

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

\_\_\_\_\_  
 (подпись) **Левихин А.А.**  
 «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ

Направление/специальность подготовки	24.04.01 Ракетные комплексы и космонавтика
Специализация/профиль/программа подготовки	Проектирование и оценка эффективности зенитных ракетных комплексов
Уровень высшего образования	Магистратура
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
6	11	4	144	68	34	0	34	76	0	0	76	диф. зач.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)**

**24.04.01 Ракетные комплексы и космонавтика**

год набора группы: 2025

Программу составил:

Кафедра А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ  
Савельев Сергей Константинович, к.т.н., доцент, доцент

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ**

Заведующий кафедрой Бородавкин В.А., д.т.н., проф.

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ**

Заведующий кафедрой Бородавкин В.А., д.т.н., проф.

\_\_\_\_\_

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ**

### **Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### **Приложения к рабочей программе дисциплины**

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-9.5 — Способен вести поиск и внедрение перспективных технических решений и технологий при проектировании зенитных ракетных комплексов

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПК-9.5**

*знания:*

Текущего состояния ракетной техники;

*умения:*

Анализировать перспективы развития ракетной техники;

*навыки:*

Решения основных проектных задач по разработке конструкций ракетной техники.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *24.04.01 Ракетные комплексы и космонавтика*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АЭРОГИДРОМЕХАНИКИ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ ЗАЩИТЫ И ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ПК-9.5 — Способен вести поиск и внедрение перспективных технических решений и технологий при проектировании зенитных ракетных комплексов
- УК-1 — Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПК-9.5
6	11	<b>Раздел 1. Общее термодинамическое описание работы РДТТ.</b> Идеальный цикл РДТТ. Термический КПД. Скорость истечения. Тяга и удельные параметры двигателя.	4	2	2	0	2	11
6	11	<b>Раздел 2. Твердые ракетные топлива.</b> Влияние характеристик топлива на элементы РДТТ. Рациональный выбор топлива по удельному импульсу и плотности. Применение топлив переменного состава. Влияние параметров двигателя на характеристики ракеты. Виды и свойства топлив. Двухосновные топлива. Смесевые топлива. Пиротехнические составы. Технологии получения зарядов. Механические характеристики топлив. Требования, предъявляемые к твердым топливам. Основы термодинамического расчета параметров продуктов сгорания. Условная формула топлива. Энергетические характеристики ТТ. Теплота образования вещества. Закон Гесса. Скорость химической реакции, константы равновесия. Пример приближенного термодинамического расчета. Полная схема термодинамического расчета. Процесс горения в РДТТ. Общая схема горения ТТ. Горение двухосновных топлив. Особенности процессов горения смесевых топлив. Горение металлизированных топлив. Закон скорости горения ТТ. Линейная скорость горения топлива. Методы измерения линейной скорости горения. Влияние давления, начальной температуры заряда, скорости обдува поверхности, перегрузок и напряженно-деформированного состояния на скорость горения. Скорость горения в условиях динамического воздействия. Вопросы неустойчивости внутрикамерного процесса.	28	8	8	0	20	10
6	11	<b>Раздел 3. Заряды РДТТ и геометрическое проектирование зарядов РДТТ.</b> Требования к зарядам РДТТ. Основные формы зарядов РДТТ. Общая постановка задачи геометрического проектирования заряда. Методы анализа трансформации поверхности. Основные формы зарядов. Методы изменения локальной скорости горения.	24	12	2	10	12	12
6	11	<b>Раздел 4. Внутрибаллистический расчет РДТТ.</b> Расчет процесса воспламенения. Расчет периода спада давления в двигателе. Внутрибаллистический расчет в нульмерной постановке. Формула Бори. Расчет давления при использовании комбинированного заряда. Общая схема внутрибаллистического расчета РДТТ.	30	18	8	10	12	16
6	11	<b>Раздел 5. Газодинамика и теплообмен в РДТТ.</b> Общая система уравнений для внутрикамерного потока. Течение во внутрикамерном объеме. Течение в сопловом блоке. Общие понятия теории тепломассообмена. Критерияльные соотношения. Теплообмен на пластине. Теплообмен на аблирующей поверхности. Теплообмен теплопроводностью. Прогрев плоской стенки. Прогрев сферической частицы. Радиационный теплообмен. Теплообмен при конвекции. Теплообмен при выпадении конденсированных продуктов сгорания.	28	18	4	14	10	9
6	11	<b>Раздел 6. Тепловая защита РДТТ.</b> Основные классы теплозащитных материалов. Работа теплозащитных материалов в продуктах сгорания ТРТ. Методы расчета уноса ТЗМ. Модель разрушения материалов с прочным коксом.	12	4	4	0	8	15
6	11	<b>Раздел 7. Регулирование вектора тяги и давления в РДТТ.</b> Прерывание горения заряда. Методы изменения скорости горения. Управление направлением вектора тяги.	6	2	2	0	4	11
6	11	<b>Раздел 8. Конструкция и проектирование сопловых блоков.</b> Анализ вклада различных частей сопла Лавала в формирование тяги. Проектирование дозвуковой части. Конструктивные решения критического сечения. Проектирование сверхзвуковой части сопла. Типовые схемы конструктивных решений для сопловых блоков.	6	2	2	0	4	10
6	11	<b>Раздел 9. Испытания РДТТ.</b> Типы испытаний. Типы стендов для огневых стендовых испытаний. Измерение тяги. Измерение давления. Измерение скорости горения. Испытания теплозащитных покрытий.	6	2	2	0	4	6
Всего за 11 семестр			144	68	34	34	76	100
Всего по дисциплине			144	68	34	34	76	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 3. Заряды РДТТ и геометрическое проектирование зарядов РДТТ.	Анализ конструкции двигателя. Построение 3D модели двигателя и заряда	4
2		Построение зависимости площади поверхности от толщины сгоревшего свода.	4
3		Расчет изменения масс-центровочных характеристик заряда и двигателя от толщины сгоревшего свода	2
4	Раздел 4. Внутрибаллистический расчет РДТТ.	Анализ работы двигателя при автономном горении воспламенителя. Анализ процесса горения до момента разрыва мембраны.	4
5		Анализ изменения давления на основном режиме работы двигателя. Расчет изменения давления на спаде работы	4

