


**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»  
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

  
(подпись) Юнаков Л. П.  
« 31 » 05 2022 ФИО

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ

Направление/специальность подготовки	24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов
Специализация/профиль/программа подготовки	Моделирование и информационные технологии проектирования ракетно-космических систем
Уровень высшего образования	Специалитет
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	
4	7	3	108	34	34	0	0	74	0	0	74	зач.
4	8	4	144	68	34	0	34	76	0	0	76	экз.
ВСЕГО		7	252	102	68	0	34	150	0	0	150	

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов

год набора группы: 2022

Программу составил:

Кафедра А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ

Савельев Сергей Константинович, к.т.н., доцент



Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы **А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ**



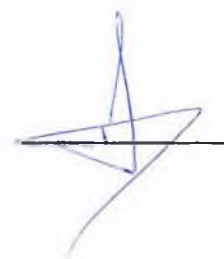
Заведующий кафедрой Бородавкин В.А., д.т.н., проф.

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:

ПСК-11 — способность анализировать состояние и перспективы развития ракетной и ракетно-космической техники в целом, так и ее отдельных направлений

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### ***ПСК-11***

*знания:*

основных методов оценивания состояния ракетной техники в части двигательных установок;

*умения:*

выполнять анализ функционирования двигательных установок ракетных систем;

*навыки:*

выполнения расчетов параметров двигательных установок ракетных систем.

## 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 *24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ИНЖЕНЕРНАЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА**.

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:

- ОПК-2 — Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их при решении задач профессиональной деятельности

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 з.е., 252 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		ПСК-11
4	7	<b>Раздел 1. Общее термодинамическое описание работы РДТТ.</b> Идеальный цикл РДТТ. Термический КПД. Скорость истечения. Тяга и удельные параметры двигателя.	8	4	4	0	4	6
4	7	<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.	26	10	10	0	16	18
4	7	<b>Раздел 3. Основы термодинамического расчета параметров продуктов сгорания.</b> Условная формула топлива. Энергетические характеристики ТТ. Теплота образования вещества. Закон Гесса. Скорость химической реакции, константы равновесия. Пример приближенного термодинамического расчета. Полная схема термодинамического расчета.	11	4	4	0	7	6
4	7	<b>Раздел 4. Закон скорости горения ТТ.</b> 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.	9	2	2	0	7	6
4	7	<b>Раздел 5. 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.	26	6	6	0	20	6
4	7	<b>Раздел 6. Внутрибаллистический расчет РДТТ.</b> Расчет процесса воспламенения. Расчет периода спада давления в двигателе. Внутрибаллистический расчет в нулевой постановке. Формула Бори. Расчет давления при использовании комбинированного заряда. Общая схема внутрибаллистического расчета РДТТ.	28	8	8	0	20	8
<b>Всего за 7 семестр</b>			108	34	34	0	74	50
4	8	<b>Раздел 7. Газодинамика и теплообмен в РДТТ.</b> Общая система уравнений для внутрикамерного потока. Течение во внутрикамерном объеме. Течение в сопловом блоке. Общие понятия теории теплообмена. Критериальные 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.	48	30	10	20	18	12
4	8	<b>Раздел 8. 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.	44	24	12	12	20	10
4	8	<b>Раздел 9. Регулирование вектора тяги и давления в РДТТ.</b> Прерывание горения заряда. Методы изменения скорости горения. Управление направлением вектора тяги.	14	4	4	0	10	15
4	8	<b>Раздел 10. Прочностные расчеты при проектировании РДТТ.</b> Особенности прочностного расчета заряда. Особенности прочностного расчета корпуса и днищ двигателя.	20	6	4	2	14	6
4	8	<b>Раздел 11. Испытания РДТТ.</b> Типы испытаний. Типы стендов для огневых стендовых испытаний. Измерение тяги. Измерение давления. Измерение скорости горения. Испытания теплозащитных покрытий.	18	4	4	0	14	7
<b>Всего за 8 семестр</b>			144	68	34	34	76	50
<b>Всего по дисциплине</b>			252	102	68	34	150	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
<b>Всего за 7 семестр</b>			<b>0</b>
1	Раздел 7. Газодинамика и теплообмен в РДТТ.	Геометрическое проектирование заряда РДТТ. Выбор топлива и определение внутрикамерного давления.	20
2	Раздел 8. Тепловая защита РДТТ.	Определение параметров теплового воздействия на элементы конструкции. Выбор теплозащитных материалов и расчет их	12

