

779 УОП 3+

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

Аэрокосмический факультет

Кафедра «Ракетно-космическая техника и энергетические системы»



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе  
д-р техн. наук, проф.

*[Handwritten signature]*  
07

Н.В. Лобов

2017 г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ**

«Теория, расчет и проектирование ракетных двигателей твердого топлива»

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Программа специалитета

Специальность 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей»

Специализация программы специалитета

Проектирование ракетных двигателей  
твердого топлива

Квалификация выпускника:

инженер

Выпускающая кафедра:

Ракетно-космическая техника и  
энергетические системы

Форма обучения:

очная

Курс: 4

Семестр(ы): 7, 8

Трудоемкость:

Кредитов по рабочему учебному плану:

12

Часов по рабочему учебному плану:

432

Виды контроля:

Экзамен: 7

Зачет: 8

Курсовой проект: –

Курсовая работа: 8

**Учебно-методический комплекс дисциплины «Теория, расчет и проектирование ракетных двигателей твердого топлива»** разработан на основании:

- самостоятельно устанавливаемого образовательного стандарта по специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей», рассмотренного и одобренного Ученым советом вуза 30 марта 2017 г., утвержденного приказом ректора от 03 апреля 2017 г., номер приказа №24-о;
- компетентностной модели выпускника ОПОП по специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей», специализации «Проектирование ракетных двигателей твердого топлива», утверждённой 03 апреля 2017 г.;
- базового учебного плана очной формы обучения по специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей», специализации «Проектирование ракетных двигателей твердого топлива», утвержденного 03 апреля 2017 г.

**Рабочая программа согласована** с рабочими программами дисциплин «Высшая математика», «Физика», «Теоретическая механика», «Термодинамика», «Уравнения математической физики», «Теплопередача», «Механика жидкости и газа», «Численные методы в инженерных задачах», «Электротехника и электроника», «Автоматическое управление ракетными двигательными установками», «Моделирование рабочих процессов в ракетных двигателях», «Вычислительные технологии в авиадвигателестроении», «Основы конструирования ракетных двигателей твердого топлива», «Проектирование зарядов твердых ракетных топлив», «Конструирование и инженерные методы расчета РДТТ», «Конструирование и инженерные методы расчета ЖРД», «Динамика и прочность ракетных двигателей», «Конструкция ракетных двигателей твердого топлива», «САЕ-системы в механике деформируемого твердого тела», «САЕ-системы в механике жидкости и газа», «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов», «Научно-исследовательская работа студента» и программами учебной, производственной и преддипломной практик, участвующих в формировании компетенций совместно с данной дисциплиной.

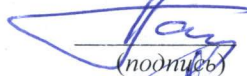
Разработчики

д-р техн. наук  
(ученая степень, звание)

  
(подпись)

В.И. Малинин  
(инициалы, фамилия)

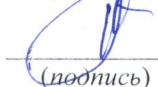
ст. преподаватель  
(ученая степень, звание)

  
(подпись)

В.В. Пальчиковский  
(инициалы, фамилия)

Рецензент

д-р техн. наук, проф.  
(ученая степень, звание)

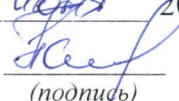
  
(подпись)

Р.В. Бульбович  
(инициалы, фамилия)

**Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры «Ракетно-космическая техника и энергетические системы» «06»** июня 2017 г., протокол № 19.

Заведующий кафедрой «Ракетно-космическая техника и энергетические системы», ведущей дисциплину

д-р техн. наук, проф.  
(ученая степень, звание)

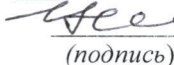
  
(подпись)

М.И. Соколовский  
(инициалы, фамилия)

**Рабочая программа одобрена учебно-методической комиссией Аэрокосмического факультета «7» 04 2017 г., протокол № 10.**

Председатель учебно-методической комиссии аэрокосмического факультета

канд. техн. наук, доц.  
(ученая степень, звание)

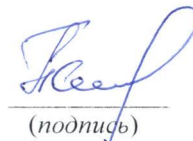
  
(подпись)

Н.Е. Чигодаев  
(инициалы, фамилия)

**Согласовано:**

Заведующий выпускающей кафедрой «Ракетно-космическая техника и энергетические системы»

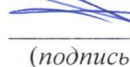
д-р техн. наук, проф.  
(ученая степень, звание)

  
(подпись)

М.И. Соколовский  
(инициалы, фамилия)

Начальник управления образовательных программ

канд. техн. наук, доц.  
(ученая степень, звание)

  
(подпись)

Д.С. Репецкий  
(инициалы, фамилия)

## **1 Общие положения**

### **1.1 Цели дисциплины**

**Цель учебной дисциплины** – формирование системы знаний и компетенций в области теории, расчета и проектирования ракетных двигателей твердого топлива (РДТТ).

В процессе изучения данной дисциплины студент осваивает следующие профессиональные и профессионально-специализированные компетенции:

– способность творчески применять математические, естественнонаучные, профессиональные и специальные знания для подготовки и постановки в полном объеме задач научных исследований процессов, явлений и объектов в профессиональной сфере деятельности (АПК.НИ-1);

– способность выполнять расчёты параметров рабочего процесса, нагруженности, прочностного, теплового состояния, характеристик ракетных двигателей твёрдого топлива, их деталей, узлов и систем и осуществлять их конструирование (АПСК-3);

– способность разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты ракетных двигателей твёрдого топлива, их деталей, узлов и систем, в том числе эффективные системы охлаждения, обеспечивающие надежный режим работы теплонапряженных узлов и деталей авиационных и ракетных двигателей и энергетических установок, а также высокоэффективные теплообменные аппараты, используя средства автоматизированного проектирования и передовой опыт разработки конкурентоспособных изделий (АПСК-4).

### **1.2 Задачи дисциплины:**

– формирование знаний об энергетических параметрах РДТТ; газодинамических параметрах камеры сгорания; внутрибаллистических параметрах РДТТ и методах их регулирования; характеристиках сопловых блоков; способах тепловой защиты РДТТ.

– формирование умений применять на практике методы решения задач внутренней баллистики; методы расчета энергетических характеристик двигателей, выбора их оптимальных параметров, размеров камеры и сверхзвукового сопла; методы расчета разброса баллистических параметров двигателя; взаимодействия продуктов сгорания со стенками камеры и сопла.