		двигателя.	
6		Анализ изменения давления по тракту соплового блока. Построение зависимостей для внутрикамерного давления и тяги двигателя от времени	2
7	Раздел 5. Газодинамика и теплообмен в РДТТ.	Анализ поля течения в районе переднего днища двигателя. Анализ поля течения и тепловых потоков вдоль камеры сгорания двигателя	2
8		Анализ течения и теплообмена на сопловой крышке.	2
9		Анализ течения и теплообмена по тракту соплового блока	6
10		Анализ радиационных тепловых потоков. Выбор теплозащитных материалов и оценка их потребных толщин	4
Всего за 11 семестр			34

### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Общее термодинамическое описание работы РДТТ.	изучение основной и дополнительной литературы	1
2		изучение лекционного материала	1
3	Раздел 2. Твердые ракетные топлива.	изучение лекционного материала	10
4		изучение основной и дополнительной литературы	10
5	Раздел 3. Заряды РДТТ и геометрическое проектирование зарядов РДТТ.	изучение лекционного материала	2
6		изучение основной и дополнительной литературы	2
7		подготовка к практическим занятиям по тематике раздела оформление отчета по тематике практического занятия	8
8	Раздел 4. Внутрибаллистический расчет РДТТ.	изучение основной и дополнительной литературы	3
9		подготовка к практическим занятиям по тематике раздела оформление отчета по тематике практического занятия	6
10		изучение лекционного материала	3
11	Раздел 5. Газодинамика и теплообмен в РДТТ.	изучение лекционного материала	2
12		изучение основной и дополнительной литературы	2
13		подготовка к практическим занятиям по тематике раздела оформление отчета по тематике практического занятия	6
14	Раздел 6. Тепловая защита РДТТ.	изучение лекционного материала	4
15		изучение основной и дополнительной литературы	4
16	Раздел 7. Регулирование вектора тяги и давления в РДТТ.	изучение лекционного материала	2
17		изучение основной и дополнительной литературы	2
18	Раздел 8. Конструкция и проектирование сопловых блоков.	изучение лекционного материала	2
19		изучение основной и дополнительной литературы	2
20	Раздел 9. Испытания РДТТ.	изучение лекционного материала	2
21		изучение основной и дополнительной литературы	2
Всего за 11 семестр			76

