

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



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе

  
\_\_\_\_\_ Н.В.Лобов

« 11 » января 20 22 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок  
\_\_\_\_\_  
(наименование)

**Форма обучения:** очная  
\_\_\_\_\_  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** специалитет  
\_\_\_\_\_  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** 360 (10)  
\_\_\_\_\_  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей  
\_\_\_\_\_  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок (СУОС)  
\_\_\_\_\_  
(наименование образовательной программы)

# 1. Общие положения

## 1.1. Цели и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является:

– получение знаний по термогазодинамическим и энергетическим основам работы воздушно-реактивных двигателей различных типов и их узлов, организации совместной работы узлов, термодинамическим основам регулирования параметров функционирования ВРД и их эксплуатационным характеристикам; умений и навыков применения математического и физического моделирования для определения оптимальных параметров рабочего процесса авиационных двигателей методами численного эксперимента (вычислительными методами), расчета термогазодинамических, геометрических и кинематических параметров авиационных двигателей, построения эксплуатационных характеристик авиационных двигателей.

Задачи учебной дисциплины:

- формирование знаний

– теоретических основ рабочих процессов в авиационных двигателях и энергетических установках различных типов;

– методик и этапов проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов процессов в авиационных двигателях и энергетических установках;

– о требованиях к составлению описаний принципов действия и устройства проектируемых авиационных двигателей и энергетических установок.

- формирование умений

– пользоваться современными вычислительными пакетами для моделирования рабочих процессов в авиационных двигателях и энергетических установках и их агрегатах;

– проводить газодинамические, тепловые и прочностные расчёты авиационных двигателей и энергетических установок и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования;

– составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий.

формирование навыков

– постановки и решения расчётно-теоретических и экспериментальных исследовательских задач; анализа и обобщения результатов моделирования при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при проектировании авиационных двигателей и энергетических установок;

– проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов авиационных двигателей и энергетических установок и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования с применением современных программных средств и анализа полученных результатов для принятия технических решений;

– составления описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с научно-техническим и технико-экономическим обоснованием принятых проектно-технических решений.

## 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

– воздушно-реактивные двигатели различных типов, принципы их работы;

– среда, в которой эксплуатируются летательные аппараты;

– история эволюционного развития авиационно-космической техники;

– основы теории полета;

– летательные аппараты и их энергетические комплексы;

– силовые и энергетические установки летательных аппаратов

### 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

### 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.2	ИД-1ПК-1.2	способен проводить стационарные расчеты термодинамических и газо-динамических процессов в авиационных двигателях и энергетических установках а также сбор и обработку экспериментальных данных.	Знает теоретические основы рабочих процессов в авиационных двигателях и энергетических установках.	Экзамен
ПК-1.2	ИД-2ПК-1.2	способен проводить стационарные расчеты термодинамических и газодинамических процессов в авиационных двигателях и энергетических установках а также сбор и обработку экспериментальных данных.	Умеет пользоваться современными вычислительными пакетами для моделирования рабочих процессов в авиационных двигателях и энергетических установках и их агрегатах.	Курсовая работа
ПК-1.2	ИД-3ПК-1.2	способен проводить стационарные расчеты термодинамических и газо-динамических процессов в авиационных двигателях и энергетических установках а также сбор и обработку экспериментальных данных.	Владет навыками постановки и решения расчётно-теоретических и экспериментальных исследовательских задач; анализа и обобщения результатов моделирования при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при проектировании авиационных двигателей и энергетических установок.	Отчёт по практическом у занятию

