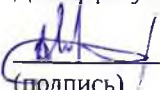


УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

  
 Юнаков Л. П.  
 (подпись) ФИО  
 « 31 » 05 20 22

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ТЕОРИЯ И РАСЧЕТ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ

Направление/специальность подготовки	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
Специализация/профиль/программа подготовки	Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
5	9	3	108	68	34	0	34	40	0	0	40	ЭКЗ.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

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

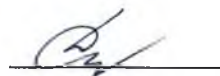
**24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей**

год набора группы: 2022

Программу составил:

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ  
АППАРАТОВ

Кравченко Дарья Григорьевна, старший преподаватель



Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы **А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Левихин А.А., к.т.н., доц.



Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

**А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Левихин А.А., к.т.н., доц.



# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

## **ТЕОРИЯ И РАСЧЕТ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ**

### **Разделы рабочей программы**

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

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

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

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПСК-1.7 — способность производить поиск, систематизировать и анализировать информацию по конструктивным и схемным решениям существующих двигателей летательных аппаратов и их элементов

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПСК-1.7**

*знания:*

технические характеристики и конструктивные особенности РДТТ, основные характеристики рабочих процессов, теории и расчет основных характеристик. Особенности проектирования РДТТ и элементов конструкции.;

*умения:*

обосновывать технические решения РДТТ, выдвигать гипотезы по модификации существующих конструкций с целью оптимизации параметров.;

*навыки:*

расчет основных энергетических характеристик ДУ, технического описания элементов конструкции и функционирования РДТТ..

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ТЕОРИЯ И РАСЧЕТ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ОСНОВЫ УСТРОЙСТВА И ТЕОРИИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК, ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И РАБОЧИЕ ТЕЛА**.

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

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-4 — Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов авиационной и ракетно-космической техники
- ОПК-6 — Способен осуществлять критический анализ научных достижений в области авиационной и ракетно-космической техники
- ОПК-7 — Способен критически и системно анализировать достижения отрасли двигателестроения и энергетической техники и способы их применения в профессиональном контексте
- ПСК-1.1 — Способен разрабатывать конструкторскую документацию на детали и узлы двигателей и стендового оборудования
- ПСК-1.7 — Способен производить поиск, систематизировать и анализировать информацию по конструктивным и схемным решениям существующих двигателей летательных аппаратов и их элементов
- УК-8 — Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПСК-1.7
5	9	Раздел 1. Раздел 1. Введение. Определения. Особенности. Достоинства, недостатки. Области применения. Классификация.	2	2	2	0	0	10
5	9	Раздел 2. Раздел 2. Особенности конструкции РДТТ. Принципиальная схема, конструктивные схемы РДТТ. Основные элементы и узлы конструкции, назначение.	2	2	2	0	0	10
5	9	Раздел 3. Раздел 3. Заряды твердого топлива. Основные требования. Баллистические ЗТТ. Смесевые ЗТТ. Пастообразные ракетные топлива. Обобщенные характеристики. Формы зарядов. Основы газодинамического расчета РДТТ.	2	2	2	0	0	10
5	9	Раздел 4. Раздел 4. Особенности рабочего процесса в РДТТ. Скорость горения ТРТ как основной расчетный параметр. Основные сведения о физикохимических законах горения баллистических и смесевых ТРТ. Зависимости скорости ТРТ от давления и начальной температуры. Понятие о стационарной и нестационарной скоростях горения ТРТ. Горение твердых ракетных топлив в условиях обдува горячей поверхности газовым потоком. Неустойчивость рабочего процесса в РДТТ. Расчет ЗТТ.	24	14	4	10	10	10
5	9	Раздел 5. Раздел 5. Теплообмен в РДТТ. Общие сведения о теплообмене в РДТТ. Конвективный и лучистый теплообмен. Основные способы тепловой защиты элементов конструкции РДТТ. Расчет ТЗП.	20	10	4	6	10	10
5	9	Раздел 6. Раздел 6. Процесс воспламенения основного РДТТ. Способы воспламенения ЗТТ. Конструктивные схемы. Состав. Методы выбора типа и массы заряда воспламенительного устройства. Расчет изменения давления в камере при запуске.	4	4	4	0	0	10
5	9	Раздел 7. Раздел 7. Управление тягой РДТТ. Способы регулирования тягой по величине и направлению. Отсечка тяги. Пути создания РДТТ с многократным включением.	4	4	4	0	0	10
5	9	Раздел 8. Раздел 8. Прочностные характеристики конструкций. Материалы для изготовления элементов конструкции двигателя. Выбор рабочего давления в камере сгорания. Особенности конструкции корпусов РДТТ из стеклопластика и способы нахождения оптимальной толщины стенки. Методы расчета корпуса двигателя на прочность и несущую способность. Напряженно-деформированное состояние ЗТТ различных типов.	24	14	4	10	10	10
5	9	Раздел 9. Раздел 9. Выбор параметров двигателя. Приближенные методы определения оптимальных проектных параметров РДТТ. Комплекс средств автоматизации проектирования. Разработка принципов, методов и систем автоматизированного проектирования и конструирования РДТТ.	17	12	4	8	5	10
5	9	Раздел 10. Раздел 10. Тенденции развития РДТТ. Применение высокоэффективных компонентов ТРТ в двигателях с раздельным зарядом. Разработка двигателей с регулированием тяги. Повышение надежности РДТТ.	9	4	4	0	5	10
Всего за 9 семестр			108	68	34	34	40	100
Всего по дисциплине			108	68	34	34	40	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 4. Раздел 4. Особенности рабочего процесса в РДТТ.	Особенности расчета ЗТТ в зависимости от формы заряда ТТ	10
2	Раздел 5. Раздел 5. Теплообмен в РДТТ.	Методика расчета ТЗП	6
3	Раздел 8. Раздел 8. Прочностные характеристики конструкций.	Особенности расчета на прочность ЗТТ различных типов.	10
4	Раздел 9. Раздел 9. Выбор параметров двигателя.	Особенности проектирования РДТТ, анализ оптимальных параметров двигателя	8
Всего за 9 семестр			34

#### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 4. Раздел 4. Особенности рабочего процесса в РДТТ.	Изучение литературы по тематике, подготовка в ПЗ	10
2	Раздел 5. Раздел 5. Теплообмен в РДТТ.	Изучение литературы по тематике,	10

		подготовка в ПЗ	
3	Раздел 8. Раздел 8. Прочностные характеристики конструкций.	Изучение литературы по тематике, подготовка в ПЗ	10
4	Раздел 9. Раздел 9. Выбор параметров двигателя.	Изучение литературы по тематике	5
5	Раздел 10. Раздел 10. Тенденции развития РДТТ.	Изучение литературы по тематике	5
<b>Всего за 9 семестр</b>			<b>40</b>

#### 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>9</b>						ДР			Тест	ДР						ДР	Тест

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Тест – тест.

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

- диагностическая работа;
- тест.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. . Разработка РДТТ с оптимальными параметрами. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, 44 экз.
2. А. В. Алиев, Г. Н. Амарантов, В. Ф. Ахмадеев. . Внутренняя баллистика РДТТ. Москва: Машиностроение, 2007, эл. рес.
3. Б. Т. Ерохин. . Теория и проектирование ракетных двигателей. Санкт-Петербург: Лань, 2022, эл. рес.
4. В. П. Белов. . Проектирование элементов конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2012, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

не требуются.

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

1. <https://e.lanbook.com/book/168767> — ЭБС Лань;
2. <https://ibooks.ru/> - ЭБС "Айбукс";
3. <http://library.voenmeh.ru/jirbis2/> Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова; — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

### Современные профессиональные базы данных:

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

### Информационные справочные системы:

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

### 5.5. Программное обеспечение:

не требуется.

### 5.6. Информационные технологии:

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



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

### **6.1. Лекционные занятия:**

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

### **6.2. Практические занятия:**

1. Проектор.