		уноса в процессе работы ДУ.	
3	Раздел 10. Прочностные расчеты при проектировании РДТТ.	Прочностной анализ элементов конструкции двигателя	2
<b>Всего за 8 семестр</b>			<b>34</b>

### 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 лекционного материала	2
2		изучение основной и дополнительной литературы	2
3	Раздел 2. Твердые ракетные топлива.	изучение лекционного материала	6
4		изучение основной и дополнительной литературы	10
5	Раздел 3. Основы термодинамического расчета параметров продуктов сгорания.	Изучение лекционного материала	4
6		Изучение дополнительной литературы	3
7	Раздел 4. Закон скорости горения ТТ.	Изучение дополнительной литературы	3
8		Изучение лекционного материала	4
9	Раздел 5. Заряды РДТТ и геометрическое проектирование зарядов РДТТ.	изучение основной и дополнительной литературы	10
10		изучение лекционного материала	10
11	Раздел 6. Внутрибаллистический расчет РДТТ.	изучение лекционного материала	10
12		изучение основной и дополнительной литературы	10
Всего за 7 семестр			74
13	Раздел 7. Газодинамика и теплообмен в РДТТ.	изучение лекционного материала	5
14		изучение основной и дополнительной литературы	8
15		подготовка к практическим занятиям по тематике раздела оформление отчета по тематике практического занятия	5
16	Раздел 8. Тепловая защита РДТТ.	изучение лекционного материала	6
17		изучение основной и дополнительной литературы	4
18		подготовка к практическим занятиям по тематике раздела оформление отчета по тематике практического занятия	10
19	Раздел 9. Регулирование вектора тяги и давления в РДТТ.	изучение основной и дополнительной литературы	4
20		изучение лекционного материала	6
21	Раздел 10. Прочностные расчеты при проектировании РДТТ.	Изучение лекционного материала	6
22		Подготовка к практическим занятиям	2
23		Изучение основной и дополнительной литературы	6
24	Раздел 11. Испытания РДТТ.	изучение лекционного материала	7
25		изучение основной и дополнительной литературы	7
Всего за 8 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
7						ДР				ДР						ДР	зач.
8						ДР	Отч. по ПЗ			ДР	Отч. по ПЗ				Отч. по ПЗ	ДР	

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Отч. по ПЗ – отчет по практическому заданию;
- ТекК – вопросы для текущего контроля;
- зач. – зачет.

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

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

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- зачет;
- экзамен.



## 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. Проектирование элементов конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2012, 80 экз.
3. Ю. С Соломонов, А. М. Липанов, А. В. Алиев. . Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки. Москва: Машиностроение, 2011, эл. рес.
4. Ю. С Соломонов, А. М. Липанов, А. В. Алиев. . Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки. М.: Машиностроение, 2011, эл. рес.
5. Ю. С. Соломонов, А. М. Липанов, А. В. Алиев. . Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки. М.: Машиностроение, 2011, эл. рес.
6. Ю. С. Соломонов, А. М. Липанов, А. В. Алиев. . Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки. М.: Машиностроение, 2011, 18 экз.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

1. Вестник воздушно-космической обороны.

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

1. <http://library.voenmeh.ru/jirbis2> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
2. <http://www.tnt-ebook.ru/> — TNT-EBOOK - Электронно-библиотечная система;
3. <https://repository.library.voenmeh.ru/jsrui/> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
4. <https://e.lanbook.com/> — ЭБС Лань.

