

7725

Министерство образования и науки Российской Федерации  
**«БАЛТИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
 «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. УСТИНОВА»**

УТВЕРЖДАЮ  
 Первый проректор -  
 проректор по образовательной  
 деятельности

В.А.Бородавкин

2019

М.П.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
 Энергоустановки на твердом топливе**

(указывается наименование дисциплины в соответствии с ФГОС и учебным планом)

Направление подготовки/ **24.05.01** Проектирование, производство и эксплуатация ракет и  
 специальность **ракетно-космических комплексов**

(указывается индекс и наименование направления/специальности)

Специализация/профиль **Моделирование и информационные технологии**  
 /программа подготовки **проектирования ракетно-космических систем**

Уровень высшего образования **специалитет**

(бакалавриат/ магистратура/ специалитет)

Форма обучения **очная**

Факультет **А ракетно-космической техники**

(указывается индекс и полное наименование факультета Университета, заказавшего программу)

Выпускающая кафедра **А1 «Ракетостроение»**

(указывается индекс и полное наименование выпускающей кафедры)

Кафедра-разработчик **А1 «Ракетостроение»**  
 рабочей программы

(указывается индекс и полное наименование кафедры, составившей и реализующей программу)

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (ПО НАЛИЧИЮ ВИДОВ ЗАНЯТИЙ)												Вид промежуточного контроля	
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ						САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА						
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	АУДИТОР НЫЙ ПРАКТИКУМ		ДРУГИЕ ВИДЫ ЗАНЯТИЙ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	РАСЧЁТНО - ГРАФ. РАБОТА	РЕФЕРАТ		ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ
							ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	СЕМИНАРЫ								
4	7	4	144	68	34		34			76					76	ЭКЗ

Начальник отдела основных  
 образовательных программ

А.А. Русина

« 31 » 08 2019

САНКТ – ПЕТЕРБУРГ  
 2019 г.

## 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

Программу составили:

Кафедра «А1» «Ракетостроение»

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

Эксперт - представитель ООО «Прецизионные технологии»

д.т.н., профессор Бахтиаров Андрей Викторович

Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы **A1 Ракетостроения**

(индекс и наименование кафедры-разработчика рабочей программы)

«31» 08 2019 г. Заведующий кафедрой Бородавкин В.А., д.т.н., профессор  
(Ф.И.О., уч. степень, уч. звание) (подпись)

Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

**A1 Ракетостроения**

(индекс и наименование выпускающей кафедры)

«31» 08 2019 г. Заведующий кафедрой Бородавкин В.А., д.т.н., профессор  
(Ф.И.О., уч. степень, уч. звание) (подпись)

Рабочая программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии по укрупненной группе направлений и специальностей подготовки (УМК по УГНиСП)

**24.00.00 Авиационная и ракетно-космическая техника**  
(индекс) (полное наименование направления)

протокол № 2/2019  
(№ протокола)

«31» 08 2019 г. Председатель УМК по УГНиСП д.в.н., с.н.с. / Сырцев А.Н./  
(Ф.И.О., уч. степень, уч. звание) (подпись)

Учебная дисциплина обеспечена основной литературой

«31» 08 2019 г. Директор библиотеки БГТУ / Сесина Н.В. /  
(Ф.И.О., уч. степень, уч. звание) (подпись)

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

## **Энергоустановки на твердом топливе**

*(указывается номер и наименование дисциплины в соответствии с ФГОС и учебным планом)*

### **Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП 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 преподавания
- Приложение 3. Технологии и формы обучения
- Приложение 4. Перечень тем заданий (по видам СРС)
- Приложение 5. Оценочные средства и методики их применения
- Приложение 6. Справка о наличии в библиотеке БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова учебной литературы
- Приложение 7. Лист изменений, вносимых в рабочую программу

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций на уровнях:

### Общекультурных

ОК-2 – способностью использовать базовые положения математики, естественных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач	Пороговый уровень
--	-------------------

### Профессиональных

ПК-1 – способностью работать в информационно-коммуникационном пространстве, проводить твердотельное компьютерное моделирование, прочностные, динамические и тепловые расчеты с использованием программных средств общего назначения	Пороговый уровень
---	-------------------

### Профессионально-специализированных

ПСК-7.1 – способностью создавать математические модели функционирования высокоточных ракетных систем тактического применения, рассчитывать траектории полета ракет, а так же оценивать их управляемость и точность наведения	Пороговый уровень
ПСК-7.4 – способностью разрабатывать мероприятия по обеспечению надежности и безопасности на всех этапах жизненного цикла и давать рекомендации по устранении неисправностей, выявляемых при проведении технического обслуживания в процессе эксплуатации ракет	Пороговый уровень

Формированию указанных компетенций служит достижение следующих результатов образования:

#### знания:

на уровне представлений:

- физические и математические модели, необходимые для разработки новых образцов ракетной техники (ОК-2, ПК-1, ПСК-7.1, ПСК-7.4);
- численные методы, используемые для проведения расчетов по вышеуказанным моделям. (ОК-2, ПК-1, ПСК-7.1, ПСК-7.4);
- современные программные средства (в том числе программные пакеты), для проведения математических расчетов по вышеуказанным физико-математическим моделям (ОК-2, ПК-1, ПСК-7.1, ПСК-7.4);

на уровне воспроизведения

- методы и расчетные схемы анализа и синтеза, применяемые в ракетостроении (ОК-2, ПК-1, ПСК-7.1, ПСК-7.4);
- основные способы разработки и применения численных методов для решения отмеченных задач (ОК-2, ПК-1, ПСК-7.1, ПСК-7.4);
- способы проведения численных экспериментов процессов, происходящих при эксплуатации изделий РКТ и необходимые при разработке указанных изделий (ОК-2, ПК-1, ПСК-7.1, ПСК-7.4).

