

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

«Утверждаю»

Проректор по УМР

Л.О. Штриплинг

03 2017 г



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

по дисциплине

**Конструкция и расчет**

**ракетных двигателей твердого топлива**

**24.05.02 – Проектирование авиационных и ракетных двигателей**

Разработана в соответствии с ООП по направлению подготовки: 24.05.02 – «Проектирование авиационных и ракетных двигателей».

Специализация – «Проектирование жидкостных ракетных двигателей».

Программу составила:

доцент кафедры «Авиа- и ракетостроение»,

к.т.н., доцент

Л.И. Гречух

Обсуждена на заседании кафедры

«Авиа- и ракетостроение», протокол № 8 от 27 марта 2017 г.

Зав. кафедрой «Авиа- и ракетостроение»

к.т.н., доцент

А.Б. Яковлев

«27» 03 2017 г.

Руководитель ООП

Зав. кафедрой «Авиа- и ракетостроение»

к.т.н., доцент

А.Б. Яковлев

«27» 03 2017 г.

## 1. Цели и задачи дисциплины

Цели дисциплины Целью преподавания дисциплины «Конструкция и расчет ракетных двигателей твердого топлива (РДТТ)» является формирование у студентов знаний, являющихся основой в области проектирования и конструирования ракетных двигателей.

### Основные задачи дисциплины

- 1) Обучить студента основам теории и проектирования РДТТ.
- 2) Изучить наиболее важные узлы конструкции РДТТ, принцип действия, классификацию РДТТ, область применения.
- 3) Получить сведения об основных ракетных топливах и их характеристиках.
- 4) Владеть инженерными методами расчета отдельных узлов и элементов РДТТ.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Конструкция и расчет ракетных двигателей твердого топлива» относится к базовой части блока дисциплин.

Студент, изучающий дисциплину «Конструкция и расчет ракетных двигателей твердого топлива», должен знать основные законы и понятия, изучаемые в дисциплинах: «Математика», «Физика», «Химия», «Аэродинамика летательных аппаратов», «Термодинамика и теплопередача», «Общая теория авиационных и ракетных двигателей».

Дисциплины, изучаемые одновременно: «Теория и проектирование турбонасосных агрегатов», «Испытания и обеспечение надежности ракетно-космической техники», «Теория, расчет и проектирование воздушно-реактивных двигателей», «Теория и расчет лопаточных машин».

Последующие дисциплины: «Ракеты с ракетными двигателями твердого топлива», «Автоматика и регулирование ракетных двигателей», «Динамика и прочность ракетных двигателей», «Энергетические машины и установки».

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

**3.1.** В результате освоения дисциплины «Конструкция и расчет ракетных двигателей твердого топлива» должны быть сформированы следующие компетенции:

Шифр направления	Формируемая компетенция
24.05.02	способностью принимать участие в работах по расчету и конструированию отдельных деталей и узлов двигателей и энергетических установок ЛА в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования (ПК-1)
	способностью составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений (ПК-5)

**3.2.** В результате освоения дисциплины студент должен демонстрировать освоение указанными компетенциями по дескрипторам «знания, умения, владения», соответствующие тематическим модулям дисциплины, и применимые в их последующем обучении и профессиональной деятельности:

**Знать:**

- 3.1.** Основы расчета и конструирования отдельных деталей и узлов двигателей и энергетических установок ЛА;  
**3.2.** Принцип действия и устройство проектируемых изделий и объектов.

**Уметь:**

- У.1.** Рассчитывать и конструировать отдельные детали и узлы двигателей и энергетических установок ЛА с использованием стандартных средств автоматизации проектирования;  
**У.2.** Составлять описания принципа действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений

**Владеть:**

- В.1.** Навыками расчета и конструирования отдельных деталей и узлов двигателей и энергетических установок ЛА с использованием стандартных средств автоматизации проектирования;  
**В.2.** Навыками составления описания принципа действия и устройства проектируемых изделий и объектов

**3.3. Проектируемые результаты и признаки формирования компетенций***Компетентностная модель дисциплины*

Индекс компетенции	Проектируемые результаты освоения дисциплины «Конструкция и расчет ракетных двигателей твердого топлива» и индикаторы формирования компетенций			Средства и технологии оценки	Технологии формирования компетенции
	Знания (З)	Умения (У)	Навыки (В)		
ПК-1	3.1	У.1	В.1	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3
ПК-5	3.2	У.2	В.2	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3