### 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. КОМПАС-3D V17;
2. PROView 32; 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. Проектор;
2. Интерактивная доска;
3. КОМПАС-3D V17;
4. PROView 32; 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 *24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:  
ПСК-11 способность анализировать состояние и перспективы развития ракетной и ракетно-космической техники в целом, так и ее отдельных направлений.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с моделированием, проектированием расчетом и испытанием энергоустановок на твердом топливе.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

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

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- зачет;
- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 7 з.е., 252 ч. Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (68 ч.), практические занятия (34 ч.), самостоятельная работа студента (150 ч).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 252 ч., из них 102 ч. аудиторных занятий, и 150 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 лекционного материала	Ю. С. Соломонов, А. М. Липанов, А. В. Алиев. . Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: М.: Машиностроение, 2011 (1)	2
изучение основной и дополнительной литературы		2
Итого по разделу 1		4
Раздел 2. Твердые ракетные топлива.		
изучение лекционного материала	В. П. Белов. Проектирование элементов конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2012 (1,2)	6
изучение основной и дополнительной литературы		10
Итого по разделу 2		16
Раздел 3. Основы термодинамического расчета параметров продуктов сгорания.		
Изучение лекционного материала	Ю. С. Соломонов, А. М. Липанов, А. В. Алиев. . Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: М.: Машиностроение, 2011 (4)	4
Изучение дополнительной литературы		3
Итого по разделу 3		7
Раздел 4. Закон скорости горения ТТ.		
Изучение дополнительной литературы	Ю. С Соломонов, А. М. Липанов, А. В. Алиев. . Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: М.: Машиностроение, 2011 (3)	3
Изучение лекционного материала		4
Итого по разделу 4		7
Раздел 5. Заряды РДТТ и геометрическое проектирование зарядов РДТТ.		
изучение основной и дополнительной литературы	Ю. С. Соломонов, А. М. Липанов, А. В. Алиев. . Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: М.: Машиностроение, 2011 (2)	10
изучение лекционного материала		10
Итого по разделу 5		20
Раздел 6. Внутрибаллистический расчет РДТТ.		
изучение лекционного материала	Ю. С. Соломонов, А. М. Липанов, А. В. Алиев. . Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: М.: Машиностроение, 2011 (3) В. П. Белов. . Тепловое проектирование ракетных двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (4)	10
изучение основной и дополнительной литературы		10
Итого по разделу 6		20
Раздел 7. Газодинамика и теплообмен в РДТТ.		
изучение лекционного материала	В. П. Белов. . Тепловое проектирование ракетных двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (2-4)	5
изучение основной и дополнительной литературы		8

подготовка к практическим занятиям по тематике раздела оформлнение отчета по тематике практического занятия		5
Итого по разделу 7		18
Раздел 8. Тепловая защита РДТТ.		
изучение лекционного материала	В. П. Белов. . Тепловое проектирование ракетных двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (6)	6
изучение основной и дополнительной литературы		4
подготовка к практическим занятиям по тематике раздела оформлнение отчета по тематике практического занятия		10
Итого по разделу 8		20
Раздел 9. Регулирование вектора тяги и давления в РДТТ.		
изучение основной и дополнительной литературы	Ю. С. Соломонов, А. М. Липанов, А. В. Алиев. . Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: М.: Машиностроение, 2011 (5)	4
изучение лекционного материала		6
Итого по разделу 9		10
Раздел 10. Прочностные расчеты при проектировании РДТТ.		
Изучение лекционного материала	Ю. С Соломонов, А. М. Липанов, А. В. Алиев. . Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: Москва: Машиностроение, 2011 (7)	6
Подготовка к практическим занятиям		2
Изучение основной и дополнительной литературы		6
Итого по разделу 10		14
Раздел 11. Испытания РДТТ.		
изучение лекционного материала	Ю. С. Соломонов, А. М. Липанов, А. В. Алиев. . Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: М.: Машиностроение, 2011 (9)	7
изучение основной и дополнительной литературы		7
Итого по разделу 11		14

## ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

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

### 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 для текущего контроля

Проверяется усвоение учебного лекционного материала соответствующих разделов программы дисциплины.

