, знание которых необходимо для изучения дисциплины				Математический анализ, Физика, Химия, Информатика, Сопротивление материалов, Введение в ракетно-космическую технику, Термодинамика и теплопередача.		

1. Цели и задачи дисциплины:

Целью преподавания дисциплины является формирование у студента целостного, научно обоснованного представления о принципах реактивного движения и их реализации в ракетных двигателях, использующих различные источники энергии.

Задачи дисциплины:

- формирование у студентов знаний, умений, навыков и компетенций в области анализа и разработки двигательных установок ракет;
- приобретение теоретических знаний по основным типам ракетных двигателей и видам топлив;
- приобретение знаний по основам теории тепловых ракетных двигателей;
- получение представления о способах защиты стенок камеры сгорания и механизме горения твердых и жидких топлив;
- выработка навыка определения термодинамических и внутрибаллистических параметров ракетного двигателя;
- освоение методов расчета основных характеристик камеры сгорания и двигателя.

В результате изучения дисциплины студент должен

знать:

- основы теории тепловых ракетных двигателей;
- методы расчета термодинамических и газодинамических параметров процессов в камере сгорания;
- особенности рабочих процессов в различных моделях термических двигателей;
- основы проектирования жидкостных и твердотопливных двигателей;
- способы защиты стенок камеры сгорания; механизм горения твердых и жидких топлив;

уметь:

- рассчитывать основные характеристики камеры сгорания и двигателя;
- рассчитывать процессы теплообмена и защиты стенок камеры сгорания;
- рассчитывать геометрические характеристики сопла;
- рассчитывать кривую давления в камере РДТТ;

владеть:

- методиками определения термодинамических и внутрибаллистических параметров ракетного двигателя;
- навыком математического описания рабочих процессов в двигателях конкретного вида и назначения;
- навыком использования справочного материала при решении инженерно-технических задач.

2. Место дисциплины в структуре ООП ВО:

2.1. Дисциплина относится к базовой части Блока 1 «Дисциплины (модули)» ООП ВО.

2.2. Изучение дисциплины (модуля) базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин (модулей) и практик: Математический анализ, Физика, Химия, Информатика. Общий курс, Сопротивление материалов, Введение в ракетно-космическую технику, Термодинамика и теплопередача.

2.3. Для изучения дисциплины студент должен:

знать:

- основные законы термодинамики и термодинамические процессы;
- виды теплообмена и основные законы теплопередачи;
- виды и принципы инженерных расчетов;

уметь:

- исследовать и решать задачи термодинамики;
- определять термическую эффективность любого теплового двигателя;
- исследовать и решать задачи теплопередачи и теплообмена;

владеть:

- методиками термодинамических расчетов;
- методиками расчета процессов теплопередачи и теплообмена.

2.4. Освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее для изучения дисциплин (модулей) и практик:

1. Ракетные двигатели.
2. Конструирование летательных аппаратов.
3. Производство летательных аппаратов.
4. Государственный экзамен.

3. Требования к результатам освоения дисциплины:**3.1. Знания, приобретаемые в ходе изучения дисциплины**

№ п/п З	Знания
1.	Основы теории тепловых ракетных двигателей
2.	Методы расчета термодинамических и газодинамических параметров процессов в камере сгорания
3.	Особенности рабочих процессов в различных моделях термических двигателей
4.	Основы проектирования жидкостных и твердотопливных двигателей
5.	Способы защиты стенок камеры сгорания; механизм горения твердых и жидких топлив

3.2. Умения, приобретаемые в ходе изучения дисциплины

№ п/п У	Умения
1.	Рассчитывать основные характеристики камеры сгорания и двигателя
2.	Рассчитывать процессы теплообмена и защиты стенок камеры сгорания
3.	Рассчитывать геометрические характеристики сопла
4.	Рассчитывать кривую давления в камере РДТТ

3.3. Навыки, приобретаемые в ходе изучения дисциплины

№ п/п Н	Навыки
1.	Владеть методиками определения термодинамических и внутрибаллистических параметров ракетного двигателя
2.	Владеть навыком математического описания рабочих процессов в двигателях конкретного вида и назначения
3.	Применять на практике навыки использования справочного материала при решении инженерно-технических задач