*Средства и технологии оценки: 1 – Дифференцированный зачет, 2 – Отчет по лабораторным работам, 3 – Отчет по практическим занятиям, 4 – Устный опрос, 5 – РГР*

*Технологии формирования компетенции: 1 – Информационно-развивающие технологии, 2 - Развивающие проблемно-ориентированные технологии, 3 – Личностно ориентированные технологии обучения*

**4. Объем дисциплины и виды учебной работы в часах и зачетных единицах***Очная форма обучения*

Вид занятий	Всего час/ зач. ед.	Семестры			
		7	8	9	10
<b>Всего аудиторных занятий:</b>	<b>72</b>			<b>72</b>	
Лекции	36			36	
Практические занятия	18			18	
Лабораторные занятия	18			18	
<b>Самостоятельная работа:</b>	<b>108</b>			<b>108</b>	

Самостоятельное изучение материала дисциплины и подготовка к аудиторным занятиям	88			88	
Расчетно-графическая работа	20			20	
<b>Всего по дисциплине</b>	<b>180/5</b>			<b>180</b>	
Вид аттестации за семестр	Д.зач			Д.зач	

## 5. Содержание дисциплины по модулям и видам учебных занятий

### 5.1. Содержание дисциплины по модулям

1. Ракетные двигатели твердого топлива (РДТТ), заряды РДТТ, топлива РДТТ.
2. Проектирование и выбор элементов конструкции РДТТ.

Содержание модулей	Форма обучения очная
	Кол часов Лек/СРС
Модуль 1. Ракетные двигатели твердого топлива (РДТТ), заряды РДТТ, топлива РДТТ	
Основные типы ракетных двигателей (двигатели прямой реакции, комбинированные двигатели на химическом топливе и твердо - жидком топливе, комбинированные воздушно - ракетные двигатели).	2/4
Особенности ракетных двигателей твердого топлива. Конструкция РДТТ с вкладным зарядом.	2/6
Конструкция РДТТ со скрепленным зарядом. Классификация РДТТ. Схемы размещения двигательной установки на ракете.	2/6
Конструктивные схемы РДТТ. Взаимосвязь характеристик ракеты и РДТТ.	2/4
Баллистические и смесевые топлива РДТТ. Эксплуатационные характеристики РДТТ.	2/4
Технология изготовления зарядов баллистического и смесевого топлива.	2/4
Формы зарядов РДТТ, их достоинства и недостатки. Прогрессивное, дегрессивное горение заряда РДТТ.	2/6
Бронирующие покрытия в РДТТ. Выбор рабочего давления в КС РДТТ.	2/6
Скорость горения заряда твердого топлива. Способы уменьшения разбросов параметров РДТТ.	2/4
Материалы несущих конструкций РДТТ.	2/4
Модуль 2. Проектирование и выбор элементов конструкции РДТТ	
Расчет обечайки РДТТ. Расчет днищ РДТТ.	2/6
Проектирование конического сопла РДТТ. Конструкция односопловых блоков РДТТ. Многосопловые блоки РДТТ.	2/4
Кольцевые сопла РДТТ. Сопловые блоки РДТТ изменяемой геометрии с высокой степенью расширения.	2/6
Теплозащита РДТТ. Материалы теплозащитных покрытий.	2/4
Определение контактной прочности вкладного заряда РДТТ. Проектирование воспламенителя РДТТ.	2/6

Конструкция воспламенителей РДТТ. Конструкция управляющих двигателей и сопел РДТТ.	2/6
Устройства для регулирования тяги РДТТ.	2/4
Доводка опытного образца РДТТ.	2/4

Итого 36/88

### 5.2. Содержание практических занятий

Основные цели: привитие студентам навыков в решении задач проектирования с использованием справочной литературы, специальных атласов и таблиц; подготовка студентов к самостоятельному выполнению расчетов в курсовом проектировании, в подготовке выпускной квалификационной работы.

