

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

\_\_\_\_\_ Левихин А.А.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ТЕОРИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ВРД

Направление/специальность подготовки	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
Специализация/профиль/программа подготовки	Проектирование жидкостных ракетных двигателей
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	4	144	68	34	0	34	76	0	0	76	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: 2025

Программу составил:

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ \_\_\_\_\_

Юнаков Леонид Павлович, к.т.н., доцент, доцент

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 КОНСТРУИРОВАНИЕ ВРД**

### **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:

ОПК-3 — Способен разрабатывать нормативно-техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ОПК-3**

*знания:*

Знать основные типы и принципы действия ВРД; идеальные и действительные циклы ВРД; общие вопросы теории и конструирования ВРД, схемы, узлы и элементы конструкции, рабочие процессы, параметры;;

*умения:*

Производить термодинамический расчет ТРД и ТРДД; определять тягу, удельную тягу, расход топлива, удельный расход топлива ТРД и ТРДД;рассчитывать характеристики ТРД и ТРДД; отличать компоновки и конструктивные особенности различных типов ВРД и их основных элементов: компрессоров, камер сгорания, турбин, входных и выходных устройств; выбирать методы регулирования ТРД и ТРДД;;

*навыки:*

Разработка принципиальных схем ВРД, определение основных параметров и проектирование общего конструктивного облика ВРД и их составных узлов;.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ТЕОРИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ВРД** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОПЕРЕДАЧА, ТОПЛИВА РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, ТЕОРИЯ ЛОПАТОЧНЫХ МАШИН, АЭРОГИДРОГАЗОДИНАМИКА.**

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АГРЕГАТОВ ВРД.**

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические и экспериментальные исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности
- 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-5 — Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач
- ОПК-6 — Способен осуществлять критический анализ научных достижений в области авиационной и ракетно-космической техники
- ПК-5 — Способен проводить расчёты процессов в ракетных двигателях, прочности и надёжности изделий и их составных элементов

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 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		ОПК-3
5	9	<b>Раздел 1. Общие вопросы теории ВРД.</b> Основные типы и принцип действия ВРД. Тяга, удельные параметры, коэффициенты полезного действия ВРД. Идеальный и реальный циклы ВРД. Работа и КПД цикла. Зависимость удельной тяги, эффективного КПД и удельного расхода топлива от параметров цикла.	20	6	6	0	14	25
5	9	<b>Раздел 2. Принцип действия, устройство и характеристики основных узлов ВРД.</b> Входные устройства. Компрессоры. Камеры сгорания. Турбины. Сопла и Выходные устройства. Компонировочные схемы ВРД.	64	34	10	24	30	25
5	9	<b>Раздел 3. Термозагазодинамический расчет ВРД.</b> Основные уравнения и зависимости термодинамического расчета Коэффициенты, характеризующие эффективность работы основных узлов ВРД. Определение термо и газодинамических параметров потока в характерных сечениях проточной части ВРД Расчет тяги, расходов воздуха, газа и площадей характерных сечений проточной части.	32	18	8	10	14	20
5	9	<b>Раздел 4. Двухконтурные двигатели (ТРДД).</b> Схемы и параметры ТРДД Выбор степени двухконтурности и степени повышения давления вентилятора. Рабочий процесс ТРДД и раздельными контурами. Рабочий процесс ТРДД со смешением потоков. Расчет параметров ТРДД.	22	8	8	0	14	20
5	9	<b>Раздел 5. Прямоточные двигатели воздушно - реактивные двигатели.</b> Конструкция ПВРД. Расчет основных параметров ПВРД.	6	2	2	0	4	10
<b>Всего за 9 семестр</b>			144	68	34	34	76	100
<b>Всего по дисциплине</b>			144	68	34	34	76	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 2. Принцип действия, устройство и характеристики основных узлов ВРД.	Схема и устройство осевой турбины ТРД	5
2		Схема и устройство осевого компрессора ТРД	5
3		Основные элементы, устройство и функционирование системы топливопитания ТРД	5
4		Система смазки и суфлирования ТРД	5
5		Конструкция и функционирование основной камеры сгорания ТРД	4
6	Раздел 3. Термозагазодинамический расчет ВРД.	Термодинамический расчет ВРД различных схем	10
<b>Всего за 9 семестр</b>			34

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

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Общие вопросы теории ВРД.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	14
2	Раздел 2. Принцип действия, устройство и характеристики основных узлов ВРД.	Подготовка к практическому занятию	15
3		Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	15
4	Раздел 3. Термозагазодинамический расчет ВРД.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	7
5		Подготовка к практическим занятиям	7

6	Раздел 4. Двухконтурные двигатели (ТРДД).	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	14
7	Раздел 5. Прямоточные двигатели воздушно - реактивные двигатели.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	4
<b>Всего за 9 семестр</b>			<b>76</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
9					Отч. по ПЗ	ДР				ДР	Отч. по ПЗ				Отч. по ПЗ	ДР	Вопр. Экз

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Отч. по ПЗ – отчет по практическому заданию;
- Вопр. Экз – вопросы к экзамену.