3.4. Компетенции, приобретаемые в ходе изучения дисциплины

Компетенции	Знания	Умения	Навыки
ПК-2. Способен анализировать состояние и перспективы развития как ракетной и ракетно-космической техники в целом, так и ее отдельных направлений, создавать математические модели функционирования объектов ракетной и ракетно-космической техники.	1,2	1,2,4	2,3
ПК-3. Способен разрабатывать с использованием технологий на базе системного подхода	2,4,5	1,2,3	1,3

последовательность решения поставленной задачи, определять внешний облик изделий, состав и объемно-массовые характеристики приборов, систем, механизмов и агрегатов, входящих в ракетный или ракетно-космический комплекс, а также состав, структуру, объемно-компоновочные схемы объектов наземного ракетно-космического комплекса (в том числе объектов наземного комплекса управления).			
ПК-6. Способность на основе системного подхода к проектированию разрабатывать технические задания на проектирование и конструирование систем, механизмов и агрегатов, входящих в проектируемое изделие ракетно-космического комплекса, разрабатывать технические задания на проектирование конструкций и сооружений наземного комплекса.	3,4	1,3	1,2
ПК-29. Знает и понимает устройство, работу и процессы, происходящие в изделиях ракетно-космической техники	1,3,5	2,3,4	1,2
ПСК-5.1. Способен и готов проводить проекторочные расчёты баллистических ракет с ракетными двигателями твердого топлива различного назначения, а также прочностные, тепловые, теплофизические и динамические расчёты твёрдотопливных двигателей, зарядов твёрдого топлива, подкреплённых отсеков, вспомогательных двигателей и других систем.	1,2,4,5	1,2,3,4	1,2,3

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Разделы дисциплин и виды занятий (очная форма обучения)

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				лек	прак	лаб	СРС	
1	Основные характеристики камеры сгорания и двигателя. Термодинамический расчет процессов, происходящих в камере сгорания.	8	1	2	2		12	
			2	2		2		
			3	2	2			
			4	2		2		
			5	2	2			
2	Газодинамические процессы в камере сгорания. Особенности рабочих процессов в различных моделях термических двигателей	8	6	2		2	16	Контрольная работа 1 1 аттестация
			7	2	2			
			8	2		2		
			9	2	2			
			10	2		2		
3	Процессы теплообмена и защиты стенок камеры сгорания. Механизм горения твердых и гидрореагирующих топлив	8	11	2	2		16	Контрольная работа 2 2 аттестация
			12	2		2		
			13	2	2			
			14	2		4		
			15	2	2			
			16	2				

		17					
		18					
	Экзамен	19				36	Вопросы к экзамену
	Всего	144	32	16	16	80	

4.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Раздел дисциплины	Трудоемкость (в часах)	Компоненты компетенций		
			Знать	Уметь	Владеть
1	<p>1.1. Основные характеристики камеры и двигателя: тяга, удельный импульс тяги, суммарный импульс и мощность, расходный комплекс и характеристическая скорость, тяговый комплекс и коэффициент тяги, удельная масса.</p> <p>1.2. Задачи и методы термодинамического расчета процессов в РД. Модель рабочего тела, модели процессов в камере сгорания. Термическая диссоциация продуктов сгорания. Понятия равновесного и неравновесного расширения продуктов сгорания. Константы равновесия.</p> <p>1.3. Основы расчета термодинамических параметров продуктов сгорания в камере двигателя и на срезе сопла. Определение температуры в камере сгорания и на срезе сопла.</p>	10	1,2,4	1,3	1,2,3
2	<p>2.1. Высотная и дроссельная характеристики РД, нерасчетные режимы работы сопла. Основные законы газовой динамики применительно к одномерному стационарному процессу течения газа в камере сгорания.</p> <p>2.2. Расчет периодов горения воспламенительного устройства РДТТ. Период стабилизации давления в камере и период последствия тяги. Расчеты заряда с цилиндрической формой канала. Особенности расчета и проектирования РДТТ при наличии конденсированной фазы в продуктах сгорания. Течение двухфазового потока в сопле и расчет выходных характеристик РДТТ на смешанном топливе.</p> <p>2.3. Понятие термических РД, особенности. Основные характеристики химических топлив. Внутренняя энергия и энтальпия продуктов сгорания. Рабочий процесс в термическом двигателе.</p> <p>2.4. Особенности рабочих процессов в РДТТ, процессы в сопле. Схема, состав и особенности рабочих процессов в двигательных установках с ЖРД, радиоизотопным РД, ядерным РД, солнечным РД, резисторным электрическим РД, электродуговым электрическим РД и РД на гибридном топливе</p>	10	1,2,3	1,4	1,2,3
3	<p>3.1. Теплоотдача от продуктов сгорания к стенкам камеры и трение в ЖРД. Распределение плотности теплового потока и трения по тракту камеры. Основные способы защиты стенок камеры ЖРД: наружное, внутреннее и емкостное охлаждение.</p>	12	1,4,5	1,2	1,2,3