Содержание практических занятий	Часы
Модуль 1. Ракетные двигатели твердого топлива (РДТТ), заряды РДТТ, топлива РДТТ	
<i>Практическое занятие 1.</i> Классификация ракетных двигателей.	2
<i>Практическое занятие 2.</i> Выбор основных параметров двигателя (выбор типа заряда, формы заряда, давления в камере сгорания и на срезе сопла, типа и марки топлива, удельного импульса тяги, скорости горения топлива, времени работы РДТТ).	2
Модуль 2. Проектирование и выбор элементов конструкции РДТТ	
<i>Практическое занятие 3.</i> Расчёт щелевого заряда РДТТ.	2
<i>Практическое занятие 4.</i> Расчёт сверхзвукового сопла РДТТ.	2
<i>Практическое занятие 5.</i> Расчет оптимального давления в КС РДТТ. Расчет бронирования заряда.	2
<i>Практическое занятие 6.</i> Расчет звездчатого заряда РДТТ.	2
<i>Практическое занятие 7.</i> Расчет характеристик прогрессивности щелевого заряда РДТТ.	2
<i>Практическое занятие 8.</i> Расчет обечайки камеры сгорания РДТТ (металлической, стеклопластиковой).	2
<i>Практическое занятие 9.</i> Расчет теплозащитного покрытия РДТТ.	2

Итого: 18

### 5.3. Содержание лабораторных занятий

Основные цели: изучить конструкцию, устройство, принцип работы основных агрегатов и узлов ракетных двигателей; привить студентам навыки в использовании справочной литературы и атласов; подготовить студентов к самостоятельному выбору конструктивных решений в курсовом проектировании, в подготовке выпускной квалификационной работы.

Содержание лабораторных занятий	Часы
Модуль 1. Ракетные двигатели твердого топлива (РДТТ), заряды РДТТ, топлива РДТТ	
<i>Лабораторная работа 1.</i> Корпус РДТТ.	2
<i>Лабораторная работа 2.</i> Конструкция сопловых блоков РДТТ.	2
<i>Лабораторная работа 3.</i> Сопловые блоки изменяемой геометрии с высокой степенью расширения.	2
Модуль 2. Проектирование и выбор элементов конструкции РДТТ	

Лабораторная работа 4. Выбор формы заряда РДТТ.	2
Лабораторная работа 5. Воспламенители РДТТ.	2
Лабораторная работа 6. Расчет массы РДТТ.	2
Лабораторная работа 7. Испытания РДТТ.	2
Лабораторная работа 8. Испытания РДТТ.	2
Лабораторная работа 9. Утилизация РДТТ.	2

Итого: 18

## 6. Образовательные технологии

**6.1. Для достижения планируемых результатов освоения дисциплины «Конструкция и расчет ракетных двигателей твердого топлива» используются следующие образовательные технологии:**

1. Информационно-развивающие технологии.
2. Развивающие проблемно-ориентированные технологии.
3. Личностно ориентированные технологии обучения.

Методы	Лекция	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС
Метод ИТ	+	+	+	+
Работа в команде		+	+	+
Case-study		+	+	
Проблемное обучение	+	+		
Контекстное обучение	+	+	+	+
Обучение на основе опыта	+	+	+	+
Индивидуальное обучение		+		+
Междисциплинарное обучение	+	+	+	+
Опережающая самостоятельная работа		+	+	+

**6.2. Интерактивные формы обучения (в соответствии с положением П ОмГТУ 75.03-2012. «Об использовании в образовательном процессе активных и интерактивных форм проведения учебных занятий»)**

№	Модуль	Применяемые технологии интерактивного обучения	Кол-во часов
1	Модуль 1, 2	Лекции Проблемное обучение, метод ИТ	8
2	Модуль 1, 2	Лабораторные работы. Работа в команде (малых группах) СРС. Опережающая самостоятельная работа	2 2
3	Модуль 1, 2	Практические занятия. Case – Study СРС. Выполнение РГР. Метод проектов.	2 2

Итого 16

**Примечание.** Объем часов занятий в интерактивной форме обучения (согласно П ОмГТУ 75.03-2012) должен составлять (20..40 %) от объема часов аудиторных занятий.

## 7. Самостоятельная работа студентов

Самостоятельная работа направлена на закрепление и углубление полученных теоретических и практических знаний, развитие навыков практической работы.