Критерии оценивания.

Ответ на каждый вопрос оценивается по бинарной шкале;

- зачтено выставляется при безукоризненном ответе на вопросы по соответствующему разделам 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.

Вопросы для текущего контроля:

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

### 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.

#### 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.

Контрольные вопросы.

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?

#### 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;

Контрольные вопросы.

1. Чем определяется общая продолжительность работы двигателя?
2. Какое соотношение обеспечивает возможность оценки давления на квазистационарном режиме работы?
3. Как рассчитать диаграмму тяги при известной диаграмме внутрикамерного давления?
4. Какими основными параметрами определяется уровень внутрикамерного давления на стационарном режиме работы?
5. Как оценить диаграмму спада давления после завершения работы двигателя?

#### 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.
6. обосновать выбор оптимальной регрессионной модели;

Контрольные вопросы.

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?

### **Зачет**

Обучающийся имеет право на получение минимальной положительной оценки при условии успешного прохождения текущего контроля успеваемости в форме диагностической работы в соответствии с графиком раздела 4.

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

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" 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;

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

Перечень вопросов к зачету входит в состав УМК дисциплины.

### **Экзамен**

Обучающийся имеет право на получение минимальной положительной оценки при условии успешного прохождения текущего контроля успеваемости в форме диагностической работы в соответствии с графиком раздела 4.

Допуском к экзамену является выполнение всех контрольных мероприятий, предусмотренных рабочей программой дисциплины в 8 семестре.

Экзамен проходит в форме устных ответов на вопросы экзаменационного билета; каждый билет содержит два вопроса из приведённого ниже перечня.

Критерии оценивания

Ответ на каждый вопрос и по билету в целом оценивается по пятибалльной шкале;

- отличная оценка 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 – «хорошо»;

- удовлетворительная оценка может быть выставлена и при ответе только на первый вопрос, на усмотрение преподавателя, с учетом работы студента в семестре.

- неправильные и неполные ответы на все поставленные преподавателем вопросы при технически неграмотном изложении – «неудовлетворительно».

Вопросы к экзамену:

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

Паспорт фонда оценочных средств

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		ПСК-11	
4	7	Раздел 1. Общее термодинамическое описание работы РДТТ.	8	4	4	0	4	6	Вопросы для текущего контроля
4	7	Раздел 2. Твердые ракетные топлива.	26	10	10	0	16	18	Вопросы для текущего контроля
4	7	Раздел 3. Основы термодинамического расчета параметров продуктов сгорания.	11	4	4	0	7	6	Вопросы для текущего контроля
4	7	Раздел 4. Закон скорости горения ТТ.	9	2	2	0	7	6	Вопросы для текущего контроля
4	7	Раздел 5. Заряды РДТТ и геометрическое проектирование зарядов РДТТ.	26	6	6	0	20	6	Вопросы для текущего контроля
4	7	Раздел 6. Внутрибаллистический расчет РДТТ.	28	8	8	0	20	8	Вопросы для текущего контроля
Всего за 7 семестр			108	34	34	0	74	50	
4	8	Раздел 7. Газодинамика и теплообмен в РДТТ.	48	30	10	20	18	12	Отчет по практическому заданию
4	8	Раздел 8. Тепловая защита РДТТ.	44	24	12	12	20	10	Отчет по практическому заданию
4	8	Раздел 9. Регулирование вектора тяги и давления в РДТТ.	14	4	4	0	10	15	Отчет по практическому заданию
4	8	Раздел 10. Прочностные расчеты при проектировании РДТТ.	20	6	4	2	14	6	Вопросы для текущего контроля
4	8	Раздел 11. Испытания РДТТ.	18	4	4	0	14	7	Вопросы для текущего контроля
Всего за 8 семестр			144	68	34	34	76	50	
Всего по дисциплине			252	102	68	34	150	100	