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

- диагностическая работа;
- отчет по практическому заданию;
- вопросы к экзамену.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. А. Иноземцев, М. А. Нихамкин, В. Л. Сандрацкий. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Т. 1 Общие сведения. Основные параметры и требования. Конструктивные и силовые схемы. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008, эл. рес.
2. А. А. Иноземцев, М. А. Нихамкин, В. Л. Сандрацкий. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Т. 2 Компрессоры. Камеры сгорания. Форсажные камеры. Турбины. Выходные устройства. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008, эл. рес.
3. А. М. Лабанова, Ю. В. Анискевич, Д. Г. Кравченко. . Устройство газотурбинного двигателя АИ-25. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017, 34 экз.
4. В. А. Скибин [и др.]. Самолёты и вертолёты. Т. IV-21 Авиационные двигатели . М.: Машиностроение, 2010, эл. рес.
5. В. В. Кулагин, В. С. Кузьмичев. . Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. Москва: Машиностроение, 2020, эл. рес.
6. Л. П. Юнаков. . Основы теории авиационных газотурбинных двигателей. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, 25 экз.
7. Л. П. Юнаков. . Термодинамический расчёт ТРД и ТРДФ. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, 30 экз.
8. Л. П. Юнаков. . Основы теории авиационных газотурбинных двигателей. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, эл. рес.
9. Л. П. Юнаков, А. И. Мустейкис, А. А. Левихин. . Термодинамический расчёт ТРДД и ТРДДФ. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019, 44 экз.

### 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/> — ЭБС Лань;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=474](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=474) — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
3. <https://urait.ru/> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов..

### 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;
2. Препарированные натурные образцы отдельных элементов РД..

### **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 КОНСТРУИРОВАНИЕ ВРД** является дисциплиной **обязательной части 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*:  
ОПК-3 Способен разрабатывать нормативно-техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением принципа работы воздушно- реактивных двигателей (ВРД), типов ВРД, устройства и принципа действия основных узлов ВРД, основных показателей, термодинамических и газодинамических параметров процессов, областей применения различных типов двигательных установок с ВРД.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- отчет по практическому заданию;
- вопросы к экзамену.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **4 з.е., 144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**76 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 76 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 1. Общие вопросы теории ВРД.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	А. А. Иноземцев, М. А. Нихамкин, В. Л. Сандрацкий. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Т. 1 Общие сведения. Основные параметры и требования. Конструктивные и силовые схемы: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008 (2) Л. П. Юнаков. . Основы теории авиационных газотурбинных двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (1,2,3,4) В. В. Кулагин, В. С. Кузьмичев. . Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: Москва: Машиностроение, 2020 (1,5,6,7)	14
Итого по разделу 1		14
<b>Раздел 2. Принцип действия, устройство и характеристики основных узлов ВРД.</b>		
Подготовка к практическому занятию	А. М. Лабанова, Ю. В. Анискевич, Д. Г. Кравченко. . Устройство газотурбинного двигателя АИ-25: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (1)	15
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	А. А. Иноземцев, М. А. Нихамкин, В. Л. Сандрацкий. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Т. 2 Компрессоры. Камеры сгорания. Форсажные камеры. Турбины. Выходные устройства: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008 (5,6,7,8,9) В. В. Кулагин, В. С. Кузьмичев. . Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: Москва: Машиностроение, 2020 (2,3,4)	15
Итого по разделу 2		30
<b>Раздел 3. Термодинамический расчет ВРД.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	Л. П. Юнаков. . Термодинамический расчёт ТРД и ТРДФ: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (1) Л. П. Юнаков, А. И. Мустейкис, А. А. Левихин. . Термодинамический расчёт ТРДД и ТРДДФ: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (1-4) Л. П. Юнаков. . Основы теории авиационных газотурбинных двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (1,2,3,4) В. В. Кулагин, В. С. Кузьмичев. . Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: Москва: Машиностроение, 2020 (8,9)	7
Подготовка к практическим занятиям		7
Итого по разделу 3		14
<b>Раздел 4. Двухконтурные двигатели (ТРДД).</b>		

Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	В. А. Скибин [и др.]. Самолёты и вертолёт. Т. IV-21 Авиационные двигатели : М.: Машиностроение, 2010 (глава 3.4)	14
Итого по разделу 4		14
<b>Раздел 5. Прямоточные двигатели воздушно - реактивные двигатели.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	Л. П. Юнаков. . Основы теории авиационных газотурбинных двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (1)	4
Итого по разделу 5		4

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- вопросы к экзамену;
- отчет по практическому заданию;
- экзамен.