на уровне понимания:

- математический аппарат, составляющий основу моделирования в ракетостроении (ОК-2, ПК-1, ПСК-7.1, ПСК-7.4);
- основные свойства методов стохастического моделирования (ОК-2, ПК-1, ПСК-7.1, ПСК-7.4);
- значения современных информационных технологий при решении задач математического моделирования в ракетостроении (ОК-2, ПК-1, ПСК-7.1, ПСК-7.4).

#### умения:

- использовать теоретические знания для проектирования изделий РКТ, различных по направлениям и применениям (ОК-2, ПК-1, ПСК-7.1, ПСК-7.4);
- проводить математическое моделирование процессов, происходящих в изделиях РКТ (ОК-2, ПК-1, ПСК-7.1, ПСК-7.4);
- разрабатывать и применять стохастические методы для решения отмеченных задач (ОК-2, ПК-1, ПСК-7.1, ПСК-7.4);
- строить и использовать основные виды математических моделей, используемых в ракетостроении (ОК-2, ПК-1, ПСК-7.1, ПСК-7.4);
- использовать практические знания современных методов реализации математических моделей для решения конкретных инженерных задач, возникающих при разработке и эксплуатации различных образцов РКТ (ОК-2, ПК-1, ПСК-7.1, ПСК-7.4).

**навыки:**

- разработки математических моделей, необходимых для разработки изделий РКТ (ОК-2, ПК-1, ПСК-7.1, ПСК-7.4);
- разработки и применения стохастических методов для решения отмеченных задач (ОК-2, ПК-1, ПСК-7.1, ПСК-7.4);
- решения инженерных задач с применением вычислительной техники и современных пакетов вычислительных программ (ОК-2, ПК-1, ПСК-7.1, ПСК-7.4).



## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «**Энергоустановки на твердом топливе**» является дисциплиной **базовой части** блока 1 дисциплин программы.

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания дисциплин: история развития РКТ, Физика, Теоретическая механика, Математика (дифференциальное исчисление, линейная алгебра, интегральное исчисление, дифференциальные уравнения, теория вероятностей и математическая статистика), теоретические основы информатики, Сопротивление материалов, специальные главы математики, надежность, термодинамика, моделирование случайных процессов

и служит основой для освоения дисциплин:

исследование операций; основы теории полета ЛА; основы проектирования ракетных систем, строительная механика ЛА; теория конструирования; теория принятия решений, количественные методы оценки эффективности; синтез ракетных систем; испытания ракетных систем, оценка состояния и параметров ЛА, курсовое и дипломное проектирование.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

ОК-3 – способность критически оценивать основные теории и концепции, границы их применения;

ОК-14 – способность получать и обрабатывать информацию из различных источников, используя самые современные информационные технологии, способностью критически осмысливать полученную информацию выделять в ней главное, создавать на ее основе новые знания;

ОК-15 – наличие навыков работы с компьютером как средством управления, в том числе в режиме удаленного доступа, способностью работать с программными средствами общего и специального назначения;

ОК-19 – владением культурой мышления, способностью к обобщению, анализу, критическому осмыслению, систематизации, прогнозированию, постановке целей и выбору путей их достижения;

ОПК-1 – пониманием целей и задач инженерной деятельности в современной науке и производстве, сущности профессии инженера как обязанности служить обществу и профессии, следуя кодексу профессионального поведения;

ОПК-2 – пониманием роли математических и естественнонаучных наук и способностью к приобретению новых математических и естественнонаучных знаний, с использованием современных образовательных и информационных технологий, способностью использовать в профессиональной деятельности знания и методы, полученные при изучении математических и естественнонаучных дисциплин (модулей).

ОПК-4 – способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности;

ПК-2 – способность 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.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

(с распределением общего бюджета времени в часах)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	НОМЕРА РАЗДЕЛОВ	НАИМЕНОВАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ДИДАКТИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ	ВСЕГО	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ В КОНТАКТНОЙ ФОРМЕ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ	ФОРМИРУЕМАЯ КОМПЕТЕНЦИЯ			
					ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	АУДИТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ (СЕМИНАР)	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ		ОК-2	ПК-1	ПСК-7.1	ПСК-7.4
4	7	1	Раздел 1.Общее термодинамическое описание работы РДТТ. Идеальный цикл РДТТ. Термический кпд. Скорость истечения. Тяга и удельные параметры двигателя.	6	2	2	-	-	4	10%	10 %	10 %	10 %
		2	Раздел 2. Твердые ракетные топлива. 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. <b>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.	30	10	10	-		20	20%	20 %	20 %	20 %

			<p><b>Процесс горения в РДТТ.</b> Общая схема горения ТТ. Горение двухосновных топлив. Особенности процессов горения смесевых топлив. Горение металлизированных топлив.</p> <p><b>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.</p>										
	7	3	<p><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.</p>	22	12	2	10		10	5%	5%	5%	5%
	7	4	<p><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.</p>	26	16	6	10		10	10%	10%	10%	10%
	7	5	<p><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. 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.</p>	30	18	4	14		12	10%	10%	10%	10%



7	6	<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			8	13%	13%	13%	13%
7	7	<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			4	12%	12%	12%	12%
7	8	<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			4	10%	10%	10%	10%
7	9	<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			4	10%	10%	10%	10%
<b>ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>			<b>144</b>	<b>68</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>-</b>	<b>76</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	<b>Раздел 3. Заряды РДТТ и геометрическое проектирование зарядов РДТТ.</b>	<b>Работа № 1.</b> Расчет изменения геометрии заряда РДТТ в процессе работы. Занятие 1. Анализ конструкции двигателя. Занятие 2. Построение 3D модели двигателя и заряда. Занятие 3. Параметризация заряда двигателя. Занятие 4. Построение зависимости площади поверхности от толщины сгоревшего свода. Занятие 5. Расчет изменения масс-центровочных характеристик заряда и двигателя от толщины сгоревшего свода.	10
2	<b>Раздел 4. Внутрибаллистический расчет РДТТ</b>	<b>Работа № 2.</b> Расчет внутрибаллистических характеристик. Занятие 1. Анализ работы двигателя при автономном горении воспламенителя. Занятие 2. Анализ процесса горения до момента разрыва мембраны. Занятие 3. Анализ изменения давления на основном режиме	10