<p>3.2. Механизм теплообмена в РДТТ. Конвективный и лучистый теплообмен в РДТТ. Температурное поле стенки РДТТ. Инженерные методы расчета нагрева однослойной стенки РДТТ. Расчет пассивного теплозащитного покрытия (ТЗП). Теплообмен между газом и стенкой двигателя при абляции. Расчет температурного поля активного ТЗП с внутренним уносом массы. Нагрев и эрозия сопла.</p> <p>3.3. Механизм горения твердых ракетных топлив: двухосновные топлива; смесевые топлива; металлосодержащие смесевые топлива, агломерация и шлакообразование при их горении. Скорость горения твердого топлива, ее зависимость от основных факторов, горение в условиях перегрузок. Эрозионное горение. Воспламенение. Вибрационное горение.</p> <p>3.4. Механизм горения гидрореагирующих топлив. Общая характеристика процесса. Структурная схема процессов в ЖРД. Принципы построения математической модели горения распыленного топлива</p>				
---	--	--	--	--

4.3. Наименование тем практических занятий, их содержание и объем в часах

Номер раздела дисциплины (модуля)	Темы практического занятия	Трудоемкость (час)
1	Расчет основных характеристик камеры и двигателя	4
2	Расчет и проектирование соплового блока и корпуса РДТТ	4
2	Расчет температуры воспламенения твердых топлив	2
3	Расчет кривой давления в камере РДТТ	6
Всего:		16

4.4. Наименование тем лабораторных работ, их объем в часах и формируемые компоненты компетенций

Номер раздела дисциплины (модуля)	Темы лабораторной работы	Трудоемкость (час)
1	Термодинамический расчет процессов в камере сгорания	4
2	Определение параметров рабочего процесса в камере РДТТ	4
2	Исследование процесса горения ракетных топлив.	2
3	Анализ кривой давления в камере РДТТ	6
Всего		16

5. Содержание самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

5.1. Содержание самостоятельной работы

№ раздела	Наименование тем	Трудоемкость
-----------	------------------	--------------

		(час.)
1	Обзор характеристик ракетных двигателей ракет стратегического назначения.	12
2	Обзор методик расчета термодинамических процессов в ракетных двигателях	16
3	Обзор механизмов горения твердых ракетных топлив	16

5.2. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Оценочные средства, используемые для текущего контроля успеваемости студентов и их промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины, их виды и формы, требования к ним и шкалы оценивания приведены в приложении к РПД «Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) «Двигательные установки и энергосистемы», которое оформляется в виде отдельного документа

6. Рекомендуемые образовательные технологии

Образовательная технология	Кол-во ауд. часов при изучении дисциплины (модуля)
1. Иллюстративный материал, представленный в слайдах.	8
2. Работа в малых группах	8
Всего	16(25,0%)

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература

№ п/п	Наименование книги	Год издания
1.	Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: учебник для высших учебных заведений / М.В. Добровольский; под ред. Д.А. Ягодникова.-М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016.-461с.	2016
2.	Основы теории тепловых ракетных двигателей. Теория, расчет и проектирование: учебник /А.А. Дорофеев. -М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014.-571с.	2014
3.	Ракетные двигательные установки. Термины и определения [Электронный ресурс]: учебное пособие / Д.А. Ягодников, Н.Я. Ирьянов. Электрон. текстовые данные. -М.: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2012. -89 с. — 2227-8397. Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/31527.html	2012
4.	Гречух, Л. И. Жидкостные ракетные двигатели [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л. И. Гречух, И. Н. Гречух. Электрон. текстовые данные. -Омск: Омский государственный технический университет, 2017. - 140 с. 978-5-8149-2470-4. Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/78430.html	2017