## 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
11			ВРЗД		ТекК	ДР			ТекК	ДР	Отч. по ПЗ		Отч. по ПЗ		ТекК	ДР	диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ВРЗД – вопросы по разделу;

- ТекК – вопросы для текущего контроля;
- Отч. по ПЗ – отчет по практическому заданию;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы по разделу;
- вопросы для текущего контроля;
- отчет по практическому заданию.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. В. П. Белов. . Тепловое проектирование ракетных двигателей. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, 44 экз.
2. В. П. Белов. . Сопловые блоки ракетных двигателей. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019, 61 экз.
3. Ю. С. Соломонов, А. М. Липанов, А. В. Алиев. . Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки. М.: Машиностроение, 2011, эл. рес.
4. Ю. С. Соломонов, А. М. Липанов, А. В. Алиев. . Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки. М.: Машиностроение, 2011, 18 экз.
5. Я. М. Шапиро, Г. Ю. Мазинг, М. Е. Прудников. . Основы проектирования ракет на твёрдом топливе. М.: Воениздат, 1968, 114 экз.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

не требуются.

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <https://repository.library.voenmeh.ru/jspui/> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
2. <https://e.lanbook.com/> — ЭБС Лань;
3. <https://urait.ru/> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов.;
4. <http://www.tnt-ebook.ru/> — TNT-EBOOK - Электронно-библиотечная система.

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
- <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

### Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

### 5.5. Программное обеспечение:

1. Mathcad Education - University Edition Term;
2. Matlab 2015a SP1.

### 5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Лекционные занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.2. Практические занятия:**

1. Mathcad Education - University Edition Term;
2. Matlab 2015a SP1.

### **6.3. Прочее:**

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### Аннотация рабочей программы

Дисциплина **ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *24.04.01 Ракетные комплексы и космонавтика*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:  
ПК-9.5 Способен вести поиск и внедрение перспективных технических решений и технологий при проектировании зенитных ракетных комплексов.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с моделированием, проектированием и испытанием энергоустановок на твердом топливе для ракет и прочих применений.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы по разделу;
- вопросы для текущего контроля;
- отчет по практическому заданию.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **4 з.е., 144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**76 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 76 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
Раздел 1. Общее термодинамическое описание работы РДТТ.		
изучение основной и дополнительной литературы	Ю. С. Соломонов, А. М. Липанов, А. В. Алиев. . Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: М.: Машиностроение, 2011 (1)	1
изучение лекционного материала		1
Итого по разделу 1		2
Раздел 2. Твердые ракетные топлива.		
изучение лекционного материала	Ю. С Соломонов, А. М. Липанов, А. В. Алиев. . Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: М.: Машиностроение, 2011 (2,3)	10
изучение основной и дополнительной литературы		10
Итого по разделу 2		20
Раздел 3. Заряды РДТТ и геометрическое проектирование зарядов РДТТ.		
изучение лекционного материала	Ю. С Соломонов, А. М. Липанов, А. В. Алиев. . Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: М.: Машиностроение, 2011 (4)	2
изучение основной и дополнительной литературы		2
подготовка к практическим занятиям по тематике раздела оформление отчета по тематике практического занятия		8
Итого по разделу 3		12
Раздел 4. Внутрибаллистический расчет РДТТ.		
изучение основной и дополнительной литературы	Ю. С Соломонов, А. М. Липанов, А. В. Алиев. . Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: М.: Машиностроение, 2011 (5)	3
подготовка к практическим занятиям по тематике раздела оформление отчета по тематике практического занятия		6
изучение лекционного материала		3
Итого по разделу 4		12
Раздел 5. Газодинамика и теплообмен в РДТТ.		
изучение лекционного материала	Я. М. Шапиро, Г. Ю. Мазинг, М. Е. Прудников. . Основы проектирования ракет на твёрдом топливе: М.: Воениздат, 1968 (3) В. П. Белов. . Тепловое проектирование ракетных двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (2)	2
изучение основной и дополнительной литературы		2
подготовка к практическим занятиям по тематике раздела оформление отчета по тематике практического занятия		6
Итого по разделу 5		10
Раздел 6. Тепловая защита РДТТ.		