### 7.1. Объем СРС и распределение по видам учебных работ в часах

№	Вид СРС	Кол-во часов <sup>7</sup>
1.	Работа с лекционным материалом, самостоятельное изучение отдельных тем дисциплины; поиск и обзор литературы и электронных источников; чтение и изучение учебников и учебных пособий.	52
2.	Подготовка к практическим и лабораторным занятиям	36
3.	Выполнение РГР	20
Итого		108

<sup>7</sup> Обоснование трудоемкости на выполнение СРС произведено на основании рекомендаций учебника «Управление факультетом» под ред. С.Д. Резника. – М.: ИНФРА-М, 2010. – 695 с.

**7.2. Расчетно-графическая работа,** её характеристика. Задача расчетно-графической работы состоит в развитии практических навыков в проектировании отдельных узлов ракетного двигателя твердого топлива. Расчетно-графическая работа состоит из расчетной части объемом 15 – 20 листов.

#### Темы расчетно-графических работ

1. Проектирование зарядов РДТТ.
2. Проектирование теплозащиты РДТТ.
3. Проектирование системы зажигания РДТТ.

## 8. Методическое обеспечение системы оценки качества освоения программы дисциплины

К промежуточной аттестации студентов по дисциплине «Конструкция и расчет ракетных двигателей твердого топлива» могут привлекаться в качестве внешних экспертов: представители работодателей, преподаватели последующих дисциплин: «Динамика и прочность ракетных двигателей», «Ракеты с РДТТ».

### 8.1. Фонды оценочных средств (в соответствии с П ОмГТУ 73.05 «О фонде оценочных средств по дисциплине»)

Фонд оценочных средств позволяет оценить знания, умения и уровень приобретенных компетенций. Фонд оценочных средств по дисциплине включает:

- экзаменационные вопросы;
- вопросы и задания для практических занятий;
- вопросы для защиты лабораторных работ;
- варианты расчетно-графической работы;
- вопросы к защите расчетно-графической работы;

– задания для проведения занятий в интерактивной форме.

Оценка качества освоения программы дисциплины включает текущий контроль успеваемости, промежуточную аттестацию, итоговую аттестацию в форме дифференцированного зачета.

Студентам предоставлена возможность оценивания содержания, организации и качества учебного процесса.

## **8.2. Контрольные вопросы по дисциплине**

### Модуль 1

1. Перечислите основные типы ракетных двигателей.
2. Назовите основные источники энергии ракетных двигателей.
3. В чем особенность ракетных двигателей твердого топлива?
4. Назовите основные конструктивные элементы, составляющие РДТТ?
5. Как осуществляется отсечка тяги РДТТ?
6. Перечислите достоинства и недостатки РДТТ.
7. Назовите основные формы твердотопливных зарядов.
8. Дайте понятие о конструкции РДТТ с вкладным зарядом.
9. Дайте понятие о конструкции РДТТ со скрепленным зарядом.
10. Расскажите о классификации РДТТ.
11. Расскажите о схемах размещения РДТТ на ракете.
12. Приведите примеры конструктивных схем РДТТ.
13. Назовите два основных параметра, определяющих эффективность и совершенство ракеты с РДТТ.
14. Дайте определение коэффициенту объемного заполнения РДТТ.
15. Назовите основные требования к твердым топливам.
16. Какие твердые топлива применяются в РДТТ?
17. Что представляет собой баллиститное топливо РДТТ?
18. Дайте понятие о смесевых топливах РДТТ.
19. Сравните достоинства и недостатки зарядов смесевого и баллиститного топлив.
20. Требования, предъявляемые к зарядам РДТТ.
21. Дайте описание щелевого заряда РДТТ.
22. Какие параметры определяют тягу РДТТ?
23. Какого размера заряды можно изготовить из баллиститного топлива?
24. Назовите основные способы получения зарядов смесевого топлива.
25. Какой способ изготовления заряда применяют для крупногабаритных РДТТ?
26. Какие формы зарядов обеспечивают постоянную тягу РДТТ?
27. Дать понятие о прогрессивном и дегрессивном горении заряда РДТТ.
28. Укажите назначение бронировки заряда РДТТ.
29. Назовите материалы бронирующих покрытий.
30. Что является критерием оценки оптимальности давления в КС РДТТ?
31. Зависит ли скорость горения заряда от температуры эксплуатации РДТТ?
32. Какой из параметров оказывает наибольшее влияние на разброс тяговых характеристик РДТТ?
33. Расскажите о соплах РДТТ со сменным вкладышем. Какое назначение имеет сменный вкладыш?
34. Дайте понятие о материалах несущих конструкций РДТТ.
35. Укажите достоинства и недостатки корпусов РДТТ из композитных материалов.