– формирование навыков расчета энергетических характеристик РДТТ; обоснованного выбора геометрии камеры сгорания и соплового блока; расчета температурных и газовых полей в камере сгорания и сопле; расчета внутрибаллистических характеристик РДТТ; расчета тепловой защиты РДТТ; самостоятельного принятия конструкторских решений при проектировании РДТТ.

### **1.3 Предметом изучения дисциплины являются следующие объекты:**

- камера сгорания РДТТ;
- сопловой блок РДТТ;
- тепловая защита РДТТ;
- газодинамические параметры продуктов сгорания твердотопливного заряда;
- внутрибаллистические и энергетические характеристики РДТТ.

#### 1.4 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Теория, расчет и проектирование ракетных двигателей твердого топлива» относится к базовой части блока 1 «Дисциплины (модули)» дисциплин рабочего учебного плана и является обязательной при освоении ОПОП по специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей», специализации «Проектирование ракетных двигателей твердого топлива».

После изучения дисциплины обучающийся должен освоить части указанных в пункте 1.1 компетенций и демонстрировать следующие результаты:

- **знать:**

- виды ракетных двигательных установок на твердом топливе и их назначение в составе перемещающегося аппарата;
- основные характеристики рабочих процессов в РДТТ;
- требования, предъявляемые к элементам конструкции РДТТ;
- методы расчета параметров рабочего процесса, нагруженности, прочности, теплового состояния и характеристик РДТТ;
- этапы разработки эскизных, технических и рабочих проектов РДТТ и инструменты, применяемые на них;
- особенности теплообмена в РДТТ;
- основные конструкционные и теплозащитные материалы, используемые в РДТТ;
- методы расчета температурных полей в конструкции элементов РДТТ.

- **уметь:**

- составлять математические модели процессов, происходящих в РДТТ;
- рассчитывать основные характеристики РДТТ, их узлов и агрегатов;
- применять компьютерные технологии для разработки РДТТ и его отдельных узлов;
- разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты РДТТ с применением средств автоматизированного проектирования;
- применить инженерные и современные методы расчета для разработки эффективных систем тепловой защиты РДТТ.

- **владеть:**

- понятийным аппаратом РДТТ;
- методами математического моделирования РДТТ;
- навыками решения математических моделей, описывающих процессы, происходящие в РДТТ;
- техникой расчета и конструирования РДТТ, их узлов и агрегатов;
- навыками разработки эскизных, технических и рабочих проектов РДТТ с применением средств автоматизированного проектирования;
- навыками проведения термпрочностных расчетов для проектирования тепловой защиты РДТТ;
- навыками оценки эффективности тепловой защиты РДТТ.

В таблице 1.1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций, заявленных в пункте 1.1.

Таблица 1.1 – Дисциплины, направленные на формирование компетенций

Код	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины (группы дисциплин)
<b>Профессиональные компетенции</b>			
АПК.НИ-1	Способность творчески применять математические, естественнонаучные, профессиональные и специальные знания для подготовки и постановки в полном объёме задач научных исследований процессов, явлений и объектов в профессиональной сфере деятельности	Высшая математика, Физика, Теоретическая механика. Термодинамика, Уравнения математической физики, Теплопередача, Механика жидкости и газа, Численные методы в инженерных задачах, Электротехника и электроника, Автоматическое управление ракетными двигательными установками, Моделирование рабочих процессов в ракетных двигателях, Учебная практика (практика по получению первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности).	Научно-исследовательская работа студента
<b>Профессионально-специализированные компетенции</b>			
АПСК-3	Способность выполнять расчёты параметров рабочего процесса, нагруженности, прочностного, теплового состояния, характеристик ракетных двигателей твёрдого топлива, их деталей, узлов и систем и осуществлять их конструирование	Вычислительные технологии в авиадвигателестроении	Основы конструирования ракетных двигателей твёрдого топлива, Проектирование зарядов твёрдых ракетных топлив, Конструирование и инженерные методы расчета РДТТ, Конструирование и инженерные методы расчета ЖРД, Динамика и прочность ракетных двигателей, Конструкция ракетных двигателей твёрдого топлива, САЕ-системы в механике деформируемого твёрдого тела,

			САЕ-системы в механике жидкости и газа, Производственная практика (стажировка проектно-конструкторская), Преддипломная практика (практика по выполнению выпускной квалификационной работы)
АПСК-4	Способность разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты ракетных двигателей твёрдого топлива, их деталей, узлов и систем, в том числе эффективные системы охлаждения, обеспечивающие надежный режим работы теплонапряженных узлов и деталей авиационных и ракетных двигателей и энергетических установок, а также высокоэффективные теплообменные аппараты, используя средства автоматизированного проектирования и передовой опыт разработки конкурентоспособных изделий	Производственная практика (практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности)	Конструирование и инженерные методы расчета РДТТ, Конструирование и инженерные методы расчета ЖРД, Конструкция ракетных двигателей твердого топлива, Системы автоматизированного проектирования технологических процессов

## 2 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Учебная дисциплина обеспечивает формирование части компетенций АПК.НИ-1, АПСК-3, АПСК-4.

### 2.1 Дисциплинарная карта компетенции АПК.НИ-1

Код	Формулировка компетенции
АПК.НИ-1	Способность творчески применять математические, естественнонаучные, профессиональные и специальные знания для подготовки и постановки в полном объёме задач научных исследований процессов, явлений и объектов в профессиональной сфере деятельности.

Код	Формулировка дисциплинарной части компетенции
АПК.НИ-1. Б1.Б.27	Способность творчески применять математические, естественнонаучные, профессиональные и специальные знания для подготовки и постановки в полном объёме задач научных исследований процессов в ракетных двигателях твердого топлива.

### Требования к компонентному составу компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
<b>Знает:</b> – виды ракетных двигательных установок на твердом топливе и их назначение в составе перемещающегося аппарата; – основные характеристики рабочих процессов в РДТТ.	Лекции с использованием мультимедиа-технологий.	Вопросы контрольных работ текущего и рубежного контроля.
<b>Умеет:</b> – составлять математические модели процессов, происходящих в РДТТ.	Лабораторные работы. Практические занятия. Самостоятельная работа студентов.	Отчёты по лабораторным работам и практическим занятиям. Индивидуальные задания.
<b>Владеет:</b> – понятийным аппаратом РДТТ; – методами математического моделирования РДТТ; – навыками решения математических моделей, описывающих процессы, происходящие в РДТТ.	Лабораторные работы. Практические занятия. Самостоятельная работа студентов по решению индивидуальных заданий.	Отчёты по лабораторным работам и практическим занятиям. Индивидуальные задания.