изучение лекционного материала	В. П. Белов. . Тепловое проектирование ракетных двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (3-7)	4
изучение основной и дополнительной литературы		4
Итого по разделу 6		8
Раздел 7. Регулирование вектора тяги и давления в РДТТ.		
изучение лекционного материала	В. П. Белов. . Сопловые блоки ракетных двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (1-6)	2
изучение основной и дополнительной литературы		2
Итого по разделу 7		4
Раздел 8. Конструкция и проектирование сопловых блоков.		
изучение лекционного материала	Ю. С Соломонов, А. М. Липанов, А. В. Алиев. . Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: М.: Машиностроение, 2011 (6)	2
изучение основной и дополнительной литературы		2
Итого по разделу 8		4
Раздел 9. Испытания РДТТ.		
изучение лекционного материала	Ю. С Соломонов, А. М. Липанов, А. В. Алиев. . Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: М.: Машиностроение, 2011 (8)	2
изучение основной и дополнительной литературы		2
Итого по разделу 9		4

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- вопросы по разделу;
- вопросы для текущего контроля;
- отчет по практическому заданию;
- дифференцированный зачет.

### Критерии оценивания

#### Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

#### Вопросы по разделу

Критерии оценивания

Ответ на каждый вопрос оценивается по бинарной шкале;

- зачтено выставляется при безукоризненном ответе на вопросы билета и, в обязательном порядке, на дополнительные вопросы. Причем ответы на дополнительные вопросы даются без предварительной подготовки, правильные, но недостаточно полные и четкие ответы на поставленные преподавателем вопросы, при грамотном представлении материала ;  
- неправильные и неполные ответы на все поставленные преподавателем вопросы при технически неграмотном изложении – не зачтено.

Примеры вопросов по разделу:

1. Назовите основные формы зарядов РДТТ?
2. Каковы достоинства и недостатки зарядов, скрепленных с корпусом двигателя?
3. Какие методы используются для геометрического проектирования зарядов РДТТ?
4. Каковы области применения щелевых зарядов?
5. Что такое «толщина сгоревшего свода»?
6. Как рассчитываются массово-центровочные характеристики?
7. Чем определяется общая продолжительность работы двигателя?
8. Какое соотношение обеспечивает возможность оценки давления на квазистационарном режиме работы?
9. Как рассчитать диаграмму тяги при известной диаграмме внутрикамерного давления?
10. Какими основными параметрами определяется уровень внутрикамерного давления на стационарном режиме работы?
11. Как оценить диаграмму спада давления после завершения работы двигателя?

#### Вопросы для текущего контроля

1. Каков уровень теплового воздействия потока на элементы конструкции РДТТ?
2. В каких элементах конструкции используются теплозащитные материалы с непрочным коксом?
3. В каких элементах конструкции двигателя используются материалы с прочным коксом?
4. Какие основные факторы определяют разрушение ТЗМ во внутрикамерном объеме РДТТ?
5. Как рассчитать интенсивность теплового воздействия в критическом сечении сопла?
6. Какие материалы следует использовать для оформления критического сечения соплового блока РДТТ?
7. В каких зонах РДТТ может наблюдаться повышенное термо-химическое воздействие присутствия конденсированной фазы в продуктах сгорания?