б) дополнительная литература

№ п/п	Наименование книги	Год издания
1.	Энергетические характеристики твердых и гибридных топлив и определение основных параметров ракетных двигателей [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.О. Вашурин, Б.Б. Петрикевич, Д.А. Чумаев. — Электрон. текстовые данные. — М.: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2010. -40 с. Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/31333.html .	2010
2.	Твердые ракетные топлива [Электронный ресурс]: учебное пособие по курсу «Топлива и рабочие процессы ракетных двигателей на твердом топливе» / А. В. Сухов, М. В. Тюгаев, М. М. Фещенок [и др.] — Электрон. текстовые данные. — М.: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2006. — 28 с. — 2227-8397. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/31274.html	2006
3.	Топлива жидкостных ракетных двигателей [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. В. Сухов, К. Э. Парыгин, А. В. Сергеев, И. В. Гавриленко. — Электрон. текстовые данные. — М.: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2011. — 40 с. — 2227-8397. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/31299.html .	2011

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Microsoft Office 2016.
2. KMPlayer.
3. OpenOffice.
4. КОМПАС-3D.

г) методические указания

1. Газодинамические и теплофизические процессы в ракетных двигателях твердого топлива / А.М. Губертов, В.В.Миронов Д.М. Борисов и др. -М.: Машиностроение, 2004.
2. Абугов Д. И., Бобылев В. М. Теория и расчет ракетных двигателей твердого топлива Учебник для машиностроительных вузов. -М.: Машиностроение, 1987.
3. Основы теории тепловых ракетных двигателей. Теория, расчет и проектирование: учебник для авиа- и ракетостроительных специальностей вузов / А. А. Дорофеев. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010.
4. Фалалеев С.В. Современные проблемы создания двигателей летательных аппаратов. Учебное пособие. - Самара: изд-во СГАУ, 2012.
5. Основы тензометрии двигателей летательных аппаратов.: Метод,указания / Сост. Н.А.Панин. - Самара: Самар. гос. аэрокосм, ун-т; 2004.
6. Конструирование ракетных двигателей. Учебное пособие / В. А. Борисов. А. М. Жижкин. В. С. Мелентьев: -Самара: Самар. гос. аэрокосм, ун-т им. 2011.
7. Егорычев В.С. Расчёт и проектирование смесеобразования в камере ЖРД. – Самара, изд-во СГАУ, 2011.
8. Гимадисв А.Г., Быстров Н. Д. Экспериментальное исследование статических и динамических характеристик датчиков энергетических установок – Самара, изд-во СГАУ, 2012.
9. Корнев А.А., Уразбахтин Ф.А. Конструкции воспламенительных устройств РДТТ. – Воткинск: изд-во ИжГТУ, 2004.
10. Лабораторный практикум по проектированию элементов двигателей с использованием параметрического моделирования в САД/САЕ.: метод указание / Сост. Фалалеев С.В., Бондарчук П.В. Медников Н.В. -Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм ун-та, 2007.

10. Лабораторный анализ компонентов смесевых твердых ракетных топлив [Электронный ресурс]: методические указания к лабораторным работам / сост. И. Х. Гараев, А. В. Косточко, Т. И. Мухаметшин под ред. А. В. Косточко. — Электрон. текстовые данные. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2015. — 72 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63718.html>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

№ п/п	Наименование оборудования учебных кабинетов, объектов для проведения занятий с перечнем основного оборудования
1.	Аудитория №314. Учебная мультимедийная аудитория. Оборудование: парты, стол преподавателя, доска аудиторная, проектор, компьютер.
2.	Аудитория №219. Именная лаборатория конструирования и проектирования ракет АО «Воткинский завод». Оборудование: парты, стол преподавателя, доска аудиторная. Ноутбук. Компьютеры - 13 шт. Телевизор. Стенд (наглядное пособие).
3.	Аудитория №318. Лаборатория основ ракетной техники. Оборудование: парты, стол преподавателя, доска аудиторная. Компьютер. Питатели ракеты 8К14 – 4 шт. Вольфрамовые рули управления потоком. Стабилизатор ракеты. Макет топливного газогенератора. Руль машинка. Электронные блоки ракет. Шар баллон (аккумулятор) газогенератора. Заглушка топливной системы ЖРД.
4	Аудитория для самостоятельной работы обучающегося - читальный зал Воткинского филиала ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»

**ЛИСТ УТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ
НА УЧЕБНЫЙ ГОД**

Рабочая программа дисциплины утверждена на ведение учебного процесса в учебном году