### Критерии оценивания

#### Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

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

#### Вопросы к экзамену

1. Основные типы и принцип действия ВРД.
2. Идеальный и действительный циклы ТРД.
3. Работа идеального и действительного цикла ТРД. Зависимость работы цикла от степени сжатия и степени подогрева.
4. КПД идеального и действительного цикла ТРД. Зависимость КПД цикла от степени сжатия и степени подогрева.
5. Связь удельных параметров ТРД с параметрами цикла.
6. Цикл ТРД с форсажной камерой. Сравнение работы и КПД циклов ТРДФ и ТРД .
7. Цикл ТРД с форсажной камерой.
8. Тяга ВРД.
9. Мощность ВРД, полетный КПД.
10. Коэффициентов полезного действия ВРД.
11. Конструкции и характеристики входные устройства ВРД.
12. Конструкция и характеристики центробежных компрессоров.
13. Конструкция и характеристики осевых компрессоров.
14. Камеры сгорания. Классификация, основные требования.
15. Основные КС: конструктивная схема, организация процесса.
16. Камеры сгорания ПВРД и форсажных камер.
17. Конструкция и характеристики турбин.
18. Конструкция и характеристики выходных устройств и сопла.
19. Балансовые соотношения расходов воздуха и газа в проточной части двигателя, мощности компрессора и турбины.
20. Уравнения и зависимости для термодинамического расчета компрессора и коэффициенты, определяющие его эффективность работы.
21. Уравнения и зависимости для термодинамического расчета основной камеры сгорания и коэффициенты, определяющие ее эффективность работы.
22. Уравнения и зависимости для термодинамического расчета форсажной камеры сгорания компрессора и коэффициенты, определяющие его эффективность работы.
23. Уравнения и зависимости для термодинамического расчета входного устройства и сопла компрессора и коэффициенты, определяющие его эффективность работы.
24. Цикл ТРДД с отдельными контурами. Определение степени расширения турбины вентилятора.
25. Цикл ТРДД без смешения потоков. Определение параметров смешенного потока. Сравнение удельного расхода топлива с ТРДД с отдельными контурами.
26. Распределение энергии между контурами ТРДД.
27. Выбор степени двухконтурности и степени повышения давления в вентиляторе.
28. Зависимость удельной тяги и удельного расхода топлива от степени двухконтурности.
29. Совместная работа компрессора и входного устройства. Основные соотношения.
30. Совместная работа компрессора и турбины. Основные соотношения.
31. Совместная работа турбины и сопла. Основные соотношения.
32. Совместная работа камеры сгорания и турбины. Основные соотношения.
35. Высотно-скоростные и дроссельные характеристики. методы расчета.

36. Законы регулирования ТРД.
37. Конструкция и параметры ПВРД.
38. Основные и удельные параметры ПВРД.
39. Расчетные зависимости для определения основных параметров ПВРД.
40. Особенности рабочего процесса и конструкции ПВРД для гиперзвуковых скоростей полета

#### **Отчет по практическому заданию**

Отчет по работе выполненной на ПЗ представляется в печатном виде в формате, предусмотренном шаблоном отчета по работе. Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

В случае если оформление отчета и поведение студента во время защиты соответствуют указанным требованиям, студент получает зачет по данной практической работе.

Основаниями для доработки могут служить:

- небрежное выполнение,
- низкое качество графического материала (неверный выбор масштаба чертежей, отсутствие указания единиц измерения на графиках),

Отчет не может быть принят и подлежит переработке в случае:

- отсутствия необходимых разделов,
- отсутствия необходимого графического материала,
- некорректной обработки результатов вычислений.

Комплект практических заданий входит в состав УМК дисциплины.

#### **Экзамен**

К сдаче экзамена допускаются обучающиеся при условии выполнения и защиты всех практических заданий, предусмотренных программой дисциплины.

Для получения оценки «удовлетворительно» необходимо пройти тестирование с результатами не менее 60% правильных ответов.

Для получения оценок «хорошо» и «отлично» студенту предлагается экзамен в форме ответов по билету. В экзаменационном билете два теоретических вопроса. Оценивается полнота и правильность ответа по билету.

Оценка «хорошо»: полнота ответа на вопросы билета: не менее 80% по каждому вопросу.