### **6.3. Прочее:**

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

### **Аннотация рабочей программы**

Дисциплина **ТЕОРИЯ И РАСЧЕТ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению 24.05.02 *Проектирование авиационных и ракетных двигателей*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:  
ПСК-1.7 способность производить поиск, систематизировать и анализировать информацию по конструктивным и схемным решениям существующих двигателей летательных аппаратов и их элементов.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с устройством, функционированием РДТТ и составных частей, особенностями тепловых процессов, газодинамики.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- тест.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 з.е., **108 ч**. Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**40 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 40 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

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

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

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

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
<b>Раздел 4. Раздел 4. Особенности рабочего процесса в РДТТ.</b>		
Изучение литературы по тематике, подготовка в ПЗ	Б. Т. Ерохин. . Теория и проектирование ракетных двигателей: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (2)	10
Итого по разделу 4		10
<b>Раздел 5. Раздел 5. Теплообмен в РДТТ.</b>		
Изучение литературы по тематике, подготовка в ПЗ	Б. Т. Ерохин. . Теория и проектирование ракетных двигателей: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (8) . Разработка РДТТ с оптимальными параметрами: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (-)	10
Итого по разделу 5		10
<b>Раздел 8. Раздел 8. Прочностные характеристики конструкций.</b>		
Изучение литературы по тематике, подготовка в ПЗ	Б. Т. Ерохин. . Теория и проектирование ракетных двигателей: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (3) В. П. Белов. . Проектирование элементов конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2012 (с. 48-87)	10
Итого по разделу 8		10
<b>Раздел 9. Раздел 9. Выбор параметров двигателя.</b>		
Изучение литературы по тематике	Б. Т. Ерохин. . Теория и проектирование ракетных двигателей: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (6)	5
Итого по разделу 9		5
<b>Раздел 10. Раздел 10. Тенденции развития РДТТ.</b>		
Изучение литературы по тематике	Б. Т. Ерохин. . Теория и проектирование ракетных двигателей: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (с. 23-24)	5
Итого по разделу 10		5

## ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- тест;
- экзамен.

### Критерии оценивания

#### Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

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

#### Тест

Тест состоит из 20 вопросов. Тест считается сданным при наличии правильных ответов на не менее чем на 60% вопросов. Комплект тестовых заданий входят в состав УМК дисциплины.

#### Экзамен

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

Для получения оценки "хорошо" экзамен проходит в виде тестирования. Тест состоит из 20 вопросов.

Тест считается сданным при наличии правильных ответов на не менее чем на 80% вопросов.

Для получения оценки "отлично" требуется ответить на два вопроса экзаменационного билета.

Оценивается полнота и правильность ответа по билету.

Оценка «отлично»: полнота ответа на вопросы билета: не менее 80% по каждому вопросу, ответы на 2-3 дополнительных вопроса со степенью полноты ответа не менее 50% по каждому.

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПСК-1.7	
5	9	Раздел 1. Раздел 1. Введение.	2	2	2	0	0	10	Тест
5	9	Раздел 2. Раздел 2. Особенности конструкции РДТТ.	2	2	2	0	0	10	Тест
5	9	Раздел 3. Раздел 3. Заряды твердого топлива.	2	2	2	0	0	10	Тест
5	9	Раздел 4. Раздел 4. Особенности рабочего процесса в РДТТ.	24	14	4	10	10	10	Тест
5	9	Раздел 5. Раздел 5. Теплообмен в РДТТ.	20	10	4	6	10	10	Тест
5	9	Раздел 6. Раздел 6. Процесс воспламенения основного РДТТ.	4	4	4	0	0	10	Тест
5	9	Раздел 7. Раздел 7. Управление тягой РДТТ.	4	4	4	0	0	10	Тест
5	9	Раздел 8. Раздел 8. Прочностные характеристики конструкций.	24	14	4	10	10	10	Тест
5	9	Раздел 9. Раздел 9. Выбор параметров двигателя.	17	12	4	8	5	10	Тест
5	9	Раздел 10. Раздел 10. Тенденции развития РДТТ.	9	4	4	0	5	10	Тест
Всего за 9 семестр			108	68	34	34	40	100	
Всего по дисциплине			108	68	34	34	40	100	