Учебный год	«Согласовано»: заведующий кафедрой, ответственной за РПД (подпись, дата)
2018-2019	<i>Изменений нет</i> <i>У</i> - <i>Уразбахтин Ф.Ф.</i> <i>25.08.2018 г.</i>
2019-2020	<i>Изменений нет</i> <i>У</i> - <i>Уразбахтин Ф.Ф.</i> <i>26.08.2019 г.</i>
2020-2021	
2021-2022	
2022-2023	
2023-2024	
2024-2025	

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное федеральное образовательное учреждение
высшего образования

«Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»
(ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»)

Воткинский филиал

Кафедра «Ракетостроение»

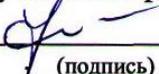
(наименование кафедры)

УТВЕРЖДЕН

на заседании кафедры

« 20 » _04_2019 г., протокол № 8

Заведующий кафедрой

 Уразбахтин Ф.А.
(подпись)

**ФОНД
ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

ДВИГАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

(наименование дисциплины)

**24.05.01 «ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ПРОИЗВОДСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ РАКЕТ
И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ»**

(шифр и наименование направления/специальности наименование дисциплины)

СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ «РАКЕТЫ С РАКЕТНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА»

(наименование профиля/специализации/магистерской программы)

Специалист

Квалификация (степень) выпускника

Воткинск 2019

Содержание

Раздел	Стр.
Содержание	2
Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине «Двигательные установки и энергосистемы»	3
1. Зачетно-экзаменационные материалы	4
2. Комплекты оценочных средств	5
3. Темы для самостоятельной работы	7
4. Критерии формирования оценок на экзамене	8

**Паспорт
фонда оценочных средств
по дисциплине**

**Термодинамика и теплопередача. Двигательные установки
и энергосистемы**
(наименование дисциплины)

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины*	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Основные характеристики камеры сгорания и двигателя	ПК-2, ПК-3, ПК-6, ПК-29, ПСК-5.1	
2	Термодинамический расчет процессов, происходящих в камере сгорания	ПК-2, ПК-3, ПК-29, ПСК-5.1	Контрольная работа 1
3	Газодинамические процессы в камере сгорания	ПК-2, ПК-3, ПК-29, ПСК-5.1	
4	Особенности рабочих процессов в различных моделях термических двигателей	ПК-2, ПК-3, ПК-6, ПК-29, ПСК-5.1	Темы для самостоятельной работы
5	Процессы теплообмена и защиты стенок камеры сгорания	ПК-2, ПК-29, ПСК-5.1	Контрольная работа 2
6	Механизм горения твердых и гидрореагирующих топлив	ПК-2, ПК-29, ПСК-5.1	Собеседование по вопросам по лекционному материалу

*Наименование темы (раздела) или тем (разделов) берется из рабочей программы дисциплины.

1. Зачетно-экзаменационные материалы

Перечень контрольных вопросов для проверки остаточных знаний и для проведения экзамена.

1. Понятие двигательной установки, основные типы двигательных установок. Схема, состав двигательной установки с РДТТ и ЖРД.
2. Основные характеристики камеры: тяга камеры, удельный импульс тяги, расходный комплекс камеры и характеристическая скорость в камере, тяговый комплекс и коэффициент тяги.
3. Основные характеристики двигателя: тяга двигателя, суммарный импульс и мощность, удельный импульс тяги, удельная масса.
4. Задачи и методы термодинамического расчета процессов в РД. Модель рабочего тела, модели процессов в камере сгорания.
5. Термическая диссоциация продуктов сгорания. Понятия равновесного и неравновесного расширения продуктов сгорания. Константы равновесия.
6. Основы расчета термодинамических параметров продуктов сгорания в камере двигателя и на срезе сопла. Определение температуры в камере сгорания и на срезе сопла.
7. Высотная и дроссельная характеристики РД, нерасчетные режимы работы сопла.
8. Основные законы газовой динамики применительно к одномерному стационарному процессу течения газа в камере сгорания.
9. Расчет периодов горения воспламенительного устройства РДТТ.
10. Период стабилизации давления в камере и период последствий тяги.
11. Расчеты заряда с цилиндрической формой канала. Особенности расчета и проектирования РДТТ при наличии конденсированной фазы в продуктах сгорания.
12. Течение двухфазового потока в сопле и расчет выходных характеристик РДТТ на смесевом топливе.
13. Понятие термических РД, особенности. Основные характеристики химических топлив.
14. Внутренняя энергия и энтальпия продуктов сгорания. Рабочий процесс в термическом двигателе.
15. Особенности рабочих процессов в РДТТ, процессы в сопле.
16. Схема, состав и особенности рабочих процессов в двигательных установках с ЖРД, радиоизотопным РД и ядерным РД.
17. Схема, состав и особенности рабочих процессов в двигательных установках с солнечным РД, резисторным электрическим РД, электродуговым электрическим РД и РД на гибридном топливе.
18. Теплообмен в камере РД. Теплоотдача от продуктов сгорания к стенкам камеры и трение в ЖРД. Распределение плотности теплового потока и трения по тракту камеры.