Оценка «отлично»: полнота ответа на вопросы билета: не менее 80% по каждому вопросу, ответы на 2-3 дополнительных вопроса из списка 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		ОПК-3	
5	9	Раздел 1. Общие вопросы теории ВРД.	20	6	6	0	14	25	Вопросы к экзамену
5	9	Раздел 2. Принцип действия, устройство и характеристики основных узлов ВРД.	64	34	10	24	30	25	Отчет по практическому заданию, Вопросы к экзамену
5	9	Раздел 3. Термогазодинамический расчет ВРД.	32	18	8	10	14	20	Отчет по практическому заданию, Вопросы к экзамену
5	9	Раздел 4. Двухконтурные двигатели (ТРДД).	22	8	8	0	14	20	Вопросы к экзамену
5	9	Раздел 5. Прямоточные двигатели воздушно - реактивные двигатели.	6	2	2	0	4	10	Вопросы к экзамену
Всего за 9 семестр			144	68	34	34	76	100	
Всего по дисциплине			144	68	34	34	76	100	



## Оценочные материалы по дисциплине ТЕОРИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ВРД

### ОПК-3 - Способен разрабатывать нормативно-техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью

- № 1 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
В ТРД при увеличении степени повышения давления в компрессоре и постоянной степени подогрева температура газа за турбиной:
- 1) увеличивается;
  - 2) уменьшается;
  - 3) остается постоянной
- № 2 Прочитайте текст и установите соответствие  
Установите соответствие классификации камер сгорания
1. по конструктивному исполнению
  2. по направлению движения потока газа
  3. по типу образования топливовоздушной смеси
- А. прямоточные, противоточные и петлевые
- Б. трубчатые (индивидуальные), кольцевые и трубчато-кольцевые
- В. а) с впрыском топлива по потоку газа; б) с впрыском топлива против потока газа; в) с испарительным смесеобразованием
- Г. основные и форсажные
- № 3 Прочитайте текст и установите соответствие  
Установите соответствие узлов ТРД их описанию и назначению
1. входное устройство (ВУ)
  2. компрессор
  3. основная камера сгорания (КС)
- А. устройство, в котором в результате сгорания топлива осуществляется повышение температуры поступающего в него воздуха (газа). Основная КС расположена перед турбиной
- Б. лопаточная машина, в которой воздуху сообщается энергия, идущая на повышение его полного давления.
- В. устройство для забора атмосферного воздуха и подвода его к ГТД и где в полете ЛА происходит торможение набегающего потока и преобразование его кинетической энергии в потенциальную энергию давления воздуха на входе в ГТД
- Г. представляет собой лопаточную машину, в которой происходит отбор энергии от сжатого и нагретого газа и преобразование ее в механическую энергию вращения ротора
- № 4 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Описать принцип действия ТРД
- № 5 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
В состав генератора мощности ТРДД входит
- 1) вентилятор
  - 2) компрессор высокого давления (КВД)

- 3) камера сгорания
- 4) турбина высокого давления (ТВД)
- 5) турбина низкого давления (ТНД)
- 6) камера смешения
- 7) сопло

№ 6 Прочитайте текст и установите последовательность  
Установите последовательность расположения элементов ТРДФ

- 1) форсажная камера сгорания
- 2) основная камера сгорания
- 3) сопло
- 4) компрессор
- 5) турбина

№ 7 Прочитайте текст и установите последовательность  
Установите последовательность расположения элементов камер сгорания ТРДФ

- 1. форсунка
- 2. диффузор
- 3. фронтное устройство
- 4. жаровая труба

№ 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Тяга ВРД создается за счет:

- 1) Действия воздушного винта
- 2) обтекания лопаток компрессора
- 3) Истечения продуктов сгорания через сопло

№ 9 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие типы компрессоров применяются в ГТД

- 1) осевые
- 2) центробежные
- 3) диагональные
- 4) поршневые

№ 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие типы сопел применяются в ТРД в зависимости от режима истечения газа

- 1) регулируемые
- 2) жесткие
- 3) дозвуковые
- 4) сверхзвуковые

№ 11 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Объяснить наличие максимума общего КПД и минимума удельного расхода топлива по температуре газа перед турбиной

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

В ТРДФ при увеличении степени повышения давления температура газа перед соплом  $T_{ф}^*$  и подводимое к циклу тепло  $Q$ :

- 1) увеличиваются;
- 2) уменьшаются;
- 3) остаются постоянными;
- 4)  $T_{ф}^*$  растет,  $Q$  уменьшается;
- 5)  $T_{ф}^*$  уменьшается,  $Q$  растет