		работы двигателя. Занятие 4. Расчет изменения давления на спаде работы двигателя. Занятие 5. Анализ изменения давления по тракту соплового блока. Занятие 6. Построение зависимостей для внутрикамерного давления и тяги двигателя от времени.	
3	<b>Раздел 5. Газодинамика и теплообмен в РДТТ.</b>	<b>Работа № 3.</b> Анализ тепловой защиты РДТТ Занятие 1. Анализ поля течения в районе переднего днища двигателя. Занятие 2. Анализ поля течения и тепловых потоков вдоль камеры сгорания двигателя. Занятие 3. Анализ течения и теплообмена на сопловой крышке. Занятие 4. Анализ течения и теплообмена по тракту соплового блока. Занятие 5. Анализ радиационных тепловых потоков. Занятие 6. Выбор теплозащитных материалов и оценка их потребных толщин.	14
<b>Итого:</b>			<b>34</b>

**3.3. Лабораторный практикум программой дисциплины не предусмотрен**

**3.4. Самостоятельная работа студента (СРС)**

Номер и наименование раздела дисциплины	СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО ЗАДАНИЯ	Время (час)
		СРС
Раздел 1.Общее термодинамическое описание работы РДТТ.	изучение лекционного материала	2
	изучение основной и дополнительной литературы	2
Раздел 2. Твердые ракетные топлива.	изучение лекционного материала	10
	изучение основной и дополнительной литературы	10
Раздел 3. Заряды РДТТ и геометрическое проектирование зарядов РДТТ.	изучение лекционного материала	2
	изучение основной и дополнительной литературы	1
	подготовка к практическим занятиям по тематике раздела	3
	оформление отчета по тематике практического занятия	4
Раздел 4. Внутрибаллистический расчет РДТТ.	изучение лекционного материала	2
	изучение основной и дополнительной литературы	2
	подготовка к практическим занятиям по тематике раздела	3
	оформление отчета по тематике практического занятия	3
Раздел 5. Газодинамика и теплообмен в РДТТ.	изучение лекционного материала	2
	изучение основной и дополнительной литературы	2
	подготовка к практическим занятиям по тематике раздела	4
	оформление отчета по тематике практического занятия	4
Раздел 6. Тепловая защита РДТТ	изучение лекционного материала	4
	изучение основной и дополнительной литературы	4
Раздел 7. Регулирование вектора тяги и давления в РДТТ.	изучение лекционного материала	2
	изучение основной и дополнительной литературы	2

<b>Раздел 8. Конструкция и проектирование сопловых блоков.</b>	изучение лекционного материала	2
	изучение основной и дополнительной литературы	2
<b>Раздел 9. Испытания РДТТ.</b>	изучение лекционного материала	2
	изучение основной и дополнительной литературы	2
<b>ВСЕГО:</b>		<b>76</b>

#### 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ГРАФИК КОНТРОЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
7					ПР1						ПР1						ПР1

Условные обозначения:

- ПР1 – защита задания одной практической работы;

**Текущая аттестация** студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем, ведущими практические занятия по дисциплине в следующих формах:  
 выполнение заданий на практических занятиях;  
 защита задания практического занятия (тестирование);  
 отдельно оцениваются личностные качества студента (аккуратность, исполнительность, инициативность) – своевременная сдача тестов, отчетов по практическим занятиям.

**Рубежная аттестация** студентов производится по итогам половины семестра в следующих формах:  
 выполнения и защиты задания одной практической работы.

#### **Промежуточный контроль**

- проходит в форме экзамена по дисциплине, который включает в себя ответы на теоретические вопросы.

Фонды оценочных средств, позволяющие оценить результаты образования по данной дисциплине, включены в состав УМК дисциплины и перечислены в Приложении 5.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.

### 5.1. Основная литература:

1. **Белов В. П.** Проектирование элементов конструкции ракетных двигателей на твердом топливе [Текст] : учебное пособие [для вузов] / В. П. Белов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2012. - 89 с. : граф., рис., схемы, табл. - Библиогр.: с. 87-88. - 80 экз.
2. **Белов В. П.** Проектирование элементов конструкции ракетных двигателей на твердом топливе [Электронный ресурс] : учебное пособие [для вузов] / В. П. Белов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2012. - 1 эл. жестк. диск : граф., табл., схемы. - Электрон. версия печ. публикации \lib\_server\elres\elr01774.pdf. - Библиогр.: с. 87-88.
3. **Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки:** справочное издание / Ю. С. Соломонов [и др.] ; ред.: А. М. Липанов, Ю. С. Соломонов ; Рос. акад. ракет. и артиллер. наук. - М. : Машиностроение, 2011. - 415 с. 13 экз.
4. **Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки** [Электронный ресурс] : справочное издание / Ю. С. Соломонов. - Электрон. текстовые дан. - М. : Машиностроение, 2011. - 776 с. - (Спец. дан.). - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации Режим доступа: <http://elabbook.com/book/3311>.
5. **Разработка РДТТ с оптимальными параметрами** [Текст] : методические указания к курсовому проектированию [для вузов] / БГТУ "ВОЕНМЕХ" ; сост. А. Я. Соляр. - СПб. : [б. и.], 2013. - 15 с. : схемы, табл. - Библиогр.: с. 14. 40 экз.
6. **Разработка РДТТ с оптимальными параметрами** [Электронный ресурс] : методические указания к курсовому проектированию [для вузов] / БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова ; сост. А. Я. Соляр. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2013. - 1 эл. жестк. диск : схемы, табл. - Электрон. версия печ. публикации \lib\_server\elres\elr02008.pdf.