### Модуль 2

1. Какое силовое воздействие учитывается при расчете на прочность обечайки корпуса РДТТ?
2. Какие нагрузки могут привести к потере устойчивости обечайки корпуса РДТТ?
3. Назовите основные формы днищ, применяемых в конструкциях РДТТ.
4. Назовите достоинства и недостатки, конических сопел РДТТ.
5. Назовите достоинства односопловых блоков РДТТ.
6. Дайте понятие об утопленном сопле. Для чего применяется такая конструкция сопла? Какое у неё преимущество?
7. Дайте понятие о степени утопленности сопла.
8. Назовите достоинства и недостатки многосопловых блоков РДТТ.
9. Дайте понятие о кольцевых соплах РДТТ.
10. Дайте понятие о соплах изменяемой геометрии с высокой степенью расширения.
11. Что представляют собой эластичные теплозащитные покрытия РДТТ?
12. Дайте понятие о жестких теплозащитных покрытиях РДТТ.
13. Какие материалы применяются для изготовления соплового вкладыша РДТТ?
14. Какое назначение соплового вкладыша РДТТ?
15. Как воздействуют высокие и низкие температуры эксплуатации РДТТ на прочность и жесткость вкладного заряда?
16. Какие воспламенительные устройства используются в РДТТ?
17. Что является основной целью расчета воспламенителя РДТТ?
18. Назовите наиболее простой воспламенительный состав для зарядов РДТТ из баллиститного топлива.
19. Назовите основные устройства, применяемые для управления вектором тяги ракет с РДТТ.
20. Что представляют собою устройства для автоматического регулирования величины тяги РДТТ?
21. Каким образом осуществляется отсечка тяги в РДТТ?
22. Дайте понятие об основных испытаниях РДТТ.

## **9. Ресурсное обеспечение дисциплины**

### **9.1. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

1. Лаборатория «Ракеты и ракетные двигатели». Макеты изделий 8К64, 8К84. Наглядные пособия: двигатели 3 шт., РД8, Д419, турбонасосный агрегат, экспонаты ЖРД, элементы автоматики подачи топлива. Мультимедийное оборудование: проектор, ноутбук, экран (ауд. 3-215).
2. Кафедральный компьютерный класс, 10 ПК на базе процессора Intel Pentium IV (ауд. 3-307).
3. Ракетные двигатели: Изд. № 1, 2, 3, 4.

### **9.2. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

#### **9.2.1. Основная литература**

1. Конструкция и проектирование комбинированных ракетных двигателей на твердом топливе [Текст] / Б. В. Обносков [и др.]; ред. В. А. Сорокин. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. - 303 с.
2. Гречух, Л.И. Ракетные двигатели твердого топлива [Электронный ресурс] / Л. И. Гречух, И. Н. Гречух. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2016. - 1 о=эл. опт. диск (CD-ROM).

#### **9.2.2. Дополнительная литература**

1. Дорофеев, А.А. Основы теории тепловых ракетных двигателей. Теория, расчет и проектирование: учеб. для вузов по специальности "Авиа- и ракетостроение" / А. А. Дорофеев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. - 463с.

2. Испытания ракетных двигателей твердого топлива [Текст]: в 2 ч. / под общ. ред. Н. П. Кузнецова.- М.: Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика.- Т.1: Наземные испытания РДТТ, 2010 - 703 с; Т. 2: Стендовые огневые и летные испытания, 2011. - 667 с. ✓

### 9.2.3. Периодические издания

- ✓1. Авиационные и ракетные двигатели: ЭРЖ. 1997-2017
- ✓2. Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 1996 – 2017
- ✓3. Новости космонавтики. 2005 – 2017
- ✓4. Полет. 2005 – 2017
- ✓5. Омский научный вестник. Серия. Приборы, машины и технологии. 2006 – 2017

### 9.2.4. Информационные ресурсы

- ✓1. ЭБС «АРБУЗ»
2. Научная электронная библиотека elibrary.ru
3. Интегрум
4. SPRINGER

**К.О.**

Согласованно:

Библиотека ОмГТУ

*Ирина / Трунова*

(штамп КО и подпись зам. директора библиотеки)