## 2.2 Дисциплинарная карта компетенции АПСК-3

Код	Формулировка компетенции
АПСК-3	Способность выполнять расчёты параметров рабочего процесса, нагруженности, прочностного, теплового состояния, характеристик ракетных двигателей твёрдого топлива, их деталей, узлов и систем и осуществлять их конструирование.

Код	Формулировка дисциплинарной части компетенции
АПСК-3.Б1.Б.27	Способность выполнять расчёты параметров рабочего процесса, нагруженности, прочностного, теплового состояния, характеристик ракетных двигателей твёрдого топлива и осуществлять их конструирование.

### Требования к компонентному составу компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
<b>Знает:</b> – требования, предъявляемые к элементам конструкции РДТТ; – методы расчета параметров рабочего процесса, нагруженности, прочности, теплового состояния и характеристик РДТТ.	Лекции с использованием мультимедиа-технологий.	Вопросы контрольных работ текущего и рубежного контроля.
<b>Умеет:</b> – рассчитывать основные характеристики РДТТ, их узлов и агрегатов; – применять компьютерные технологии для разработки РДТТ и его отдельных узлов.	Лабораторные работы. Практические занятия. Самостоятельная работа студентов.	Отчёты по лабораторным работам и практическим занятиям. Индивидуальные задания.
<b>Владеет:</b> – техникой расчета и конструирования РДТТ, их узлов и агрегатов.	Лабораторные работы. Практические занятия. Самостоятельная работа студентов по решению индивидуальных заданий.	Отчёты по лабораторным работам и практическим занятиям. Индивидуальные задания.



### 2.3 Дисциплинарная карта компетенции АПСК-4

Код	Формулировка компетенции
АПСК-4	Способность разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты ракетных двигателей твёрдого топлива, их деталей, узлов и систем, в том числе эффективные системы охлаждения, обеспечивающие надёжный режим работы теплонапряженных узлов и деталей авиационных и ракетных двигателей и энергетических установок, а также высокоэффективные теплообменные аппараты, используя средства автоматизированного проектирования и передовой опыт разработки конкурентоспособных изделий.

Код	Формулировка дисциплинарной части компетенции
АПСК-4.Б1.Б.27	Способность разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты ракетных двигателей твёрдого топлива, обеспечивающие надёжный режим работы теплонапряженных узлов ракетных двигателей и энергетических установок, используя средства автоматизированного проектирования и передовой опыт разработки конкурентоспособных изделий.

#### Требования к компонентному составу компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– этапы разработки эскизных, технических и рабочих проектов РДТТ и инструменты, применяемые на них;</li> <li>– особенности теплообмена в РДТТ;</li> <li>– основные конструкционные и теплозащитные материалы, используемые в РДТТ;</li> <li>– методы расчета температурных полей в конструкции элементов РДТТ.</li> </ul>	Лекции с использованием мультимедиа-технологий.	Вопросы контрольных работ текущего и рубежного контроля.
<p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты РДТТ с применением средств автоматизированного проектирования;</li> <li>– применить инженерные и современные методы расчета для разработки эффективных систем тепловой защиты РДТТ.</li> </ul>	Лабораторные работы. Практические занятия. Самостоятельная работа студентов.	Отчёты по лабораторным работам и практическим занятиям. Индивидуальные задания.
<p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками разработки эскизных, технических и рабочих проектов РДТТ с применением средств автоматизированного проектирования;</li> <li>– навыками проведения термопрочностных расчетов для проектирования тепловой защиты РДТТ;</li> <li>– навыками оценки эффективности тепловой защиты РДТТ.</li> </ul>	Лабораторные работы. Практические занятия. Самостоятельная работа студентов по решению индивидуальных заданий.	Отчёты по лабораторным работам и практическим занятиям. Индивидуальные задания.

### 3 Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Объем дисциплины в зачетных единицах составляет 12 ЗЕ. Количество часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся указано в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Объём и виды учебной работы

№ п.п.	Виды учебной работы	Трудоёмкость, час.		
		по семестрам		всего
		7 семестр	8 семестр	
1	<b>Аудиторная (контактная) работа</b>	<b>108</b>	<b>90</b>	<b>198</b>
	– лекции (Л)	50	36	86
	– практические занятия (ПЗ)	36	32	68
	– лабораторные работы (ЛР)	18	18	36
	<b>Контроль самостоятельной работы (КСР)</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>8</b>
2	<b>Самостоятельная работа студентов (СРС)</b>	<b>108</b>	<b>90</b>	<b>198</b>
	– изучение теоретического материала	36	16	52
	– подготовка к аудиторным занятиям (лекциям, практическим занятиям и лабораторным работам)	52	34	86
	– курсовая работа	–	18	18
	– индивидуальные задания	20	22	42
3	<b>Итоговый контроль (промежуточная аттестация обучающихся) по дисциплине</b>	<b>экзамен 36</b>	<b>зачет</b>	<b>36</b>
4	<b>Трудоёмкость дисциплины, всего:</b>			
	в часах (ч)	<b>252</b>	<b>180</b>	<b>432</b>
	в зачётных единицах (ЗЕ)	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>12</b>

