

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 авиационных двигателей и энергетических установок
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космическая техника
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	
3	6	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: 2026

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 Саваровский А.А., к.т.н. \_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Саваровский А.А., к.т.н. \_\_\_\_\_

# **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:

ПСК-1.3 — Способен выполнять расчёты простых систем, деталей и узлов

ПСК-1.7 — Способен 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-1.3**

*знания:*

теории ВРД и методик проведения расчёты простых систем, деталей и узлов авиационных ВРД и ГТД;

*умения:*

выполнять расчёты простых систем, деталей и узлов авиационных ВРД и ГТД;

*навыки:*

проведения расчётов простых систем, деталей и узлов авиационных ВРД и ГТД.

### **ПСК-1.7**

*знания:*

конструктивных и схемных решений двигателей ЛА и их элементов;

*умения:*

выполнения поиска и систематизации и анализа конструктивных и схемных решений двигателей ЛА и их элементов;

*навыки:*

производить поиск и систематизацию и анализ конструктивных и схемных решений двигателей ЛА и их элементов.

## 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**.

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 экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности
- ПСК-1.3 — Способен выполнять расчёты простых систем, деталей и узлов

### 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		ПСК-1.3	ПСК-1.7
3	6	Раздел 1. Общие вопросы теории ВРД. 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.	18	8	8	0	10	10	10
3	6	Раздел 2. Принцип действия, устройство и характеристики основных узлов ВРД. Входные устройства. Компрессоры. Камеры сгорания. Турбины. Сопла и Выходные устройства. Компоновочные схемы ВРД.	64	32	8	24	32	30	30
3	6	Раздел 3. Термодинамический расчет ВРД. 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.	36	18	8	10	18	25	25
3	6	Раздел 4. Двухконтурные двигатели (ТРДД). 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.	20	8	8	0	12	25	25
3	6	Раздел 5. Прямоточные двигатели воздушно - реактивные двигатели. Конструкция ПВРД. Расчет основных параметров ПВРД.	6	2	2	0	4	10	10
Всего за 6 семестр			144	68	34	34	76	100	100
Всего по дисциплине			144	68	34	34	76	100	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.	Основные элементы, устройство и функционирование системы топливопитания ТРД	5
2		Система смазки и суфлирования ТРД	5
3		Конструкция и функционирование основной камеры сгорания ТРД	4
4		Схема и устройство осевого компрессора ТРД	5
5		Схема и устройство осевой турбины ТРД	5
6	Раздел 3. Термодинамический расчет ВРД.	Термодинамический расчет ВРД различных схем	10
Всего за 6 семестр			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	10
2	Раздел 2. Принцип действия, устройство и характеристики основных узлов ВРД.	Подготовка к практическому занятию	16
3		Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	16
4	Раздел 3. Термодинамический расчет ВРД.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	9

5		Подготовка к практическим занятиям	9
6	Раздел 4. Двухконтурные двигатели (ТРДД).	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	12
7	Раздел 5. Прямоточные двигатели воздушно - реактивные двигатели.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	4
<b>Всего за 6 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
6						ДР		Отч. по ПЗ		ДР		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://ura.it.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-космическая техника БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПСК-1.3 Способен выполнять расчёты простых систем, деталей и узлов;

ПСК-1.7 Способен 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 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	В. В. Кулагин, В. С. Кузьмичев. . Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: Москва: Машиностроение, 2020 (1,5,6,7) Л. П. Юнаков. . Основы теории авиационных газотурбинных двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (1,2,3,4) 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)	10
Итого по разделу 1		10
<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)	16
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)	16
Итого по разделу 2		32
<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) В. В. Кулагин, В. С. Кузьмичев. . Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: Москва: Машиностроение, 2020 (8,9)	9
Подготовка к практическим занятиям	Л. П. Юнаков. . Основы теории авиационных газотурбинных двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (1,2,3,4)	9
Итого по разделу 3		18
<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)	12
Итого по разделу 4		12
<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		ПСК-1.3	ПСК-1.7	
3	6	Раздел 1. Общие вопросы теории ВРД.	18	8	8	0	10	10	10	Вопросы к экзамену
3	6	Раздел 2. Принцип действия, устройство и характеристики основных узлов ВРД.	64	32	8	24	32	30	30	Отчет по практическому заданию, Вопросы к экзамену
3	6	Раздел 3. Термогазодинамический расчет ВРД.	36	18	8	10	18	25	25	Отчет по практическому заданию, Вопросы к экзамену
3	6	Раздел 4. Двухконтурные двигатели (ТРДД).	20	8	8	0	12	25	25	Вопросы к экзамену
3	6	Раздел 5. Прямоточные двигатели воздушно - реактивные двигатели.	6	2	2	0	4	10	10	Вопросы к экзамену
Всего за 6 семестр			144	68	34	34	76	100	100	
Всего по дисциплине			144	68	34	34	76	100	100	