### 5.2. Дополнительная литература:

1. **Белов В.П.** Тепловая защита элементов конструкции ракетных двигателей на твердом топливе [Текст] : учебное пособие [для вузов] / В. П. Белов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2010. - 51 с. : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 51. 75 экз.
2. **Белов, Валерий Павлович.** Тепловая защита элементов конструкции ракетных двигателей на твердом топливе [Электронный ресурс] : учебное пособие [для вузов] / В. П. Белов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ". - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2010. - 1 эл. жестк. диск : граф., схемы, табл. - Электрон. версия печ. публикации \lib\_server\elres\elr01495.pdf. - Библиогр.: с. 51.

### 5.3. Электронные ресурсы, Интернет-ресурсы, электронные библиотечные системы:

- электронно-библиотечная система издательства «ЛАНЬ» – <http://e.lanbook.com>;
- электронно-библиотечная система «ЮРАЙТ» <http://www.biblio-online.ru>

### 5.4. Программное обеспечение.

пакеты ПО общего назначения (текстовые редакторы типа MS WORD, WordPerfect, графические редакторы типа Excel, средства презентационной графики –: PowerPoint Универсальный пакет компьютерных вычислений MathCad13 или более высоких версий.

### 5.5. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса

1. Возможность консультирования обучающихся преподавателями посредством сети Интернет: консультации, проверка заданий по e-mail.

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

Для обеспечения подготовки студентов по дисциплине «Энергоустановки на твердом топливе» требуется следующее материально-техническое обеспечение:

### **1. Лекционные занятия:**

- 1) комплект электронных презентаций/слайдов,
- 2) аудитории ск-21, ск-21а, ск-21б, 101, 344, оснащенные презентационной техникой (проектор, экран, компьютер),

### **2. Практические занятия**

- 1) комплект электронных презентаций/слайдов,
- 2) аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук, ...),
- 3) пакеты ПО общего назначения (текстовые редакторы типа MS WORD, WordPerfect, графические редакторы типа Excel, средства презентационной графики –: PowerPoint специализированные ПО: программный комплекс MathCad 13 и старше;

### **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 базовой части Блока 1 программы подготовки студентов по специальности **24.05.01 «Авиационные двигатели и энергетические системы ракет и ракетно-космических комплексов»**. Дисциплина реализуется на факультете «А» («Ракетно-космическая техника») БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова кафедрой «А1» («Ракетостроение»).

Дисциплина нацелена на формирование компетенций, характеризующихся способностью специалиста: ОК-2 – способностью использовать базовые положения математики, естественных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач; ПК-1 – способностью работать в информационно-коммуникационном пространстве, проводить твердотельное компьютерное моделирование, прочностные, динамические и тепловые расчеты с использованием программных средств общего назначения; ПСК-7.1 – способностью создавать математические модели функционирования высокоточных ракетных систем тактического применения, рассчитывать траектории полета ракет, а так же оценивать их управляемость и точность наведения. ПСК-7.4 – способностью разрабатывать мероприятия по обеспечению надежности и безопасности на всех этапах жизненного цикла и давать рекомендации по устранению неисправностей, выявляемых при проведении технического обслуживания в процессе эксплуатации ракет

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с анализом процессов и проектирования энергетических установок на твердом топливе. Рассматриваются вопросы горения твердых топлив, формирования зарядов, обеспечивающих заданные режимы функционирования, решения внутрибаллистической задачи, основы теплового проектирования.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, самостоятельная работа студента, консультации, тьюторство.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости в форме тестирования, рубежный контроль (после половины семестра) в форме выполнения и защиты одной практической работы и промежуточный контроль в форме экзамена.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа. Программой дисциплины предусмотрены лекционные (34 часа), практические (34 часа) занятия и 76 часов самостоятельной работы студента.



## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ПРЕПОДАВАНИЯ

### Рекомендации по организации и технологиям обучения для преподавателя

#### I. Образовательные технологии

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

1. **Информационные технологии** – обучение в электронной образовательной среде по всем разделам курса.
2. **Работа в команде** – совместная деятельность студентов в группе под руководством преподавателя, направленная на решение общей задачи путем творческого сложения результатов индивидуальной работы членов команды по разделам: **раздел 4** – Внутрибаллистический расчет; **раздел 5** – Газодинамика и теплообмен в РДТТ.
3. **Междисциплинарное обучение** – использование знаний из разных областей, их группировка и концентрация в контексте решаемой задачи. Используется в разделах с 1 по 9.
4. **Проблемное обучение** – стимулирование студентов к самостоятельному приобретению знаний, необходимых для решения конкретной проблемы. Используется в разделах: **раздел 5** – Газодинамика и теплообмен в РДТТ; **раздел 7** – Регулирование вектора тяги и давления в РДТТ; **раздел 9** – Испытания РДТТ.

#### II. Виды и содержание учебных занятий

##### Семестр 7

#### **Раздел 1. Общее термодинамическое описание работы РДТТ.**

**Теоретические занятия (лекции) - 2 часа.**

##### **Лекция 1. Тип лекции – «информационная».**

Структура и схема лекции:

1. Идеальный цикл РДТТ.
2. Термический КПД.
3. Скорость истечения.
4. Тяга и удельные параметры двигателя.

**Управление самостоятельной работой студента – 0,1 часа.**

Реализуемые формы управления самостоятельной работой студента: консультации по освоению лекционного материала.

#### **Раздел 2. Твердые ракетные топлива.**

**Теоретические занятия (лекции) - 10 часов.**

##### **Лекция 2. Тип лекции – «информационная».**

Структура и схема лекции:

1. Влияние характеристик топлива на элементы РДТТ.
2. Рациональный выбор топлива по удельному импульсу и плотности.
3. Применение топлив переменного состава.
4. Влияние параметров двигателя на характеристики ракеты

##### **Лекция 3. Тип лекции – «информационная».**

Структура и схема лекции:

1. Виды и свойства топлив.
2. Двухосновные топлива.
3. Смесевые топлива.
4. Пиротехнические составы.
5. Технологии получения зарядов.
6. Механические характеристики топлив.
7. Требования, предъявляемые к твердым топливам.

##### **Лекция 4. Тип лекции – «информационная».**

Структура и схема лекции:

2. Условная формула топлива.
3. Энергетические характеристики ТТ.