## 4 Содержание учебной дисциплины

### 4.1 Модульный тематический план

Таблица 4.1 – Тематический план по модулям учебной дисциплины

Номер учебного модуля	Номер раздела дисциплины	Номер темы дисциплины	Количество часов и виды занятий (очная форма обучения)							Итоговый контроль	Самостоятельная работа	Трудоёмкость, ч/ЗЕТ	
			Аудиторная работа					Итого- вый конт- роль	Самостоя- тельная работа				Трудо- ёмкость, ч/ЗЕТ
			Всего	Л	ПЗ	ЛР	КСР						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
1	1	1	4	4							4		
		2	8	4	4					8	18		
	2	3	8	4	2	2				10	16		
		4	6	4	2					4	10		
	Всего по модулю:			<b>26</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>2</b>			<b>22</b>	<b>48/1,33</b>		
2	3	5	11	5	4	2				12	23		
		6	16	10	4	2				22	24		
		7	13	5	4	2	2			12	21		
	Всего по модулю:			<b>40</b>	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>2</b>		<b>46</b>	<b>86/2,39</b>		
3	4	8	20	6	12	2				20	40		
		9	6	2	2	2				10	16		
		10	7	3	2	2				6	13		
		11	9	3		4	2			4	13		
	Всего по модулю:			<b>42</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>10</b>	<b>2</b>		<b>40</b>	<b>82/2,28</b>		
<b>Промежуточная аттестация</b>								<b>экзамен 36</b>		<b>36/1</b>			
4	5	12	2	2							2		
		13	9	2	6	1				7	16		
		14	4	2		2				3	7		
		15	7	2	2	1	2			4	11		
	Всего по модулю:			<b>22</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>2</b>		<b>14</b>	<b>36/1</b>		
5	6	16	3	3							3		
		17	9	3		6				8	17		
		18	14	2	12					8	22		
		19	4	4						10	14		
	7	20	20	8	12					18	38		
		21	6	2		4				16	22		
		22	12	6		4	2			16	38		
	Всего по модулю:			<b>68</b>	<b>28</b>	<b>24</b>	<b>14</b>	<b>2</b>		<b>76</b>	<b>144/4</b>		
<b>Промежуточная аттестация</b>								<b>зачет</b>					
<b>Всего:</b>			<b>198</b>	<b>86</b>	<b>68</b>	<b>36</b>	<b>8</b>	<b>36</b>	<b>198</b>	<b>432/12</b>			

## 4.2. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

### **Модуль 1. Основные параметры камеры сгорания и ракетного двигателя**

Л – 16 ч, ПЗ – 8 ч, ЛР – 2 ч, СРС – 22 ч.

#### **Раздел 1. Отличительные особенности ракетных двигателей твердого топлива**

Л – 8 ч, ПЗ – 4 ч, ЛР – 0 ч, СРС – 8 ч.

#### **Тема 1. Введение. История создания и развития РДТТ**

Задачи и структура курса. Связь данного курса с другими дисциплинами. Отводимое учебное (аудиторное) и необходимое внеаудиторное время для изучения программы курса. Учебная литература. Роль и значение курса в становлении специалиста. История создания и развития РДТТ.

#### **Тема 2. Отличительные особенности ракетных двигателей**

Реактивные и ракетные двигатели. Источники энергии и массы для ракетных двигателей. Химические ракетные двигатели. Солнечные ракетные двигатели. Ядерные ракетные двигатели. Электрические ракетные двигатели. Парогазовые ракетные двигатели. Сравнительный анализ ракетных двигателей. Виды ракетных двигательных установок на твердом топливе и их назначение в составе перемещающегося аппарата.

#### **Раздел 2. Взаимосвязь параметров ракеты и двигателя**

Л – 8 ч, ПЗ – 4 ч, ЛР – 2 ч, СРС – 14 ч.

#### **Тема 3. Основные характеристики рабочих процессов в РДТТ**

Идеальный термодинамический цикл ракетного двигателя. Термодинамический цикл с потерями. Тяга камеры. Удельные параметры камеры. Удельный импульс тяги. Расходный комплекс и характеристическая скорость. Тяговый комплекс и коэффициент тяги. Коэффициенты полезного действия. Суммарный импульс. Мощность. Удельный импульс тяги. Удельный расход топлива. Удельная масса.

#### **Тема 4. Взаимосвязь параметров ракеты и двигателя**

Проектно-баллистические параметры ракеты. Уравнение движения аппарата. Характеристическая и конечная скорости аппарата. Продолжительность активного участка полета. Тяговооруженность. Массовые характеристики. Число ступеней. Влияние параметров ракеты и двигателя на скорость полета. Рациональный выбор топлива по удельному импульсу и плотности. Влияние параметров двигателя на характеристики ракеты.

### **Модуль 2. Газодинамические параметры рабочего процесса**

Л – 20 ч, ПЗ – 12 ч, ЛР – 6 ч, СРС – 46 ч.

#### **Раздел 3. Газодинамика РДТТ**

Л – 20 ч, ПЗ – 12 ч, ЛР – 6 ч, СРС – 46 ч.

#### **Тема 5. Газодинамика камеры сгорания РДТТ**

Уравнения движения газа. Квазистационарное течение. Массовый расход топлива. Расход газа через сопло. Параметры торможения. Газодинамические функции.

### **Тема 6. Течения газа в сопле**

Теоретические основы исследования параметров течения. Течение в дозвуковой, критической и сверхзвуковой части сопла. Особенности течения продуктов сгорания с различными физическими свойствами. Химическая и энергетическая неравномерность при течении газа в сопле. Двухфазное течение продуктов сгорания в сопле.

### **Тема 7. Проектирование сопла РДТТ**

Некоторые сведения о геометрии сопел. Коническое сопло. Профилированное сопло. Построение контура сопла. Выбор типа сопла. Оценка потерь удельного импульса. Выбор оптимального сопла.

### **Модуль 3. Внутрибаллистические основы проектирования РДТТ**

Л – 14 ч, ПЗ – 16 ч, ЛР – 10 ч, СРС – 40 ч.

### **Раздел 4. Внутрибаллистические характеристики РДТТ**

Л – 14 ч, ПЗ – 16 ч, ЛР – 10 ч, СРС – 40 ч.

### **Тема 8. Расчет внутрибаллистических характеристик РДТТ**

Диаграмма «давление-время», «тяги-время». Основные внутрибаллистические характеристики. Методика расчета внутрибаллистических характеристик.

### **Тема 9. Разбросы внутрибаллистических характеристик**

Разброс давления. Разброс расхода. Разброс тяги. Разброс времени работы двигателя.

### **Тема 10. Выбор параметров РДТТ**

Особенности выбора параметров РДТТ. Выбор топлива. Выбор размеров камеры сгорания. Выбор давления в камере сгорания. Выбор размеров выходного сечения сопла.

### **Тема 11. Основы автоматического управления и принципы регулирования РДТТ**

Виды регулирования РДТТ. Настройка на постоянное давление. Настройка на постоянную тягу. Газодинамический способ управления тягой. Отсечка тяги.