**ПСК-1.3 - Способен выполнять расчёты простых систем, деталей и узлов**

- № 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Что характеризует эффективный кпд ВРД и тяговый кпд ВРД
- № 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Перечислить элементы конструкции ТРДД без смещения потоков, входящие в его внутренний контур. Что входит в состав генератора мощности ТРДД
- № 3 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
- № 4 Прочитайте текст и установите соответствие  
Установите соответствие узлов камеры сгорания их описанию и назначению
1. диффузор
  2. форсунка
  3. фронтное устройство
- А. служит для распыливания жидкого топлива
- Б. предназначено для подготовки топливо-воздушной смеси и стабилизации горения
- В. необходимо для организации процессов горения и смешения продуктов сгорания с воздухом перед турбиной
- Г. предназначено для снижения скорости поступающего из компрессора воздуха
- № 5 Прочитайте текст и установите последовательность  
Установите последовательность расположения элементов камер сгорания ТРДФ
1. форсунка
  2. диффузор
  3. фронтное устройство
  4. жаровая труба
- № 6 Прочитайте текст и установите последовательность  
Установите последовательность расположения элементов ТРДФ
1. вентилятор
  2. компрессор низкого давления
  3. турбина низкого давления

4. компрессор высокого давления
5. турбина высокого давления
6. камера сгорания

- № 7 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
КПД идеального цикла ТРД зависит от:
- 1) степени сжатия и степени подогрева в цикле
  - 2) степени сжатия, степени подогрева в цикле и КПД сжатия и расширения
  - 3) только от степени сжатия
  - 4) только от степени подогрева
  - 5) только от КПД сжатия и расширения
- № 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
В каком месте расположены подпорные ступени
- 1) перед вентилятором
  - 2) между вентилятором и компрессором высокого давления
  - 3) между компрессором высокого давления и камерой сгорания
  - 4) между камерой сгорания и турбиной высокого давления
- № 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
В ТРДФ при увеличении степени повышения давления температура газа перед соплом  $T_f^*$  и подводимое к циклу тепло  $Q$ :
- 1) увеличиваются;
  - 2) уменьшаются;
  - 3) остаются постоянными;
  - 4)  $T_f^*$  растет,  $Q$  уменьшается;
  - 5)  $T_f^*$  уменьшается,  $Q$  растет
- № 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
В каком узле двигателя происходит расширение рабочего тела
- 1) входное устройство (ВУ)
  - 2) компрессор
  - 3) камера сгорания
  - 4) турбина
  - 5) сопло
- № 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
В каком узле двигателя происходит сжатие рабочего тела
- 1) входное устройство

- 2) компрессор
- 3) камера сгорания
- 4) турбина
- 5) сопло

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

В состав газогенератора входят:

- 1) компрессор
- 2) камера сгорания
- 3 турбина
- 4 сопло

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

№ 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Описать принцип действия турбореактивного двигателя ТРД

№ 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Описать принцип действия и конструкцию двухконтурного турбореактивного двигателя ТРДД

№ 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 установите соответствие

- 1. Достоинство осевого компрессора
- 2. Недостаток осевого компрессора
- 3. Достоинство центробежного компрессора

А. большие поперечные размеры; – низкий КПД

Б. пологая характеристика; – высокая степень сжатия ступени

В. малые поперечные размеры, малая масса; – высокие КПД (до 0,8); – высокая производительность

Г. многоступенчатость (трудность согласования работ); – крутые характеристики

№ 5 Прочитайте текст и установите последовательность

Установите последовательность расположения элементов ТРДФ

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

№ 6 Прочитайте текст и установите последовательность

Установите последовательность расположения элементов турбовального двигателя

- 1) свободная турбина
- 2) основная камера сгорания
- 3) выходное устройство
- 4) компрессор
- 5) турбина турбовального двигателя

№ 7 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

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

Увеличение степени подогрева приводит:

- 1) к росту эффективной работы цикла  $L_e$
- 2) к росту тягового КПД
- 3) к уменьшению эффективной работы цикла
- 4) к уменьшению тягового КПД

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

Увеличение степени подогрева при постоянной степени сжатия приводит:

- 1) к уменьшению общего количества подводимого с топливом тепла  $Q_1$
- 2) к росту относительной доли тепла, компенсирующей потери
- 3) к увеличению общего количества подводимого с топливом тепла  $Q_1$
- 4) к уменьшению относительной доли тепла, компенсирующей потери

№ 10 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

№ 11 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

№ 12 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