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.1	ИД-1ПК-2.1	Способен проводить газодинамические, тепловые и прочностные расчёты высоконагруженных узлов авиационных двигателей с применением современных коммерческих вычислительных программных пакетов.	Знает методики и этапность проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов процессов в авиационных двигателях и энергетических установках.	Экзамен
ПК-2.1	ИД-2ПК-2.1	Способен проводить газодинамические, тепловые и прочностные расчёты высоконагруженных узлов авиационных двигателей с применением современных коммерческих вычислительных программных пакетов.	Умеет проводить газодинамические, тепловые и прочностные расчёты авиационных двигателей и энергетических установок и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования.	Отчёт по практическом у занятию
ПК-2.1	ИД-3ПК-2.1	Способен проводить газодинамические, тепловые и прочностные расчёты высоконагруженных узлов авиационных двигателей с применением современных коммерческих вычислительных программных пакетов.	Владеет навыками проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов авиационных двигателей и энергетических установок и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования с применением современных программных средств и анализа полученных результатов для принятия технических решений.	Защита лабораторной работы
ПК-2.4	ИД-1ПК-2.4	Способен создавать технические отчеты по результатам проведенных исследований и проектных работ, с обоснованием и анализом принятых проектно-технических решений.	Знает требования к составлению описаний принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов.	Контрольная работа
ПК-2.4	ИД-2ПК-2.4	Способен создавать технические отчеты по	Умеет составлять описания принципов	Курсовая работа

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		результатам проведенных исследований и проектных работ, с обоснованием и анализом принятых проектно-технических решений.	действия и устройства проектируемых изделий.	
ПК-2.4	ИД-3ПК-2.4	Способен создавать технические отчеты по результатам проведенных исследований и проектных работ, с обоснованием и анализом принятых проектно-технических решений.	Владеет навыками составления описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с научно-техническим и технико-экономическим обоснованием принятых проектно-технических решений.	Защита лабораторной работы

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		8	9
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	138	66	72
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	78	46	32
- лабораторные работы (ЛР)	34	16	18
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	18		18
- контроль самостоятельной работы (КСР)	8	4	4
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	150	78	72
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	72	36	36
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)	18		18
Общая трудоемкость дисциплины	360	180	180

### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	
				СРС

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
8-й семестр				
Термодинамические циклы ТРД.	8	4	0	25
<p>Введение. Принцип создания тяги ТРД. Изменение параметров рабочего тела и превращения энергии по тракту ТРД. Основные параметры ТРД. Предмет и задачи дисциплины.</p> <p>Тема 1. Идеальный цикл ТРД          Сущность второго закона термодинамики для тепловых машин. Условия и диаграммы идеального цикла с подводом тепла при постоянном давлении и его реализация в ТРД. Основные термодинамические процессы в цикле с подводом тепла при постоянном давлении, взаимосвязь параметров в характерных точках цикла применительно к работе ТРД.          Работа и термический КПД идеального цикла, их зависимость от параметров рабочего процесса ТРД (суммарной степени повышения давления воздуха в двигателе и температуры газа перед турбиной).          Особенности цикла со ступенчатым подводом тепла при постоянных давлениях.</p> <p>Тема 2. Реальный (действительный) цикл ТРД          Потери, учитываемые в действительных (реальных) циклах. Диаграммы действительного цикла ТРД с подводом тепла при постоянном давлении в координатах <math>T - S</math> и их сравнение с диаграммами идеального цикла. Характеристика основных процессов действительного цикла. Внутренняя (индикаторная) и эффективная (полезная) работа действительного цикла ТРД. Эффективный, тяговый (полетный) и полный (экономический) коэффициенты полезного действия (КПД), их зависимость от основных параметров двигателя и условий полета. Энергетический баланс в ТРД.</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Основы расчета ТРД	10	4	0	17
Тема 3. Зависимость удельных параметров ТРД от параметров рабо-чего процесса Влияние параметров рабочего процесса на удельные параметры ТРД. Зависимость удельной тяги и удельного расхода топлива от суммарной степени повышения давления, температуры газа перед турбиной и КПД процессов сжатия и расширения. Тема 4. Основные этапы расчета ТРД Понятие о свободной энергии ТРД. Выбор оптимальных параметров ра-бочего процесса ТРД. Термогазодинамический расчет параметров рабочего тела по тракту и основных параметров ТРД. Геометрический и кинематиче-ский расчет ТРД. Первичное проектирование по результатам расчета, определение облика ТРД.				
Характеристика узлов ТРД.	16	4	0	22
Тема 5. Процессы, протекающие в воздухозаборниках ТРД Назначение воздухозаборников и требования, предъявляемые к ним. Ос-новные параметры воздухозаборников. Дозвуковые входные устройства, ре-жимы их работы и процессы, протекающие в них при различных формах ка-нала и условиях на входе. Основы расчета и проектирования дозвуковых воздухозаборников. Воздухозаборники для сверхзвуковых скоростей по-лета, их классификация по виду торможения потока. Мероприятия по уменьшению потерь в сверхзвуковых входных устройствах. Режимы работы сверхзвуковых воздухозаборников. Совместная работа воздухозаборника и компрессора в системе двигателя. Запасы устойчивости сверхзвуковых воздухозаборников и их регулирование. Тема 6. Процессы, протекающие в основных камерах сгорания ТРД Назначение камер сгорания и требования, предъявляемые к ним. Топлива для ТРД. Их распыливание, испарение, смешение и горение. Основы горения и некоторые термохимические соотношения. Форсунки, применяемые в камерах сгорания ТРД, теория их работы. Типы камер сгорания и рабочие процессы, протекающие в них. Течение газа и потери полного давления в элементах камер сгорания. Характеристики основных камер сгорания. Основы расчета и проектирования основных камер сгорания, определение их размеров. Критерии оценки работы камер сгорания по эмиссии вредных веществ.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Перспективы развития камер сгорания. Меры по уменьшению дымления воздушно-реактивных двигателей и наличия токсичных примесей в продуктах сгорания. Тема 7. Выходные устройства ТРД Назначение, состав и основные требования к выходным устройствам. Ре-активные сопла, их назначение. Дозвуковое реактивное сопло, режимы его работы. Газодинамический расчет дозвукового сопла. Сверхзвуковое реак-тивное сопло, режимы его работы. Виды потерь в реактивных соплах и способы их уменьшения. Характеристики реактивных сопел. Регулирование ре-активных сопел. Шум АД и методы борьбы с ним. Устройства для реверса и девиации тяги.				
Совместная работа узлов в системе ТРД	12	4	0	14
Тема 8. Совместная работа узлов на установившихся режимах работы ТРД Совместная работа узлов газогенератора и выходного устройства с регулируемым реактивным соплом и сопловым аппаратом турбины. Совместная работа компрессора, камеры сгорания и турбины на установившихся режимах. Вывод уравнения линии совместной работы (ЛСР) компрессора, камеры сгорания и турбины одновального ТРД. Влияние различных факторов на расположение линии совместной работы узлов ТРД с неизменной геометрией проточной части. Влияние регулирования компрессора на положение ЛСР. Технико-экономическое обоснование при расчете и первичном проектировании ТРД. Тема 9. Особенности совместной работы узлов на неустановившихся режимах работы ТРД Неустановившиеся режимы работы ТРД. Обеспечение переходных режимов и приемистости. Этапы запуска газотурбинного двигателя. Запуск газотурбинного двигателя на стенде и в полете. Необходимость применения для запуска стартеров. Принципы работы стартеров газотурбинного двигателя. Номенклатура основных режимов работы ТРД.				
ИТОГО по 8-му семестру	46	16	0	78
9-й семестр				
Эксплуатационные характеристики ТРД	10	6	5	26
Тема 10. Термодинамические основы регулирования ТРД Основные понятия из теории регулирования и управления силовыми установками. Регулируемые параметры и регулирующие факторы. Основные законы и программы регулирования ТРД и ТРД с				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
форсажной камерой (ТРДФ). Сравнение различных программ регулирования при изменении скорости и высоты полета. Тема 11. Дроссельные характеристики ТРД Типы характеристик ТРД и их назначение. Дроссельные характеристики (ДХ) ТРД с нерегулируемой и регулируемой геометрией проточной части. Влияние на дроссельные характеристики программы регулирования ТРД, оптимальное дросселирование. Тема 12. Высотно-скоростные и климатические характеристики ТРД Скоростные характеристики (СХ) ТРД. Влияние на СХ высоты полета, степени повышения давления в компрессоре, температуры газа перед турбиной, программы регулирования двигателя. Высотные характеристики (ВХ) ТРД. Климатические характеристики ТРД. Методы получения характеристик ТРД. Приведение параметров ТРД к стандартным атмосферным условиям. Области эксплуатационных ограничений ТРД.				
Особенности совместной работы узлов и характеристик двигателей прямой реакции	10	6	5	36
Тема 13. Двухвальные ТРД Необходимость применения двухвальных ТРД. Скольжение роторов и его влияние на газодинамическую устойчивость компрессора. Особенности совместной работы узлов двухвального ТРД. Особенности программ регулирования и характеристик двухвальных ТРД. Преимущества и недостатки двухвальных ТРД. Тема 14. Турбореактивные двигатели двухконтурные (ТРДД) Схемы ТРДД и их основные параметры. Газодинамические преимущества ТРДД перед ТРД. Оптимальное распределение энергии между контурами. Зависимость удельных параметров ТРДД от степени двухконтурности и коэффициента распределения энергии. Влияние отбора воздуха из-за КВД и КНД на запас устойчивой работы и параметры ТРДД. Особенности законов регулирования ТРДД и ТРДД с форсажной камерой (ТРДФ). Особенности характеристик ТРДД. Тема 15. ТРД с форсажной камерой (ТРДФ) Назначение и способы форсирования тяги. Рабочий процесс в форсажных камерах. Понятие о неустойчивых режимах горения. Особенности характеристик ТРДФ.				
Особенности совместной работы узлов и характеристик двигателей непрямой реакции	12	6	8	10