### **Модуль 4. Термодинамический расчет РДТТ**

Л – 8 ч, ПЗ – 8 ч, ЛР – 4 ч, СРС – 14 ч.

### **Раздел 5. Основы термодинамического расчета**

Л – 8 ч, ПЗ – 8 ч, ЛР – 4 ч, СРС – 14 ч.

### **Тема 12. Горение твердых ракетных топлив**

Механизм горения баллиститных твердых топлив: зоны горения, основные математические соотношения. Механизм горения смесевых твердых топлив: отличительные особенности, основные математические соотношения. Эрозионное горение твердого топлива: причины возникновения, учет в расчете РДТТ, способы устранения. Вибрационное горение.

### **Тема 13. Основы термодинамического расчета**

Цель термодинамического расчета ракетного двигателя. Условная формула топлива. Основы химической кинетики. Диссоциация, рекомбинация, ионизация. Состав продуктов сгорания. Определение температуры в камере без учета процессов диссоциации. Определение температуры в камере с учетом процессов диссоциации.

### **Тема 14. Задачи термодинамического расчета параметров рабочего процесса**

Горение в изобарной камере. Термодинамические параметры процесса течения. Определение параметров течения. Использование результатов термодинамического расчета. Горение в неизобарной камере. Погрешность расчета термодинамических характеристик.

### **Тема 15. Зависимость термодинамических характеристик от основных факторов**

Общие сведения. Зависимость термодинамических характеристик от соотношения компонентов топлива. Зависимость от давления во входном сечении сопла. Зависимость от степени расширения газа или от геометрической степени расширения сопла. Особенности зависимостей термодинамических характеристик для гетерогенных продуктов сгорания.

### **Модуль 5. Теплообмен в ракетных двигателях твердого топлива**

Л – 28 ч, ПЗ – 24 ч, ЛР – 14 ч, СРС – 76 ч.

#### **Раздел 6. Основы теплообмена в РДТТ**

Л – 12 ч, ПЗ – 12 ч, ЛР – 6 ч, СРС – 26 ч.

### **Тема 16. Общая характеристика конвективного теплообмена в РДТТ**

Особенности теплообмена в РДТТ, условия взаимодействия потоков с материалами в РДТТ. Исторический очерк развития науки о теплообмене в РДТТ. Основные зоны (области) двигателя с точки зрения интенсивности тепло-массообмена в них, анализ условий тепло и массообмена в этих зонах.

### **Тема 17. Модели конвективного теплообмена в РДТТ**

Особенности конвективного теплообмена в РДТТ (анализ теплообмена на утопленной части сопла, в районе критического сечения сопла с цилиндрической горловиной, при несимметричном вдуве газа в закритическую часть сопла, конвективный теплообмен при вдуве инородного газа в пограничный слой, особенности влияния к-фазы).

### **Тема 18. Радиационный обмен в РДТТ**

Анализ радиационного теплообмена в РДТТ (для гомогенных и гетерогенных сред).

### **Тема 19. Основные теплозащитные материалы, используемые в РДТТ**

Анализ исходных составляющих, методов получения, характеристик и теплозащитных композиционных материалов (угле-стекло-асбопластиков, феноло-каучуковых композиций, графиты, пирографиты, УККМ). Физико-химические процессы в материалах при их нагреве в условиях двигателя.

## Раздел 7. Высокотемпературное разрушение материалов, применяемых в РДТТ

Л – 16 ч, ПЗ – 12 ч, ЛР – 8 ч, СРС – 50 ч.

### Тема 20. Высокотемпературное разрушение коксующихся материалов

Абляция. Основные механизмы разрушения материалов в химически активных газовых потоках. Расчет скоростей уноса массы материалов, анализ уравнения теплового баланса, температуры поверхности разрушающегося материала; обоснование выбора потребной толщины теплозащитного материала, тепломеханическое разрушение прококсованного слоя материала, влияние структуры и технологических факторов изготовления материалов на их абляционные характеристики.

### Тема 21. Высокотемпературное разрушение стеклопластиков

Механизм высокотемпературного разрушения материалов с учетом оплавления наполнителя, влияние к-фазы на этот процесс.

### Тема 22. Высокотемпературное разрушение углеграфических материалов под действием к-фазы

Особенности высокотемпературного разрушения при взаимодействии с частицами; взаимодействие частиц двухфазных потоков с поверхностью материала.

## 4.3. Перечень тем практических занятий

Таблица 4.2 – Темы практических занятий

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы практического занятия
1	2	Сравнительная оценка разных видов ракетных двигателей – 4 час.
2	3	Зависимость тяги, удельного импульса и расходного комплекса от коэффициента избытка окислителя – 2 час.
3	4	Оценка влияние параметров двигателя на характеристики ракеты – 2 час.
4	5	Определение гидродинамических параметров течения рабочего тела с использованием газодинамических функций – 4 час.
5	6	Расчет течения газа в дозвуковой части сопла – 4 час.
6	7	Оценка различных видов потерь удельного импульса – 4 час.
7	8	Расчет установившегося режима работы РДТТ – 2 час.
8	8	Оценка устойчивости внутрикамерных процессов на установившемся режиме работы РДТТ – 2 час.
9	8	Расчет режима воспламенения – 2 час.
10	8	Расчет выхода двигателя на режим – 2 час.
11	8	Расчет спада давления в камере сгорания – 2 час.
12	8	Оценка параметров переходных режимов работы РДТТ – 2 час.
13	9	Расчет разбросов внутрибаллистических характеристик – 2 час.
14	10	Выбор давления в камере сгорания РДТТ – 2 час.

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы практического занятия
15	13	Расчет термодинамических параметров процесса горения и течения – 6 час.
16	15	Термодинамическая оценка максимально возможных потерь скорости истечения – 2 час.
17	18	Анализ примеров по радиационному теплообмену – 12 час.
18	20	Определение коксовых чисел полимерных материалов – 4 час.
19	20	Выбор толщин теплозащитных материалов в различных зонах двигателя – 8 час.