4. Теплота образования вещества.
5. Закон Гесса.
6. Скорость химической реакции, константы равновесия.

**Лекция 5.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Пример приближенного термодинамического расчета.
2. Полная схема термодинамического расчета.

**Лекция 6.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Линейная скорость горения топлива.
2. Методы измерения линейной скорости горения.
3. Влияние давления, начальной температуры заряда, скорости обдува поверхности.

**Управление самостоятельной работой студента – 0,2 часа.**

Реализуемые формы управления самостоятельной работой студента: консультации по освоению лекционного материала.

**Раздел 3. Заряды РДТТ и геометрическое проектирование зарядов РДТТ.**

**Теоретические занятия (лекции) - 2 часа.**

**Лекция 7.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Требования к зарядам РДТТ. Основные формы зарядов РДТТ.
2. Общая постановка задачи геометрического проектирования заряда.
3. Методы анализа трансформации поверхности.
4. Методы изменения локальной скорости горения.

**Аудиторный практикум - 10 часов, 1 работа.**

**Практическая работа № 1.** Расчет изменения геометрии заряда РДТТ в процессе работы

1. Занятие 1.

Выбор заряда для выполнения анализа.

2. Занятие 2.

Первичная обработка исходных данных.

3. Занятие 3.

Построение 3D модели заряда.

4. Занятие 4.

Выбор метода расчета трансформации заряда и его применение к используемому заряду.

5. Занятие 5.

Выполнение расчета процесса трансформации. Обработка полученных данных.

**Управление самостоятельной работой студента – 0,2 часа.**

Реализуемые формы управления самостоятельной работой студента: консультации по освоению лекционного материала.

**Раздел 4. Внутрибаллистический расчет РДТТ.**

**Теоретические занятия (лекции) - 6 часов.**

**Лекция 8.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Система уравнений для расчета внутрикамерного давления.
2. Расчет процесса воспламенения.
3. Расчет периода спада давления в двигателе.

**Лекция 9.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Внутрибаллистический расчет в нульмерной постановке.
2. Формула Бори.

**Лекция 10.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Расчет давления при использовании комбинированного заряда.
2. Общая схема внутрибаллистического расчета РДТТ.

**Аудиторный практикум - 10 часов, 1 работа.**

**Практическая работа № 2.** Внутрибаллистический расчет двигателя

Занятие 1.

Анализ конструкции двигателя.

Занятие 2.

Расчет начальной стадии горения воспламенителя.

Занятие 3.

Расчет совместного горения воспламенителя и заряда

Занятие 4.

Расчет для основного режима работы двигателя.

Занятие 5.

Расчет спада давления. Обработка полученных результатов

**Управление самостоятельной работой студента – 0,2 часа.**

Реализуемые формы управления самостоятельной работой студента: консультации по освоению лекционного материала и выполнению практической работы.

## **Раздел 5. Газодинамика и теплообмен в РДТТ.**

**Теоретические занятия (лекции) - 4 часа.**

**Лекция 11.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Общая система уравнений для внутрикамерного потока.
2. Течение во внутрикамерном объеме.
3. Течение в сопловом блоке.
4. Общие понятия теории тепломассообмена.
5. Критериальные соотношения.

**Лекция 12.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Теплообмен на пластине. Теплообмен на аблирующей поверхности.
2. Теплообмен теплопроводностью.
3. Прогрев плоской стенки. Прогрев сферической частицы.
4. Радиационный теплообмен. Теплообмен при конвекции.
5. Теплообмен при выпадении конденсированных продуктов сгорания.

**Практическая работа № 3. Тепловой расчет РДТТ.**

Занятие 1. Газодинамический расчет для 2-3 характерных моментов работы ДУ

Занятие 2. Расчет теплового режима для переднего днища.

Занятие 3. Расчет теплового режима для соплового блока.

Занятие 4. Расчет теплового поля одного из элементов конструкции двигателя

Занятие 5. Расчет уровня радиационного теплообмена.

Занятие 6. Выбор тепловой защиты для рассматриваемого элемента конструкции. Оценка потребной толщины тепловой защиты.

Занятие 7. Оформление результатов работы.

**Управление самостоятельной работой студента – 0,2 часа.**

Реализуемые формы управления самостоятельной работой студента: консультации по освоению лекционного материала и выполнению практической работы.

## **Раздел 6. Тепловая защита РДТТ.**

**Теоретические занятия (лекции) - 4 часа.**

**Лекция 13.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Основные классы теплозащитных материалов.
2. Работа теплозащитных материалов в продуктах сгорания ТРТ

**Лекция 14.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Методы расчета уноса ТЗМ.
2. Модель разрушения материалов с прочным коксом.

**Управление самостоятельной работой студента – 0,2 часа.**

Реализуемые формы управления самостоятельной работой студента: консультации по освоению лекционного материала.

## **Раздел 7. Регулирование вектора тяги и давления в РДТТ.**

**Теоретические занятия (лекции) - 2 часа.**

**Лекция 15.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Прерывание горения заряда.
2. Методы изменения скорости горения.
3. Управление направлением вектора тяги..

**Управление самостоятельной работой студента – 0,3 часа.**

Реализуемые формы управления самостоятельной работой студента: консультации по освоению лекционного материала.

## **Раздел 8. Конструкция и проектирование сопловых блоков.**

**Теоретические занятия (лекции) – 2 часа.**

**Лекция 16.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Анализ вклада различных частей сопла Лавалья в формирование тяги.

2. Проектирование дозвуковой части.
3. Конструктивные решения критического сечения.
4. Проектирование сверхзвуковой части сопла.
5. Типовые схемы конструктивных решений для сопловых блоков.

**Управление самостоятельной работой студента – 0,3 часа.**

Реализуемые формы управления самостоятельной работой студента: консультации по освоению лекционного материала.

## **Раздел 9. Испытания РДТТ.**

**Теоретические занятия (лекции) - 2 часов.**

**Лекция 17.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Типы испытаний.
2. Типы стендов для огневых стендовых испытаний.
3. Измерение тяги.
4. Измерение давления. Измерение скорости горения.
5. Испытания теплозащитных покрытий.