Ответ на каждый вопрос оценивается по бинарной шкале:

• зачтено выставляется при безукоризненном ответе на вопросы билета и, в обязательном порядке, на дополнительные вопросы. Причем ответы на дополнительные вопросы даются без предварительной подготовки, правильные, но недостаточно полные и четкие ответы на поставленные преподавателем вопросы, при грамотном представлении материала;

- неправильные и неполные ответы на все поставленные преподавателем вопросы при технически неграмотном изложении – не зачтено.

### **Отчет по практическому заданию**

Отчет по практической работе представляется в печатном виде в формате, предусмотренном шаблоном отчета по практическому занятию. Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

Критерии оценивания: в случае если оформление отчета, доклад студента по выполненной работе и ответы на вопросы преподавателя во время защиты соответствуют требованиям, предъявляемым к знаниям студента по данному практическому занятию, отчет по практическому занятию считается принятым.

Основаниями для дополнительной доработки отчета являются:

- небрежное выполнение,
- низкое качество графического материала (неверный выбор масштаба чертежей, отсутствие указания единиц измерения на графиках).

Отчет не может быть принят и подлежит доработке в случае:

- отсутствия необходимых разделов,
- отсутствия необходимого графического материала,
- некорректной обработки результатов.

Перечень практических заданий:

Практическая работа № 1.

Расчет изменения геометрии заряда РДТТ в процессе работы.

В отчете необходимо представить:

1. постановку задачи.
2. математическую модель.
3. краткую характеристику исследуемых методов
4. анализ полученных результатов и соответствующие выводы.
5. распечатку полученных результатов.

Практическая работа № 2.

Расчет внутрибаллистических характеристик.

В отчете необходимо представить:

1. постановку задачи.
2. математическую модель.
3. краткую характеристику исследуемых методов
4. анализ полученных результатов и соответствующие выводы.
5. распечатку полученных результатов.
6. сопоставить результаты прогноза по различным методикам;

Практическая работа № 3.

Тепловой расчет РДТТ.

В отчете необходимо представить:

1. постановку задачи.
2. математическую модель.
3. краткую характеристику исследуемых методов
4. анализ полученных результатов и соответствующие выводы.
5. распечатку полученных результатов.

### **Дифференцированный зачет**

Допуском к сдаче зачета является выполнение всех контрольных мероприятий, предусмотренных рабочей программой дисциплины в 7 семестре.

Дифференциальный зачет проходит в форме устных ответов на теоретические вопросы к зачету.

Обучающемуся задается два основных вопроса и возможны дополнительные.

Критерии оценивания

Ответ на каждый вопрос и по билету в целом оценивается зачтено\незачтено;

- оценка "зачтено-отлично" выставляется при безукоризненном ответе на два основных вопроса, а так же, если даны недостаточно полные и четкие ответы на основные вопросы, но на дополнительные вопросы даны полные ответы;

- "зачтено-хорошо" выставляется при хорошем ответе на основные вопросы и уверенной ориентации при ответе на дополнительные вопросы;

- "зачтено-удовлетворительно" при неполном ответе на два основных вопроса;

- оценка "не зачтено" даны неправильные и неполные ответы на все поставленные преподавателем вопросы.

Перечень вопросов к зачету входит в состав УМК дисциплины.