#### 4.4 Перечень тем лабораторных работ

Таблица 4.3 – Темы лабораторных работ

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы лабораторной работы
1	3	Определение основных энергетических характеристик РДТТ – 2 час.
2	5, 6, 7	Газодинамический расчет ракетного двигателя твердого топлива – 6 час.
3	8, 9	Внутрибаллистический расчет ракетного двигателя твердого топлива – 4 час.
4	10	Проектирование двигателя на максимальный суммарный импульс – 2 час.
5	11	Настройка двигателя на постоянное давление и тягу – 4 час.
6	13, 14, 15	Термодинамический расчет ракетного двигателя твердого топлива – 4 час.
7	17	Определение параметров теплового потока от продуктов сгорания к стенкам двигателя – 6 час.
8	21	Изучение кинетических параметров процесса термического разложения полимерных материалов – 4 час.
9	22	Определение параметров теплозащитных материалов и разрушения различных элементов конструкции в зависимости от особенностей теплового потока – 4 час.

#### 5. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.



3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.

4. Изучение дисциплины осуществляется в течение двух семестров, график изучения дисциплины приводится п.7.

5. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

### 5.1 Виды самостоятельной работы студентов

Таблица 5.1 – Виды самостоятельной работы студентов (СРС)

Номер темы дисциплины	Вид самостоятельной работы студентов	Трудоемкость, час.
2	Изучение теоретического материала	6
	Подготовка к практическим занятиям	2
3	Изучение теоретического материала	4
	Подготовка к практическим занятиям	4
	Подготовка к лабораторной работе	2
4	Подготовка к практическим занятиям	4
5	Изучение теоретического материала	6
	Подготовка к практическим занятиям	4
	Подготовка к лабораторной работе	2
6	Изучение теоретического материала	8
	Подготовка к практическим занятиям	4
	Подготовка к лабораторной работе	4
	Выполнение индивидуального задания	6
7	Изучение теоретического материала	4
	Подготовка к практическим занятиям	4
	Подготовка к лабораторной работе	4
8	Подготовка к практическим занятиям	8
	Подготовка к лабораторной работе	2
	Выполнение индивидуального задания	10
9	Подготовка к практическим занятиям	2
	Подготовка к лабораторной работе	4
	Выполнение индивидуального задания	4
10	Изучение теоретического материала	4
	Подготовка к практическим занятиям	2
11	Изучение теоретического материала	4
13	Подготовка к лабораторной работе	2
	Подготовка к практическим занятиям	3
	Выполнение курсовой работы	2

Номер темы дисциплины	Вид самостоятельной работы студентов	Трудоемкость, час.
14	Подготовка к лабораторной работе	1
	Выполнение курсовой работы	2
15	Подготовка к лабораторной работе	1
	Подготовка к практическим занятиям	1
	Выполнение курсовой работы	2
17	Подготовка к лабораторной работе	6
	Выполнение курсовой работы	2
18	Подготовка к практическим занятиям	6
	Выполнение курсовой работы	2
19	Изучение теоретического материала	4
	Выполнение индивидуального задания	4
	Выполнение курсовой работы	2
20	Изучение теоретического материала	4
	Подготовка к практическим занятиям	6
	Выполнение индивидуального задания	6
	Выполнение курсовой работы	2
21	Изучение теоретического материала	4
	Подготовка к лабораторной работе	4
	Выполнение индивидуального задания	6
	Выполнение курсовой работы	2
22	Изучение теоретического материала	4
	Подготовка к лабораторной работе	4
	Выполнение индивидуального задания	6
	Выполнение курсовой работы	2
	<b>Итого час./ ЗЕ</b>	<b>198/5,5</b>

### 5.1.1 Изучение теоретического материала

Тематика вопросов, изучаемых самостоятельно:

Тема 2. Гибридные ракетные двигатели.

Тема 2. Комбинированные прямоточные и ракетно-прямоточные воздушно-реактивные двигатели твердого топлива.

Тема 2. Реактивные двигатели на гидрореагирующих топливах.

Тема 3. Зависимость тяги, удельного импульса и расходного комплекса от коэффициента избытка окислителя.

Тема 3. Дроссельная характеристика двигателя.

Тема 5. Течение газа в каналах нецилиндрических форм.

Тема 5. Заполнение застойной зоны.

Тема 5. Натекание в отсек между разделяющимися ступенями.

Тема 6 Отрыв потока от стенок сопла.

Тема 6. Оценка влияния нерасчетных режимов работы сопла на параметры двигателя.

Тема 6. Течение газа в многосопловых блоках.

Тема 6. Исследование работы осесимметричного сопла на нерасчетных режимах.

Тема 7. Утопленное сопло.

Тема 10. Особенности протекания внутрикамерных процессов во вращающихся РДТТ.

Тема 11. Система управления вектором тяги.

Тема 11. Устройства создания управляющих усилий.

Тема 19. Воздействие газовых потоков на металлические элементы тракта РДТТ.

Тема 20, 21, 22. Результаты испытаний тепловой защиты РДТТ.

### **5.1.2 Курсовой проект (курсовая работа)**

Тема: Проектирование РДТТ малой тяги.

Исходные данные:

- габариты двигателя (длина, диаметр миделя);
- минимальнодопустимый суммарный импульс;
- время работы двигателя;
- прогрессивность горения заряда;
- свойства топлива (коэффициенты в законе горения, плотность, сила топлива, коэффициент адиабаты продуктов сгорания);
- свойства воспламенительного состава (коэффициенты в законе горения, плотность, сила топлива, поверхность горения).

Рассчитываемые параметры:

- удельный импульс;
- геометрия заряда;
- зависимость площади поверхности горения от относительного выгоревшего свода;
- внутрибаллистические характеристики;
- разбросы внутрибаллистических характеристик.

### **5.1.3 Реферат**

Не предусмотрен.

### **5.1.4 Расчетно-графические работы**

Не предусмотрены.

### **5.1.5 Индивидуальные задания**

Типовые темы индивидуальных заданий

**Модуль 2.** По заданным геометрическим характеристикам дозвуковой части сопла и параметрам газового потока на входе определить распределение газодинамических параметров вдоль дозвуковой части сопла (6 ч).

**Модуль 3.** По заданным геометрическим параметрам двигателя и заряда, давления в камере, характеристиках топлива и воспламенительного состава построить все участки кривой «давление-время» (10 ч).