19. Основные способы защиты стенок камеры ЖРД: наружное, внутреннее и емкостное охлаждение.
20. Механизм теплообмена в РДТТ. Конвективный и лучистый теплообмен в РДТТ. Среднее эффективное значение коэффициента теплоотдачи.
21. Температурное поле стенки РДТТ. Инженерные методы расчета нагрева однослойной стенки РДТТ.
22. Расчет пассивного теплозащитного покрытия (ТЗП). Теплообмен между газом и стенкой двигателя при абляции.
23. Расчет температурного поля активного ТЗП с внутренним уносом массы. Нагрев и эрозия сопла.
24. Механизм горения твердых ракетных топлив: двухосновные топлива; смесевые топлива.
25. Механизм горения твердых ракетных топлив: металлосодержащие смесевые топлива, агломерация и шлакообразование при их горении.
26. Скорость горения твердого топлива, ее зависимость от основных факторов, горение в условиях перегрузок.
27. Влияние скорости газового потока на скорость горения (эрозионное горение). Воспламенение. Вибрационное горение.
28. Механизм горения гидрореагирующих топлив. Общая характеристика процесса.
29. Структурная схема процессов в ЖРД. Принципы построения математической модели горения распыленного топлива.
30. Особенности сверхзвукового сопла и режимы его работы.

2. Комплекты оценочных средств

2.1. Вопросы к собеседованию по лекционному материалу на темы «Основные характеристики камеры сгорания и двигателя. Термодинамический расчет процессов, происходящих в камере сгорания. Газодинамические процессы в камере сгорания. Особенности рабочих процессов в различных моделях термических двигателей. Процессы теплообмена и защиты стенок камеры сгорания. Механизм горения твердых и гидрореагирующих топлив.»:

- Основные типы двигательных установок. Схема, состав двигательной установки с РДТТ и ЖРД.
- Основные характеристики камеры: тяга камеры, удельный импульс тяги, расходный комплекс камеры и характеристическая скорость в камере, тяговый комплекс и коэффициент тяги.
- Основные характеристики двигателя: тяга двигателя, суммарный импульс и мощность, удельный импульс тяги, удельная масса.
- Задачи и методы термодинамического расчета процессов в РД. Модель рабочего тела, модели процессов в камере сгорания.

- Термическая диссоциация продуктов сгорания. Понятия равновесного и неравновесного расширения продуктов сгорания. Константы равновесия.
- Основы расчета термодинамических параметров продуктов сгорания в камере двигателя и на срезе сопла. Определение температуры в камере сгорания и на срезе сопла.
- Высотная и дроссельная характеристики РД, нерасчетные режимы работы сопла.
- Основные законы газовой динамики применительно к одномерному стационарному процессу течения газа в камере сгорания.
- Расчет периодов горения воспламенительного устройства РДТТ.
- Период стабилизации давления в камере и период последствия тяги.
- Расчеты заряда с цилиндрической формой канала. Особенности расчета и проектирования РДТТ при наличии конденсированной фазы в продуктах сгорания.
- Течение двухфазового потока в сопле и расчет выходных характеристик РДТТ на смесевом топливе.
- Понятие термических РД, особенности. Основные характеристики химических топлив.
- Внутренняя энергия и энтальпия продуктов сгорания. Рабочий процесс в термическом двигателе.
- Особенности рабочих процессов в РДТТ, процессы в сопле.
- Схема, состав и особенности рабочих процессов в двигательных установках с ЖРД, радиоизотопным РД и ядерным РД.
- Схема, состав и особенности рабочих процессов в двигательных установках с солнечным РД, резисторным электрическим РД, электродуговым электрическим РД и РД на гибридном топливе.
- Теплообмен в камере РД. Теплоотдача от продуктов сгорания к стенкам камеры и трение в ЖРД. Распределение плотности теплового потока и трения по тракту камеры.
- Механизм теплообмена в РДТТ. Конвективный и лучистый теплообмен в РДТТ. Среднее эффективное значение коэффициента теплоотдачи.
- Температурное поле стенки РДТТ. Инженерные методы расчета нагрева однослойной стенки РДТТ.
- Расчет пассивного теплозащитного покрытия (ТЗП). Теплообмен между газом и стенкой двигателя при абляции.
- Расчет температурного поля активного ТЗП с внутренним уносом массы. Нагрев и эрозия сопла.
- Механизм горения твердых ракетных топлив: двухосновные топлива; смесевые топлива.
- Скорость горения твердого топлива, ее зависимость от основных факторов, горение в условиях перегрузок.