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Тема 16. Турбовинтовые двигатели (ТВД) Принцип действия, схемы и основные параметры ТВД. Оптимальное распределение энергии между воздушным винтом и реактивным соплом, уравнение Стечкина. Зависимость удельных параметров от параметров рабочего процесса. Влияние отбора мощности на запас устойчивой работы и параметры ТВД. Дроссельные характеристики ТВД. Климатические характеристики ТВД. Высотно-скоростные характеристики ТВД. Тема 17. Турбовальные (ТВад) и вспомогательные газотурбинные двигатели (ГТД) Принцип действия, схемы и основные параметры ТВад. Зависимость удельных параметров от параметров рабочего процесса. Влияние отбора мощности на запас устойчивой работы и параметры ТВад. Дроссельные ха-рактеристики ТВад. Климатические характеристики ТВад. Назначение и особенности конструкции узлов вспомогательных ГТД.				
ИТОГО по 9-му семестру	32	18	18	72
ИТОГО по дисциплине	78	34	18	150

#### Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Приведение параметров ТРД к стандартным атмосферным условиям (САУ).
2	Определение оптимальных параметров рабочего процесса ТРДД
3	Определение оптимальных параметров рабочего процесса ТВад
4	Определение оптимальных параметров рабочего процесса ТВад
5	Оценка геометрических параметров ТРДД по результатам газо-динамического расчета.

#### Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Испытания форсунок.
2	Исследование поля температур на выходе из жаровой трубы камеры сгорания ТРД.
3	Определение гидравлических потерь в отсеке с жаровой трубой
4	Исследование эксплуатационных характеристик ВРД различных типов.

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
5	Исследование дроссельных характеристик турбовальных двигателей, полученных в вычислительном эксперименте.
6	Исследование климатических характеристик турбовальных двигателей, полученных в вычислительном эксперименте.