Вопросы к зачету:

1. КПД ракетного двигателя.
2. Влияние конструктивных особенностей РДТТ на характеристики ЛА
3. Удельные характеристики РДТТ.
4. Оптимизация РДТТ на основе использования нескольких топлив.
5. Основные схемы конструкций РДТТ
6. Основные формы зарядов РДТТ
7. Типы твердых ракетных топлив и области их применения.
8. Характеристики двухосновных ТРТ.
9. Составы и характеристики смесевых ТРТ
10. Что такое теплота образования вещества
11. Условная формула топлива
12. Общая схема термодинамического расчета
13. Определение состава продуктов сгорания
14. Как изменяется состав продуктов сгорания при перемещении по тракту двигателя и в сопле
15. Как определить характеристики продуктов сгорания?
16. Каковы основные отличия в процессах горения двухосновных и смесевых ТРТ?
17. От чего зависит состав конденсированных продуктов сгорания?
18. Какие физические процессы сопровождают сгорание металлического горючего?
19. Какие преимущества обеспечивает использование металлического горючего и какие проблемы создает его использование?
20. Какие факторы определяют интенсивность выноса конденсированных продуктов сгорания на элементы конструкции двигателя?
21. Область применения и идея геометрического расчета щелевого заряда.
22. Область применения и идея геометрического расчета звездчатого заряда
23. Область применения и идея геометрического расчета зонтичного заряда
24. Методы расчета изменения геометрии заряда РДТТ
25. Формула Бори
26. Как рассчитать работу двигателя на спаде давления?
27. Расчет внутрикамерного давления при автономном горении воспламенителя
28. Расчет внутрикамерного давления при совместном горении воспламенителя и заряда
29. Общая схема расчета внутрикамерного давления в предположении постоянства температуры продуктов сгорания
30. Общая схема расчета внутрикамерного давления в предположении с учетом изменения температуры продуктов сгорания при изменении давления
31. Анализ устойчивости работы РДТТ
32. Влияние начальной температуры заряда внутрикамерное давление
33. Способы контроля за поддержанием заданной кривой давления при изменении внешних параметров среды
34. Регулирование скорости горения.
35. Особенности горения ТРТ на нестационарных режимах.
36. Методы, используемые для геометрического проектирования зарядов РДТТ.
37. Теплообмен на переднем днище двигателя.
38. Теплообмен в сопловом блоке РДТТ
39. Расчет радиационных тепловых потоков в РДТТ
40. Расчет тепловых полей в элементах конструкции РДТТ
41. Материалы, используемые для изготовления РДТТ
42. Использование ТЗМ с непрочным коксом в РДТТ
43. Использование ТЗМ с прочным коксом в РДТТ
44. Особенности теплообмена и разрушения ТЗП, обусловленные воздействием конденсированных продуктов сгорания.
45. Методы и стенды для определения тяговых характеристик РДТТ
46. Методы контроля давления в РДТТ
47. Методы определения скорости горения и исследования процессов горения ТРТ
48. Управление вектором тяги РДТТ
49. Потери единичного импульса РДТТ.
50. Тяга двигателя, методы ее расчета и измерения

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПК-9.5	
6	11	Раздел 1. Общее термодинамическое описание работы РДТТ.	4	2	2	0	2	11	Вопросы по разделу
6	11	Раздел 2. Твердые ракетные топлива.	28	8	8	0	20	10	Вопросы для текущего контроля
6	11	Раздел 3. Заряды РДТТ и геометрическое проектирование зарядов РДТТ.	24	12	2	10	12	12	Отчет по практическому заданию
6	11	Раздел 4. Внутрибаллистический расчет РДТТ.	30	18	8	10	12	16	Отчет по практическому заданию
6	11	Раздел 5. Газодинамика и теплообмен в РДТТ.	28	18	4	14	10	9	Отчет по практическому заданию
6	11	Раздел 6. Тепловая защита РДТТ.	12	4	4	0	8	15	Вопросы для текущего контроля
6	11	Раздел 7. Регулирование вектора тяги и давления в РДТТ.	6	2	2	0	4	11	Вопросы для текущего контроля
6	11	Раздел 8. Конструкция и проектирование сопловых блоков.	6	2	2	0	4	10	Вопросы для текущего контроля
6	11	Раздел 9. Испытания РДТТ.	6	2	2	0	4	6	Вопросы для текущего контроля
Всего за 11 семестр			144	68	34	34	76	100	
Всего по дисциплине			144	68	34	34	76	100	