- Влияние скорости газового потока на скорость горения (эрозионное горение). Воспламенение. Вибрационное горение.
- Механизм горения гидрореагирующих топлив. Общая характеристика процесса.
- Особенности сверхзвукового сопла и режимы его работы.

На собеседовании задается три вопроса. Критерии формирования оценок по результатам собеседования:

- «неудовлетворительно» - обучающийся не ответил правильно ни на один вопрос;
- «удовлетворительно» - обучающийся развернуто и правильно ответил на один вопрос;
- «хорошо» - обучающийся развернуто и правильно ответил на два вопроса;
- «отлично» - обучающийся развернуто и правильно ответил на три вопроса.

2.2. Варианты заданий для контрольных работ

Контрольная работа 1

Вариант 1

1. Основные характеристики камеры: тяга камеры, удельный импульс тяги, расходный комплекс камеры и характеристическая скорость в камере, тяговый комплекс и коэффициент тяги
2. Задачи и методы термодинамического расчета процессов в РД. Модель рабочего тела

Вариант 2

1. Основные характеристики двигателя: тяга двигателя, суммарный импульс и мощность, удельный импульс тяги, удельная масса
2. Основы расчета термодинамических параметров продуктов сгорания в камере двигателя и на срезе сопла

Контрольная работа 2

Вариант 1

1. Схема, состав и особенности рабочих процессов в двигательных установках с ЖРД, радиоизотопным РД и ядерным РД
2. Определить степень расширения диффузора, диаметр критического и выходного сечения конического сопла. Исходные данные:

Тяга в пустоте, кН $P_0=25$
 Давление в камере сгорания, МПа .. $p_k=5,7$
 Значение показателя адиабаты $k=1,17$
 Высота работы двигателя, км $h=75..90$

Вариант 2

1. Схема, состав и особенности рабочих процессов в двигательных установках с солнечным РД, резисторным электрическим РД и электродуговым электрическим РД.

2. Определить степень расширения диффузора, диаметр критического и выходного сечения конического сопла. Исходные данные:

Тяга в пустоте, кН $P_0=900$
Давление в камере сгорания, МПа .. $p_k=5,5$
Значение показателя адиабаты $k=1,19$
Высота работы двигателя, км $h=0..25$

3. Темы для самостоятельной работы

Варианты заданий для самостоятельной работы: поиск учебных пособий по данному материалу, подготовка презентации и доклада