### Тематика примерных курсовых проектов/работ

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
1	Расчет двухконтурного турбореактивного двигателя
2	Расчет турбовального двигателя

## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

<p>Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.</p> <p>Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.</p> <p>Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.</p> <p>При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.</p>
--

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

<p>При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.</li> <li>2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.</li> <li>3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.</li> <li>4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.</li> </ol>
---

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

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		
1	Григорьев А. А. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок : лабораторный практикум. Пермь : Изд-во ПГТУ, 2006. 65 с.	75
2	Григорьев А. А. Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок : учебное пособие. Пермь : Изд-во ПГТУ, 2007. 195 с.	92
3	Григорьев А. А. Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. Теоретические основы : учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Пермь : Изд-во ПГТУ, 2010. 367 с. 23,0 усл. печ. л.	68
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Григорьев А. А. Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок : учебное пособие. Пермь : Изд-во ПГТУ, 2007. URL: <a href="https://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2611">https://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2611</a> (дата обращения: 02.07.2021).	12
2	Кулагин В.В. Теория , расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. Основы теории ГТД. 2-е изд., испр. М. : Машиностроение, 2003. 615 с.	20
<b>2.2. Периодические издания</b>		
1	Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2012 -.	5
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	Не используется	

### 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Коллекция трудов конференций ASME Turbo Expo	<a href="https://asmedigitalcollection.asme.org/GT">https://asmedigitalcollection.asme.org/GT</a>	сеть Интернет; свободный доступ

### 6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATHCAD 14 Academic, ПНИПУ 2009 г.

### 6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Scopus	<a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>

### 7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Курсовая работа	Специализированная комплексная аудитория, ул.Профессора Поздеева, д.13, к.Г, каб 203	1
Лабораторная работа	Комплексная лаборатория, ул.Профессора Поздеева, д.13, к.Г, каб 109	1
Лабораторная работа	Персональные компьютеры	15
Лекция	Лекционная мультимедиа аудитория, ул.Профессора Поздеева, д.13, к.Г, каб 201	1
Практическое занятие	Разрезные макеты авиационных двигателей различных типов и их составные части	17

### 8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе
------------------------------

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

**«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»**

**УТВЕРЖДЕНО**

на заседании кафедры АД  
протокол № \_\_\_ «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.  
Заведующий кафедрой  
«Авиационные двигатели»  
\_\_\_\_\_ А. А. Иноземцев

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Теория, расчет и основы регулирования авиационных**  
**двигателей и энергетических установок»**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**  
**Приложение к рабочей программе дисциплины**

<b>Специальность:</b>	24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей»
<b>Специализация программы специалитета:</b>	«Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок»
<b>Квалификация выпускника:</b>	специалист
<b>Выпускающая кафедра:</b>	«Авиационные двигатели»
<b>Форма обучения:</b>	очная

**Курс:** 4, 5

**Семестр:** 8, 9

**Трудоёмкость:**

Кредитов по рабочему учебному плану:	8 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану:	288 ч

**Виды промежуточного контроля:**

Экзамен: - **9** Диф.зачёт: - **нет** Зачёт: - **8** Курсовой проект: - **нет** Курсовая работа: - **9**

**Пермь, 2017 г.**

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины **«Теория, расчет и основы регулирования авиационных двигателей и энергетических установок»** и разработан на основании:

- положения о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ, утвержденного «29» апреля 2014 г.;
- приказа ПНИПУ от 03.12.2015 № 3363-В «О введении структуры ФОС»;
- рабочей программы дисциплины **«Теория, расчет и основы регулирования авиационных двигателей и энергетических установок»**, утвержденной «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

# 1. Перечень формируемых частей компетенций, этапы их формирования и контролируемые результаты обучения

## 1.1. Формируемые части компетенций

Согласно КМВ ООП учебная дисциплина Б1.Б.31 «Теория, расчет и основы регулирования авиационных двигателей и энергетических установок» участвует в формировании 6-ти компетенций: ОК-20, ОПК-1, ПК-3, ПСК-1.1, ПСК-1.12, ПСК-1.14. В рамках учебного плана образовательной программы в 8 и 9 семестрах на этапе освоения данной учебной дисциплины формируются следующие дисциплинарные части компетенций:

1. ОК-20. Б1.Б.31 – умение создавать и технические отчеты по результатам проведенных исследований;
2. ОПК-1. Б1.Б.31 – способность к самостоятельной работе при и выполнении экспериментальных исследований и расчетов;
3. ПК-3. Б1.Б.31 – умение выбирать экономически обоснованные решения при выполнении расчетных и проектных работ;
4. ПСК-1.1. Б1.Б.31 – способность выполнять расчеты параметров рабочего процесса и эксплуатационных характеристик авиационных двигателей и их узлов;
5. ПСК-1.12.Б1.Б.31 – способность осуществлять анализ научно-технической информации в области проектирования авиационных двигателей и энергетических установок;
6. ПСК-1.14.Б1.Б.31 – способность создавать физические и математические модели совместной работы узлов турбореактивных двигателей различных типов.

## 1.2. Этапы формирования дисциплинарных частей компетенций, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение двух семестров (8 и 9-го семестров базового учебного плана) и разбито на 4 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные, практические и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты дисциплинарных компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, и которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, промежуточного и итогового контроля при изучении теоретического материала, выполнении практических заданий, сдаче отчетов по лабораторным работам и зачётов. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля						
	Текущий		Рубежный			Промежуточный	
	ТКР		КР	ПЗ	ОЛР	Кур.Р	Экзамен
<b>Усвоенные знания</b>							
3.1. теория рабочих процессов в воздухоза-	ТКР 1		КР 1				

борниках, камерах сгорания и выходных устройствах турбореактивных двигателей							
3.2. организацию совместной работы узлов на установившихся и неуставившихся режимах работы воздушно-реактивных двигателей различных типов	ТКР 2		КР 1				ТВ
3.3 термодинамические основы регулирования параметров функционирования воздушно-реактивных двигателей при различных режимах полета летательных аппаратов	ТКР 3		КР 2				ТВ
3.4 эксплуатационные характеристики воздушно-реактивных двигателей различных типов	ТКР 4		КР 2,3,4				ТВ
3.5 правила оформления технических отчетов			КР 1	ПЗ 1		Кур.Р	
3.6 способы получения и анализа научно-технической информации			КР 1,2	ПЗ 1		Кур.Р	
3.7 способы математической обработки результатов экспериментальных исследований узлов и элементов воздушно-реактивных двигателей	ТКР 5		КР 1,2				
<b>Освоенные умения</b>							
У.1 проводить технико-экономическое обоснование при расчете и первичном проектировании ТРД				ПЗ 1		Кур.Р	КЗ
У.2 выполнять расчеты параметров рабочего процесса авиационных двигателей различных типов и их эксплуатационных характеристик				ПЗ 2	ОЛР 1	Кур.Р	КЗ
У.3 создавать физические и математические модели совместной работы узлов турбореактивных двигателей различных типов на установившихся и неуставившихся режимах работы				ПЗ 3			КЗ
У.4 создавать отчеты по результатам проведенных исследований					ОЛР 1,2		КЗ
У.5 обосновывать проектные решения на основе анализа состояния дел в заданной области					Кур.Р		КЗ
У.6 проводить экспериментальные исследования и математическую обработку результатов экспериментов					ОЛР 1,2		КЗ
<b>Приобретенные владения</b>							
В.1 навыки применения математического и физического моделирования для определения оптимальных параметров рабочего процесса авиационных двигателей методами численного эксперимента (вычислительными методами)				ПЗ 4	ОЛР 2	Кур.Р	КЗ