**Управление самостоятельной работой студента – 0,5 часа.**

Реализуемые формы управления самостоятельной работой студента: консультации по освоению лекционного материала.

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 часа, из них 68 часов аудиторных занятий и 76 часов, 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 порядке проведения промежуточной аттестации студентов БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в п.4 Рабочей программы и в Приложении 5 к Рабочей программе.

Вид работы	Содержание (перечень вопросов)	Трудоемкость, час.	Рекомендации
1	2	3	4
<b>Семестр 7</b>			
<i>Раздел 1. Общее термодинамическое описание работы РДТТ.</i>			
Подготовка к лекции № 1	Изучение вопросов: 1. Идеальный цикл РДТТ. 2. Термический КПД. 3. Скорость истечения. 4. Тяга и удельные параметры двигателя.	4	Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: справочное издание / Ю. С. Соломонов [и др.] ; ред.: А. М. Липанов, Ю. С. Соломонов ; Рос. акад. ракет. и артиллер. наук. - М. : Машиностроение, 2011. - 415 с (2л. 1)
Итого по разделу 1		4 часа	
<i>Раздел 2. Твердые ракетные топлива</i>			
Подготовка к лекции № 2	Изучение вопросов: 1. Влияние характеристик топлива на элементы РДТТ. 2. Рациональный выбор топлива по удельному импульсу и плотности. 3. Применение топлив переменного состава. 4. Влияние параметров двигателя на характеристики ракеты	4	Белов, Валерий Павлович. Проектирование элементов конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе [Текст] : учебное пособие [для вузов] / В. П. Белов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб. : [б. и.], 2012. - 89 с. Стр. 10-20.
Подготовка к лекции № 3	Изучение вопросов: 1. Виды и свойства топлив. 2. Двухосновные топлива. 3. Смесевые топлива. 4. Пиротехнические составы. 5. Технологии получения зарядов. 6. Механические характеристики топлив. 7. Требования, предъявляемые к твердым топливам	4	Белов, Валерий Павлович. Проектирование элементов конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе [Текст] : учебное пособие [для вузов] / В. П. Белов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб. : [б. и.], 2012. - 89 с. Стр. 10-20.

Подготовка к лекции № 4	Изучение вопросов: 1. Условная формула топлива. 2. Энергетические характеристики ТТ. 3. Теплота образования вещества. 4. Закон Гесса. 5. Скорость химической реакции, константы равновесия	4	Белов, Валерий Павлович. Проектирование элементов конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе [Текст] : учебное пособие [для вузов] / В. П. Белов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб. : [б. и.], 2012. - 89 с. <i>Стр. 21-40.</i>
Подготовка к лекции № 5	Изучение вопросов: 1. Пример приближенного термодинамического расчета. 2. Полная схема термодинамического расчета.	4	Белов, Валерий Павлович. Проектирование элементов конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе [Текст] : учебное пособие [для вузов] / В. П. Белов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб. : [б. и.], 2012. - 89 с. <i>Стр. 41-56</i>
Подготовка к лекции № 6	Изучение вопросов: 1. Линейная скорость горения топлива. 2. Методы измерения линейной скорости горения. 3. Влияние давления, начальной температуры заряда, скорости обдува поверхности	4	Белов, Валерий Павлович. Проектирование элементов конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе [Текст] : учебное пособие [для вузов] / В. П. Белов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб. : [б. и.], 2012. - 89 с. <i>Стр. 60-85</i>
<b>Итого по разделу 2</b>		<b>20 часов</b>	
<b>Раздел 3. Заряды РДТТ и геометрическое проектирование зарядов РДТТ.</b>			
Подготовка к лекции № 7	Изучение вопросов: 1. Требования к зарядам РДТТ. Основные формы зарядов РДТТ. 2. Общая постановка задачи геометрического проектирования заряда. 3. Методы анализа трансформации поверхности. 4. Методы изменения локальной скорости горения	3	Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: справочное издание / Ю. С. Соломонов [и др.] ; ред.: А. М. Липанов, Ю. С. Соломонов ; Рос. акад. ракет. и артиллер. наук. - М. : Машиностроение, 2011. - 415 с. <i>Стр.137</i>
Подготовка к практической работе (ПР) № 1	Изучение вопросов: изменения геометрии заряда РДТТ в процессе работы	3	Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: справочное издание / Ю. С. Соломонов [и др.] ; ред.: А. М. Липанов, Ю. С. Соломонов ; Рос. акад. ракет. и артиллер. наук. - М. : Машиностроение, 2011. - 415 с. <i>Стр.149</i>
Оформление отчета по ПР № 1		4	
<b>Итого по разделу 3</b>		<b>10 часов</b>	
<b>Раздел 4. Внутрибаллистический расчет РДТТ.</b>			
Подготовка к лекции № 8	Изучение вопросов: 1. Система уравнений для расчета внутрикамерного давления. 2. Расчет процесса воспламенения. 3. Расчет периода спада давления в двигателе	2	Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: справочное издание / Ю. С. Соломонов [и др.] ; ред.: А. М. Липанов, Ю. С. Соломонов ; Рос. акад. ракет. и артиллер. наук. - М. : Машиностроение, 2011. - 415 с. <i>Стр.368</i>
Подготовка к лекции № 9	Изучение вопросов: 1. Внутрибаллистический расчет в нульмерной постановке. 2. Формула Бори	1	Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: справочное издание / Ю. С. Соломонов [и др.] ; ред.: А. М. Липанов, Ю. С. Соломонов ; Рос. акад. ракет. и артиллер. наук. - М. : Машиностроение, 2011. - 415 с. <i>Гл.6</i>
Подготовка к лекции № 10	Изучение вопросов: 1. Расчет давления при использовании комбинированного заряда.	1	Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: справочное издание / Ю. С. Соломонов [и др.] ; ред.: А. М. Липанов, Ю. С. Соломонов ; Рос. акад. ракет. и артиллер.