1. Основные характеристики камеры и двигателя: тяга, удельный импульс тяги, суммарный импульс и мощность, расходный комплекс и характеристическая скорость, тяговый комплекс и коэффициент тяги, удельная масса.
2. Задачи и методы термодинамического расчета процессов в РД. Модель рабочего тела, модели процессов в камере сгорания. Термическая диссоциация продуктов сгорания.
3. Основы расчета термодинамических параметров продуктов сгорания в камере двигателя и на срезе сопла. Определение температуры в камере сгорания и на срезе сопла.
4. Высотная и дроссельная характеристики РД, нерасчетные режимы работы сопла. Основные законы газовой динамики применительно к одномерному стационарному процессу течения газа в камере сгорания.
5. Расчет периодов горения воспламенительного устройства РДТТ.
6. Период стабилизации давления в камере и период последствия тяги. Расчеты заряда с цилиндрической формой канала.
7. Особенности расчета и проектирования РДТТ при наличии конденсированной фазы в продуктах сгорания. Течение двухфазового потока в сопле и расчет выходных характеристик РДТТ на смесевом топливе.
8. Понятие термических РД, особенности. Основные характеристики химических топлив. Внутренняя энергия и энтальпия продуктов сгорания. Рабочий процесс в термическом двигателе.
9. Схема, состав и особенности рабочих процессов в двигательных установках с ЖРД, радиоизотопным РД, ядерным РД, солнечным РД, резисторным электрическим РД, электродуговым электрическим РД и РД на гибридном топливе.
10. Теплоотдача от продуктов сгорания к стенкам камеры и трение в ЖРД. Распределение плотности теплового потока и трения по тракту камеры. Основные способы защиты стенок камеры ЖРД: наружное, внутреннее и емкостное охлаждение.
11. Механизм теплообмена в РДТТ. Конвективный и лучистый теплообмен в РДТТ.
12. Температурное поле стенки РДТТ. Инженерные методы расчета нагрева однослойной стенки РДТТ. Расчет пассивного теплозащитного покрытия (ТЗП). Теплообмен между газом и стенкой двигателя при абляции. Расчет температурного поля активного ТЗП с внутренним уносом массы. Нагрев и эрозия сопла.
13. Механизм горения твердых ракетных топлив: двухосновные топлива; смесевые топлива; металлосодержащие смесевые топлива, агломерация и шлакообразование при их горении. Скорость горения твердого топлива, ее зависимость от основных факторов, горение в условиях перегрузок. Эрозионное горение. Воспламенение. Вибрационное горение.
14. Механизм горения гидрореагирующих топлив. Общая характеристика процесса. Структурная схема процессов в ЖРД. Принципы построения математической модели горения распыленного топлива.

4. Критерии формирования оценок на экзамене

Допущенным к экзамену считается обучающийся:

- имеющий конспект 100% лекций;
- выполнивший все практические задания;

- выполнивший все лабораторные задания;
- выполнивший все контрольные работы;
- получивший «удовлетворительно» и выше оценку на собеседовании;
- выполнивший презентацию и сделавший доклад о выполнении самостоятельной работы.

На экзамене студент вытягивает билет, в котором два вопроса и задача.

Критерии оценки экзамена:

- «**неудовлетворительно**» - студент не ответил ни на один вопрос и не решил задачу;
- «**удовлетворительно**» - студент решил задачу и ответил, неполно, не менее, чем на один вопрос;
- «**хорошо**» - студент решил задачу и развернуто и правильно ответил не менее, чем на один вопрос;
- «**отлично**» - студент решил задачу и развернуто и правильно ответил на оба вопроса.

5. Методика организации текущего контроля

Вид обучения	Номер контрольной точки (КТ)	Темы лекций, практические занятия, лабораторные работы рабочей программы, подлежащие контролю (номер из 4.1)			Форма и методы контроля КТ	Номер раздела РП с примерными заданиями	Максимальный балл по каждой форме контроля
		1	2	3			
1	2	3	4	5	6	7	8
Лекции	1А	*			Письм., контр. работа 1	6.1	15
	2А		*	*	Письм., контр. работа 2	6.1	15
Практические занятия	1А	*			Работа на занятиях Доп. вопросы Инд. защита отчета по практ.р.	6.1, 6.2	10
	2А		*	*	Работа на занятиях Доп. вопросы Инд. защита отчета по практ.р.	6.1, 6.2	10
	3А	*	*	*	Устно доп. вопросы	6.1, 6.2	5
Лабораторные занятия	1А	*			Работа на занятиях Инд. защита отчета по л/р Доп. вопросы	4.3, 6.2	10
	2А		*	*	Работа на занятиях Инд. защита отчетов по л/р	4.3, 6.2	10
	3А	*	*	*	Устно доп. вопросы	4.3, 6.2	5
Самостоятельная работа	1А	*			Задания к темам лекций, лабор. и практич. работам	4.1, 4.3, 6.1	5

Вид обучения	Номер контрольной точки (КТ)	Темы лекций, практические занятия, лабораторные работы рабочей программы, подлежащие контролю (номер из 4.1)			Форма и методы контроля КТ	Номер раздела РП с примерными заданиями	Максимальный балл по каждой форме контроля
		1	2	3			
1	2	3	4	5	6	7	8
	2А		*	*	Задания к темам лекций, лабор. и практич. работам	4.1, 4.3, 6.1	5
Посещение занятий	1А	*			9 неделя	–	5
	2А		*	*	в конце семестра	–	5
Экзамен	В конце семестра	*	*	*	собеседование	6.2	0/20
Всего баллов						100/120	

Обозначения, используемые в таблице:

1А, 2А, 3А – 1, 2, 3 контрольная точка (аттестация)