В.2 навыки расчета термогазодинамических, геометрических и кинематических параметров авиационных двигателей				ПЗ 5	ОЛР 3	Кур.Р	КЗ
В.3 навыки построения эксплуатационных характеристик авиационных двигателей				ПЗ 6	ОЛР 4		КЗ
В.4 навыки анализа влияния условий совместной работы узлов, на запас газодинамической устойчивости компрессора				ПЗ 7			КЗ
В.5 навыки оформления результатов расчетов и экспериментальных исследований в форме технического документа				ПЗ 8		Кур.Р	КЗ
В.6 навыки проведения анализа научнотехнической информации в области авиационного двигателестроения				ПЗ 8			
В.7 навыками работы с экспериментальным оборудованием				ПЗ 9			КЗ
В.8 навыками проведения численных экспериментов							КЗ

*ТКР – текущие контрольные работы (контроль знаний по теме); КР – промежуточная контрольная работа; ПЗ – практические занятия; ОЛР – отчет по лабораторной работе; Кур.Р – курсовая работа; ТВ – теоретические вопросы (процедура итоговой аттестации с проведением аттестационного испытания); КЗ – комплексное задание по умениям и навыкам (процедура итоговой аттестации с проведением аттестационного испытания).*

Итоговой оценкой освоения дисциплинарных компетенций (результатов обучения по дисциплине) является итоговая аттестация в виде курсовой работы и зачета, проводимая с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

## **2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения**

### **2.1. Текущий контроль**

Текущий контроль для оценивания знаниевого компонента дисциплинарных частей компетенций (табл. 1.1) в форме текущих контрольных работ проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

### **2.2. Рубежный контроль**

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений дисциплинарных частей компетенций (табл. 1.1) проводится согласно графику учебного процесса, приведенного в РПД, в форме написания реферата, защиты лабораторных работ, рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

#### **2.2.1. Защита лабораторных работ**

Всего запланировано 5 лабораторных работы. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС программы специалитета.

### **2.2.2. Защита практических работ**

Всего запланировано 12 практических работ. Темы практических работ приведены в РПД.

Практическое занятие зачитывается студенту при выполнении требований, указанных в методическом и раздаточном материале. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС программы специалитета.

### **2.2.3. Рубежная контрольная работа**

Согласно РПД запланировано 4 промежуточные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР по модулю 1 «Работа узлов в системе турбореактивного двигателя (ТРД)», вторая КР – по модулю 2 «Основы регулирования и эксплуатационные характеристики ТРД», третья КР – по модулю 3 «Особенности совместной работы узлов и характеристик турбореактивных двигателей различных типов», четвертая КР – по модулю 4 «Особенности совместной работы узлов и характеристик газотурбинных двигателей непрямой реакции и турбореактивных двигателей с форсажной камерой (ТРДФ)».

#### **Типовые задания первой КР:**

1. Процессы, протекающие в воздухозаборниках ТРД.
2. Процессы, протекающие в основных камерах сгорания ТРД.
3. Выходные устройства ТРД.
4. Совместная работа узлов на установившихся режимах работы ТРД.
5. Особенности совместной работы узлов на неустановившихся режимах работы ТРД.

#### **Типовые задания второй КР:**

1. Термодинамические основы регулирования ТРД.
2. Дроссельные характеристики ТРД.
3. Высотно-скоростные и климатические характеристики ТРД.

#### **Типовые задания третьей КР:**

1. Двухвальные ТРД.
2. Турбореактивные двигатели двухконтурные (ТРДД).

#### **Типовые задания четвертой КР:**

1. Турбовинтовые, турбовальные и вспомогательные газотурбинные двигатели (ГТД).
2. ТРД с форсажной камерой (ТРДФ).

Типовые шкала и критерии оценки результатов промежуточной контрольной работы приведены в общей части ФОС программы специалитета.

### **2.3. Выполнение комплексного индивидуального задания на самостоятельную работу**

Не предусмотрено

### **2.4. Промежуточная аттестация**

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех лабораторных работ, практических работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

#### **2.4.1. Выполнение курсовой работы**

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения используется курсовая работа.