	2. Общая схема внутрибаллистического расчета РДТТ		наук. - М. : Машиностроение, 2011. - 415 с <i>Гл.6</i>
Подготовка к практической работе (ПР) № 2	Изучение вопросов: Внутрибаллистический расчет двигателя	3	Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: справочное издание / Ю. С. Соломонов [и др.] ; ред.: А. М. Липанов, Ю. С. Соломонов ; Рос. акад. ракет. и артиллер. наук. - М. : Машиностроение, 2011. - 415 с <i>Гл.6</i>
Оформление отчета по ПР № 2		3	
<b>Итого по разделу 4</b>	<b>1.</b>	<b>10 часов</b>	
<b>Раздел 5. Газодинамика и теплообмен в РДТТ</b>			
Подготовка к лекции № 11	Изучение вопросов: 1. Общая система уравнений для внутрикамерного потока. 2. Течение во внутрикамерном объеме. 3. Течение в сопловом блоке. 4. Общие понятия теории тепломассообмена. 5. Критериальные соотношения	2	Белов, Валерий Павлович. Проектирование элементов конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе [Текст]: учебное пособие [для вузов] / В. П. Белов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб. : [б. и.], 2012. - 89 с.. <i>Стр. 40-60.</i>
Подготовка к лекции № 12	Изучение вопросов: 1. Теплообмен на пластине. Теплообмен на абдирующей поверхности. 2. Теплообмен теплопроводностью. 3. Прогрев плоской стенки. Прогрев сферической частицы. 4. Радиационный теплообмен. Теплообмен при конвекции. 5. Теплообмен при выпадении конденсированных продуктов сгорания.	2	Белов, Валерий Павлович. Проектирование элементов конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе [Текст]: учебное пособие [для вузов] / В. П. Белов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб. : [б. и.], 2012. - 89 с.. <i>Стр. 60-70.</i>
Подготовка к практической работе (ПР) № 3	Изучение вопросов: Тепловой расчет РДТТ	5	Разработка РДТТ с оптимальными параметрами [Текст] : методические указания к курсовому проектированию [для вузов] / БГТУ "ВОЕНМЕХ" ; сост. А. Я. Соляр. - СПб. : [б. и.], 2013. - 15 с. <i>Стр. 1-15.</i>
Оформление отчета по ПР № 3		3	
<b>Итого по разделу 5</b>		<b>12 часов</b>	
<b>Раздел 6. Тепловая защита РДТТ</b>			
Подготовка к лекции № 13	Изучение вопросов: 1. Основные классы теплозащитных материалов. 2. Работа теплозащитных материалов в продуктах сгорания ТРТ.	4	Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: справочное издание / Ю. С. Соломонов [и др.] ; ред.: А. М. Липанов, Ю. С. Соломонов ; Рос. акад. ракет. и артиллер. наук. - М. : Машиностроение, 2011. - 415 с. <i>Гл.4,8</i>
Подготовка к лекции № 14	Изучение вопросов: 1. Методы расчета уноса ТЗМ. 2. Модель разрушения материалов с прочным коксом.	4	Белов, Валерий Павлович. Проектирование элементов конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе [Текст] : учебное пособие [для вузов] / В. П. Белов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб. : [б. и.], 2012. - 89 с.. <i>Стр. 60-85</i>
<b>Итого по разделу 6</b>		<b>8 часов</b>	
<b>Раздел 7. Регулирование вектора тяги и давления в РДТТ</b>			

Подготовка к лекции № 15	Изучение вопросов: 1. Прерывание горения заряда. 2. Методы изменения скорости горения. 3. Управление направлением вектора тяги.	4	Белов, Валерий Павлович. Проектирование элементов конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе [Текст] : учебное пособие [для вузов] / В. П. Белов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб. : [б. и.], 2012. - 89 с.. <i>Стр. 30-40.</i>
Итого по разделу 7		4 часа	
<b>Раздел 8. Конструкция и проектирование сопловых блоков</b>			
Подготовка к лекции № 16	Изучение вопросов: 1. Анализ вклада различных частей сопла Лаваля в формирование тяги. 2. Проектирование дозвуковой части. 3. Конструктивные решения критического сечения. 4. Проектирование сверхзвуковой части сопла. 5. Типовые схемы конструктивных решений для сопловых блоков.	4	Белов, Валерий Павлович. Проектирование элементов конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе [Текст] : учебное пособие [для вузов] / В. П. Белов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб. : [б. и.], 2012. - 89 с.. <i>Стр. 20-30</i>
Итого по разделу 8		4 часа	
<b>Раздел 9. Испытания РДТТ</b>			
Подготовка к лекции № 17	Изучение вопросов: 1. Типы испытаний. 2. Типы стендов для огневых стендовых испытаний. 3. Измерение тяги. 4. Измерение давления. Измерение скорости горения. 5. Испытания теплозащитных покрытий.	4	Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки: справочное издание / Ю. С. Соломонов [и др.] ; ред.: А. М. Липанов, Ю. С. Соломонов ; Рос. акад. ракет. и артиллер. наук. - М. : Машиностроение, 2011. - 415 с. <i>Гл.6</i>
Итого по разделу 9		4 часа	
	<b>Итого по дисциплине</b>	<b>76 часов</b>	

### ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЗАДАНИЙ (по видам СРС)

Вид учебных занятий/ контрольных мероприятий/ учебной деятельности	Организация деятельности студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии. Уделить внимание следующим понятиям ( <i>перечисление понятий</i> ) и др.
Практические занятия	Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам, структуре и содержанию дисциплины. Конспектирование источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы, работа с текстом. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, решение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму и др.
Подготовка к экзамену	При подготовке экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и др.

### ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- список вопросов, обсуждаемых на практических занятиях по дисциплине по результатам выполнения заданий, по ответам на которые оцениваются знания по темам, приведены в УМК по дисциплине.
- перечень вопросов, выносимых на зачет и экзамен, приведен в УМК по дисциплине.

#### Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	НОМЕРА РАЗДЕЛОВ	НАИМЕНОВАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ДИДАКТИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ	ВСЕГО	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ В КОНТАКТНОЙ ФОРМЕ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ	ФОРМИРУЕМАЯ КОМПЕТЕНЦИЯ				НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
					ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	АУДИТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ (СЕМИНАР)	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ		ОК-2	ПК-1	ПК-7.1	ПК-7.4	
4	7	1	Раздел 1.Общее термодинамическое описание работы РДТТ.	6	2	2	-	-	4	10%	10%	10%	10%	Вопросы для экзамена
		2	Раздел 2. Твердые ракетные топлива.	30	10	10	-		20	20%	20%	20%	20%	Вопросы для экзамена
		3	Раздел 3. Заряды РДТТ и геометрическое проектирование зарядов РДТТ.	22	12	2	10		10	5%	5%	5%	5%	Вопросы для экзамена, Вопросы для защиты практических работ (ПР)
		4	Раздел 4. Внутрибаллистический расчет РДТТ.	26	16	6	10		10	10%	10%	10%	10%	Вопросы для экзамена, Вопросы для защиты ПР.
		5	Раздел 5. Газодинамика и теплообмен в РДТТ.	30	18	4	14		12	10%	10%	10%	10%	Вопросы для экзамена, Вопросы для защиты ПР
		6	Раздел 6. Тепловая защита РДТТ.	12	4	4			8	13%	13%	13%	13%	Вопросы для экзамена
		7	Раздел 7. Регулирование вектора тяги и давления в РДТТ.	6	2	2			4	12%	12%	12%	12%	Вопросы для экзамена
		8	Раздел 8. Конструкция и проектирование сопловых блоков	6	2	2			4	10%	10%	10%	10%	Вопросы для экзамена
4		9	Раздел 9. Испытания РДТТ.	6	2	2			4	10%	10%	10%	10%	Вопросы для экзамена.
ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ				144	68	34	34	-	76	100%	100%	100%	100%	

### **Критерии оценивания**

**Текущий контроль** студентов производится в дискретные временные интервалы преподавателем (ями), ведущими практические занятия по дисциплине в следующих формах:

- оценивание освоения темы практических занятий в форме собеседования;
- отдельно оцениваются личностные качества студента (аккуратность, исполнительность, инициативность) – работа у доски;

### **Практические занятия**

**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.

Примерный перечень вопросов по практическим занятиям приведен ниже. Вопросы выдаются студенту выборочно по мере изучения материала дисциплины. Практикуется как индивидуальная, так и групповая сдача работы, реализуемая в виде «круглого стола».

### **Шаблоны отчетов по практической работе;**

#### **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 шелевых 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. 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 шелевого 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



### СПРАВКА

**о наличии в библиотеке БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова учебной литературы**  
(справка является неотъемлемой частью УМК дисциплины)

1. Наименование дисциплины: **«Энергоустановки на твердом топливе»**
2. Кафедра: А1 «Ракетостроение»
3. Перечень основной учебной литературы
  1. **Белов В. П.** Проектирование элементов конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе [Текст] : учебное пособие [для вузов] / В. П. Белов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2012. - 89 с. : граф., рис., схемы, табл. - Библиогр.: с. 87-88. – 80 экз.
  2. **Белов В. П.** Проектирование элементов конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе [Электронный ресурс] : учебное пособие [для вузов] / В. П. Белов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2012. - 1 эл. жестк. диск : граф., табл., схемы. - Электрон. версия печ. публикации \\lib\_server\elres\elr01774.pdf. - Библиогр.: с. 87-88.
  3. **Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки:** справочное издание / Ю. С. Соломонов [и др.] ; ред.: А. М. Липанов, Ю. С. Соломонов ; Рос. акад. ракет. и артиллер. наук. - М. : Машиностроение, 2011. - 415 с. 13 экз.
  4. **Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки** [Электронный ресурс] : справочное издание / Ю. С. Соломонов [и др.]. - Электрон. текстовые дан. - М. : Машиностроение, 2011. - 776 с. - (ЭБС Лань). - Загл. с титул. экрана. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/3311> (дата обращения: 31.08.2020).
  5. **Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки** [Электронный ресурс] : справочное издание / Ю. С. Соломонов [и др.] ; ред.: А. М. Липанов, Ю. С. Соломонов ; Рос. акад. ракет. и артиллер. наук. - Электрон. текстовые дан. - М. : Машиностроение, 2011. - 1 эл. жестк. диск : граф., схемы, табл., фото. - (Справочная библиотека разработчика-исследователя) (Вооружение и военная техника ; [Т.] 9). - Электрон. версия печ. публикации \\lib\_server\elres\elr02580.pdf. –
  6. **Разработка РДТТ с оптимальными параметрами** [Текст] : методические указания к курсовому проектированию [для вузов] / БГТУ "ВОЕНМЕХ" ; сост. А. Я. Соляр. - СПб. : [б. и.], 2013. - 15 с. : схемы, табл. - Библиогр.: с. 14. 40 экз.
  7. **Разработка РДТТ с оптимальными параметрами** [Электронный ресурс] : методические указания к курсовому проектированию [для вузов] / БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова ; сост. А. Я. Соляр. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2013. - 1 эл. жестк. диск : схемы, табл. - Электрон. версия печ. публикации \\lib\_server\elres\elr02008.pdf.
4. Перечень дополнительной литературы:
  1. **Белов В.П.** Тепловая защита элементов конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе [Текст] : учебное пособие [для вузов] / В. П. Белов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2010. - 51 с. : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 51. 69 экз..
  2. **Белов, Валерий Павлович.** Тепловая защита элементов конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе [Электронный ресурс] : учебное пособие [для вузов] / В. П. Белов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ". - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2010. - 1 эл. жестк. диск : граф., схемы, табл. - Электрон. версия печ. публикации \\lib\_server\elres\elr01495.pdf. - Библиогр.: с. 51.

Директор библиотеки



/ Сесина Н.В./

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.