## **5.2 Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций**

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются и ставятся проблемные задачи, формируются команды, заслушиваются варианты решения. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: закрепление и углубление знаний, умений и навыков в области определения качества продукции на основании статистической обработки данных и построения корреляционных зависимостей, развитие творческой инженерной инициативы, закрепление навыков использования справочной и специальной технической литературы, навыков выполнения графической работы и оформления технической документации.

Проведение практических занятий и лабораторных работ основывается на интерактивном методе обучения, при которой учащиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности учащихся на достижение целей занятия.

## **6 Фонд оценочных средств дисциплины**

### **6.1 Текущий контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций**

Текущий контроль освоения дисциплинарных частей компетенций проводится в следующих формах:

- опрос для анализа усвоения материала предыдущей лекции;

### **6.2 Рубежный и промежуточный контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций**

Рубежный контроль освоения дисциплинарных компетенций проводится по окончании модулей дисциплины в следующих формах:

- контрольные работы (модуль 1-5).

### **6.3 Итоговый контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций**

#### **1) Зачёт**

Зачёт по дисциплине выставляется по результатам рубежного контроля и при положительном результате выполнения всех индивидуальных заданий.

#### **2) Экзамен**

Экзамен по дисциплине проводится устно по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса и одно практическое задание.

Экзаменационная оценка выставляется с учётом результатов рубежного контроля.

Фонды оценочных средств, включающие типовые задания, контрольные работы и методы оценки, критерии оценивания уровня сформированности компонентов и дисциплинарных компетенций, позволяющие оценить результаты освоения данной дисциплины, входят в состав РПД в виде приложения.

#### 6.4 Виды текущего, рубежного и итогового контроля освоения элементов и частей компетенций

Таблица 6.1 – Виды контроля освоения элементов и частей компетенций

Контролируемые результаты освоения дисциплины (ЗУВы)	Вид контроля						
	ТК	КР	ПЗ	ЛР	ИЗ	Экз аме н	Заче т
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Усвоенные знания</b>							
<b>Знает:</b> – виды ракетных двигательных установок на твердом топливе и их назначение в составе перемещающегося аппарата;	+	+				ТВ	
– основные характеристики рабочих процессов в РДТТ;	+	+	+	+	+	ТВ	
– требования, предъявляемые к элементам конструкции РДТТ;	+	+				ТВ	
– методы расчёта параметров рабочего процесса, нагруженности, прочности, теплового состояния и характеристик РДТТ;	+	+				ТВ	
– этапы разработки эскизных, технических и рабочих проектов РДТТ и инструменты, применяемые на них;	+	+	+	+		ТВ	
– особенности теплообмена в РДТТ;	+	+	+	+	+		ТВ
– основные конструкционные и теплозащитные материалы, используемые в РДТТ;	+	+	+	+	+		ТВ
– методы расчета температурных полей в конструкции элементов РДТТ.	+	+	+	+	+		ТВ
<b>Освоенные умения</b>							
<b>Умеет:</b> – составлять математические модели процессов, происходящих в РДТТ;			+	+		КЗ	
– рассчитывать основные характеристики РДТТ, их узлов и агрегатов;			+	+	+	КЗ	
– применять компьютерные технологии для разработки РДТТ и его отдельных узлов;			+	+	+	КЗ	
– разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты РДТТ с применением средств автоматизированного проектирования;			+	+	+	КЗ	КЗ

– применить инженерные и современные методы расчета для разработки эффективных систем тепловой защиты РДТТ.			+	+	+		КЗ
<b>Приобретенные владения</b>							
<b>Владеет:</b> – понятийным аппаратом РДТТ;			+	+	+		КЗ
– методами математического моделирования РДТТ;			+	+	+		КЗ
– навыками решения математических моделей, описывающих процессы, происходящие в РДТТ;			+	+	+		КЗ
– техникой расчета и конструирования РДТТ, их узлов и агрегатов;			+	+	+	КЗ	КЗ
– навыками разработки эскизных, технических и рабочих проектов РДТТ с применением средств автоматизированного проектирования;			+	+	+	КЗ	КЗ
– навыками проведения термпрочностных расчетов для проектирования тепловой защиты РДТТ;			+	+	+		КЗ
– навыками оценки эффективности тепловой защиты РДТТ.			+	+	+		КЗ

Примечание:

ТК – текущий контроль знаний по теме (опрос);

КР – рубежная контрольная работа по модулю (оценка знаний);

ИЗ – индивидуальное задание (оценка умений и владений);

ЛР – выполнение лабораторных работ с подготовкой отчёта (оценка умений);

ПЗ – выполнение практических занятий с подготовкой и защитой отчёта (оценка владения);

ТВ – теоретический вопрос; КЗ – комплексное задание экзамена.

## 7 График учебного процесса по дисциплине

Таблица 7.1 – График учебного процесса по дисциплине (семестр 7)

Вид работы	Распределение часов по учебным неделям																		Итого	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
<b>Раздел:</b>	<b>P1</b>				<b>P2</b>				<b>P3</b>				<b>P4</b>							
Лекции	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		2	2	2	2	2	2	2		50
Практ. занятия		4		4		4		4		4			4		4		4		4	36
Лабор. работы			2		2		2		2			2		2		2		2	2	18
КСР										2									2	4
Изучение теор. материала		6		4		6		8		4					4		4			36
Подготовка к практ. занятиям		2		4		4		4		4		4		4		4		4		34
Подготовка к лабор. работам			2		2		2		2		2		2		2		2	2		18
Выполнение инд. задания						6						5		5		4				20
<b>Модуль:</b>	<b>M1</b>				<b>M2</b>				<b>M3</b>						<b>216</b>					
Рубежная КР по модулю				+						+									+	
Дисциплинарный контроль																				Экз. 36

Таблица 7.2 – График учебного процесса по дисциплине (семестр 8)

Вид работы	Распределение часов по учебным неделям																		Итого	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
<b>Раздел:</b>	<b>P5</b>				<b>P6</b>				<b>P7</b>											
Лекции	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36
Практ. занятия		4		4		4		4		4		4		4		4		4		32
Лабор. работы	2		2		2		2		2		2		2		2		2		2	18
КСР										2									2	4
Изучение теор. материала										4		4		4		4				16
Подготовка к практ. занятиям		2		2		2		2		2		2		2		2		2		16
Подготовка к лабор. работам	2		2		2		2		2		2		2		2		2		2	18
Выполнение инд. задания											4		6		6		6		6	22
Выполнение курсовой работы	2		2		2		2		2		2		2		2		2		2	18
<b>Модуль:</b>	<b>M4</b>				<b>M5</b>						<b>180</b>									
Рубежная КР по модулю				+															+	
Дисциплинарный контроль																				Зачет