Тема курсовой работы «Расчет турбовального двигателя», общая для всех студентов группы. Индивидуальными для каждого студента исходными данными для проведения расчётов являются параметры одного из турбовальных двигателей - прототипов иностранного или отечественного производства, приведенные в методических указаниях по выполнению курсовой работы.

Содержание курсовой работы:

- определение оптимальных параметров рабочего процесса ТВаД;
- термогазодинамический расчет по исходным параметрам;
- оценка геометрических параметров ТВаД в характерных сечениях;
- определение кинематических параметров ТВаД;
- описание схемы, основных данных и конструктивных особенностей двигателя- прототипа и сравнение его с рассчитанным двигателем.

Темы курсовой работы должны быть согласованы с темами курсовой работы по дисциплине «Теория и расчет лопаточных машин».

В отдельных случаях, с учетом подготовленности студента и заинтересованности кафедры и базовых предприятий, в рамках курсовой работы могут быть выполнены иные разработки. (расчеты газотурбинных двигателей различных типов и схем). Тема такой нетиповой курсовой работы должна быть ориентирована на дальнейшее развитие при выполнении выпускной квалификационной работы. Содержание и объем нетиповой курсовой работы определяется индивидуально в каждом конкретном случае руководителем работы в зависимости от темы. Основные требования и минимум содержания при этом отражаются в задании к курсовой работе, которое в этом случае оформляется в произвольной форме и подписывается руководителем. Требования по срокам выполнения данной курсовой работы не изменяются.

Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты курсовой работы приведены в общей части ФОС программы специалитета.

#### **2.4.2. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине**

##### **Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:**

1. Процессы, протекающие в воздухозаборниках ТРД.

2. Процессы, протекающие в основных камерах сгорания ТРД.
3. Выходные устройства ТРД.
4. Совместная работа узлов на установившихся режимах работы ТРД.
5. Особенности совместной работы узлов на неустановившихся режимах работы ТРД.
6. Термодинамические основы регулирования ТРД.
7. Дроссельные характеристики ТРД.
8. Высотно-скоростные и климатические характеристики ТРД.
9. Двухвальные ТРД.
2. Турбореактивные двигатели двухконтурные (ТРДД).
10. Турбовинтовые, турбовальные и вспомогательные газотурбинные двигатели (ГТД).
11. ТРД с форсажной камерой (ТРДФ).

**Типовые комплексные задания для контроля приобретенных умений и владений:**

1. Рассчитать параметры рабочего процесса турбовального двигателя для получения минимального удельного расхода топлива;
2. Провести сравнительный анализ интегральных дроссельных характеристик турбовального двигателя, полученных в вычислительном эксперименте, с различными параметрами рабочего процесса;
3. Провести сравнительный анализ скоростных характеристик двухконтурных двигателей, полученных в вычислительном эксперименте, с различной степенью двухконтурности;
4. Провести сравнительный анализ климатических характеристик турбовального двигателя, полученных в вычислительном эксперименте, с различными параметрами рабочего процесса;
5. Вывести и проанализировать уравнение линии совместной работы;
6. Вывести и проанализировать уравнение совместной работы газовой турбины и реактивного сопла.

Полный перечень теоретических вопросов и комплексных заданий в форме утвержденного комплекта экзаменационных билетов хранится на выпускающей кафедре.

**2.4.3. Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных дисциплинарных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена. Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС программы специалитета.

### **3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и дисциплинарных компетенций**

#### **3.1. Оценка уровня сформированности компонентов дисциплинарных компетенций**

При оценке уровня сформированности дисциплинарных компетенций в рамках выборочного контроля при зачёте считается, что полученная оценка за компонент проверяемой в билете дисциплинарной компетенции обобщается на соответствующий компонент всех дисциплинарных компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов дисциплинарных компетенций приведены в общей части ФОС программы специалитета.

#### **3.2. Оценка уровня сформированности дисциплинарных компетенций**

Общая оценка уровня сформированности всех дисциплинарных компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учётом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС программы специалитета.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС программы специалитета.