**ПК-9.5 - Способен вести поиск и внедрение перспективных технических решений и технологий при проектировании зенитных ракетных комплексов**

- № 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Теплообмен в ДУ определяется тремя процессами: конвекцией, переносом к-фазы, радиационным обменом. В чем различие по этим процессам в условиях внутрикамерных и в сверхзвуковой части сопла?
- № 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Спроектированный двигатель решили увеличить в два раза (по диаметру) с сохранением подобия конструкции. Можно ли ожидать, что условия по теплообмену сохранятся неизменными?
- № 3 Прочитайте текст и установите соответствие  
Перед Вами расположено несколько двигателей. Зная тип двигателя, необходимо определить его назначение. К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца.

Тип двигателя	Назначение
1. Маршевый РДТТ	А. РДТТ, предназначенный для управления вектором скорости перемещаемого аппарата на активном участке траектории движения
2. Рулевой РДТТ	Б. РДТТ, предназначенный для уменьшения скорости перемещаемого аппарата
3. Тормозной РДТТ	В. РДТТ, предназначенный для изменения скорости при коррекции траектории движения перемещаемого аппарата на пассивном участке
	Г. РДТТ предназначенный для ускорения перемещаемого аппарата

- № 4 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Изменение какого из перечисленных факторов не повлияет на тягу ракетного двигателя
1. Диаметр критического сечения сопла
  2. Диаметр выходного сечения сопла
  3. Калибр двигателя
  4. Начальная температура заряда двигателя
- № 5 Прочитайте текст и установите соответствие  
Перед вами список типов ТЗМ и возможных областей их применения. Установите соответствие.

ТЗМ	Зона применения
1. Резины	А. Критическое сечение
2. Углерод-углеродные	Б. внутрикамерная поверхность
3. Фенольные асбопластики	В. Сверхзвуковой раструб сопла
4. Стеклопластики	

- № 6 Прочитайте текст и установите последовательность расчета толщины ТЗП
1. Расчет слоя на завершение работы двигателя
  2. Расчет толщины унесенного слоя
  3. Определение интенсивности теплового воздействия

4. Расчет прогрева до начала деструкции
- № 7 Прочитайте текст и установите последовательность проектирования РДТТ
  1. Расчет газодинамики тракта ДУ
  2. Расчет теплозащитного покрытия
  3. Геометрическое проектирование заряда
  4. Расчет внутрибаллистических характеристик
- № 8 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
 К чему не приведет реализация процесса эрозионного раздувания поверхности горения заряда двигателя:
  1. Увеличению температуры продуктов сгорания
  2. Прогару стенок камеры сгорания двигателя
  3. Не скажется на работе двигателя
  4. Увеличению газо прихода от заряда топлива
- № 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
 Вдув газа в закритическую часть соплового блока используется как средство
  1. Управления вектором тяги по направлению
  2. Управления вектором тяги по модулю
  3. Для охлаждения соплового блока
  4. Для увеличения прозрачности струи двигателя
- № 10 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
 При каком отношении давлений на срезе сопла и в камере сгорания будет обеспечиваться оптимальное функционирование сопла по созданию тяги
  1. 1
  2.  $<1$
  3.  $>1$
  4. Не имеет значения двигателя
- № 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
 Что из перечисленного не соответствует Вдуву газа в закритическую часть соплового блока
  1. Управления вектором тяги по направлению
  2. Управления вектором тяги по модулю
  3. Для охлаждения соплового блока
  4. Для увеличения прозрачности струи двигателя
- № 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
 Что из перечисленного не выполняется для Смесевых твердых ракетных топлив
  1. Механическая смесь некоторых компонентов способных при определенных условиях к устойчивому горению

2. Твердый раствор друг в друге окисляющих и горючих компонентов
3. Смесь жидких и твердых компонентов
4. Смесь жидких, твердых и газообразных компонентов