## 8 Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 8.1. Карта обеспеченности дисциплины учебно-методической литературой

**Б1.Б.27**  
**Теория, расчет и проектирование ракетных двигателей твердого топлива**

(индекс и полное название дисциплины)

**Блок 1. Дисциплины (модули)**

(блок дисциплины)

x

базовая часть блока  
вариативная часть блока

x

обязательная  
по выбору студента

**24.05.02**

(код направления/  
специальности)

**«Проектирование авиационных и ракетных двигателей»,  
специализация «Проектирование ракетных  
двигателей твердого топлива»**

(полное название направления подготовки / специальности)

**АРД / РД**

(аббревиатура направления/  
специальности)

Уровень подготовки

x

специалист  
бакалавр  
магистр

Форма обучения

x

очная  
заочная  
очно-заочная

2017

год утверждения  
учебного плана ОПОП

Семестр(ы)

7,8

Количество групп

1

Количество студентов

25

Малинин Владимир Игнатьевич

(фамилия, инициалы преподавателя)

профессор

(должность)

Пальчиковский Вадим Вадимович

(фамилия, инициалы преподавателя)

ст. преподаватель

(должность)

Аэрокосмический

(факультет)

РКТЭС

(кафедра)

2-39-12-33

(контактная информация)



**8.2. Перечень основной и дополнительной учебной литературы,  
необходимой для освоения дисциплины**

№	<b>Библиографическое описание</b> <i>(автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)</i>	<b>Количество экземпляров в библиотеке</b>
1	2	3
<b>1. Основная литература</b>		
1	Проектирование и отработка ракетных двигателей на твёрдом топливе: учебное пособие для вузов / Ю.Б. Евграшин. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. – 353 с.	153 +ЭБ
2	Теория и проектирование ракетных двигателей: учебник для вузов / Б.Т. Ерохин. – Санкт-Петербург: Лань, 2015. – 596 с.	26 +ЭБС «Лань»
3	Внутренняя баллистика РДТТ: справочное издание / Под ред. А.М. Липанова, Ю.М. Милехина. – М.: Машиностроение, 2007. – 501 с.	7
<b>2 Дополнительная литература</b>		
<b>2.1 Учебные и научные издания</b>		
1	Теория и расчет ракетных двигателей твердого топлива: учебник для вузов/ Д.И. Абугов, В.М. Бобылев. – М.: Машиностроение, 1987. – 272 с.	16
2	Основы проектирования ракет на твердом топливе / Я.М. Шапиро, Г.Ю. Мазинг, Н.Е. Прудников. – М.: Воениздат, 1968. – 352 с.	10
<b>2.2 Периодические издания</b>		
1	Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника	
<b>2.3 Нормативно-технические издания</b>		
	Не предусмотрены	
<b>2.4 Официальные издания</b>		
	Не предусмотрены	
<b>2.5 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины</b>		
1	Электронная библиотека Научной библиотеки Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс: полнотекстовая база данных электрон. документов изданных в Изд-ве ПНИПУ]. – Электрон. дан. (1 912 записей). – Пермь, 2014. – Режим доступа: <a href="http://elib.pstu.ru/">http://elib.pstu.ru/</a> . – Загл. с экрана. Электронно-библиотечная система Издательство «Лань» [Электронный ресурс]: [полнотекстовая база данных: электрон. версии кн., журн. по гуманит., обществ., естеств. и техн. наукам] / Электрон.-библ. система «Изд-ва «Лань». – Санкт-Петербург, 2010-2016.	

**Основные данные об обеспеченности на**

06.06.2017

(дата одобрения рабочей программы на заседании кафедры)

основная литература  обеспечена  не обеспечена  
 дополнительная литература  обеспечена  не обеспечена  
 Зав. отделом комплектования научной библиотеки \_\_\_\_\_ Н.В. Тюрикова

**Данные об обеспеченности на**

(дата составления рабочей программы)

основная литература  обеспечена  не обеспечена  
 дополнительная литература  обеспечена  не обеспечена  
 Зав. отделом комплектования научной библиотеки \_\_\_\_\_ Н.В. Тюрикова

**8.3 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

**8.3.1 Перечень программного обеспечения, в том числе компьютерные обучающие и контролирующие программы**

№ п/п	Вид учебного занятия	Наименование программного продукта	Рег. номер	Назначение
1	2	3	4	5
1	Лабораторные работы и практические занятия	Mathcad 14 University Classroom	SE14RYMMEV0002-FLEX	Проведение математических вычислений при решении задач проектирования РДТТ

**8.4 Аудио- и видео-пособия**

Вид аудио-видео пособия				Наименование учебного пособия
теле-фильм	кино-фильм	слайды	аудио-пособие	
1	2	3	4	5
		+		Электронные лекции-презентации по дисциплине «Теория, расчет и проектирование ракетных двигателей твердого топлива»

**9 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Карта книго-обеспеченности в библиотеку сдана

## 9.1 Специализированные лаборатории и классы

Таблица 9.1 – Специализированные лаборатории и классы

№ п/п	Помещения			Площадь, м <sup>2</sup>	Количество посадочных мест
	Название	Принадлежность (кафедра)	Номер аудитории		
1	2	3	4	5	6
1	Мультимедийная аудитория	РКТЭС	304 к.Д АКФ	72	42
2	Компьютерный класс	РКТЭС	314 к.Д АКФ	72	12

## 9.2. Основное учебное оборудование

Таблица 9.2 – Учебное оборудование

№ п/п.	Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката)	Кол-во, ед.	Форма владения, пользования (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.)	Номер аудитории
1	2	3	4	5
1	Проектор	1	Оперативное управление	304 к.Д АКФ
2	Компьютеры	12	Оперативное управление	314 к.Д АКФ

### Лист регистрации изменений

№ п/п	Содержание изменения	Дата, номер протокола заседания кафедры. Подпись заведующего кафедрой
1	2	3
1		
2		
3		
4		
5		
6		