

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



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе

  
\_\_\_\_\_ Н.В.Лобов

« 20 » февраля 20\_\_ г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

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

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

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

**Общая трудоёмкость:** \_\_\_\_\_ 288 (8)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** \_\_\_\_\_ 24.04.05 Двигатели летательных аппаратов  
(код и наименование направления)

**Направленность:** \_\_\_\_\_ Проектирование и конструкция двигателей и энергетических  
установок летательных аппаратов  
(наименование образовательной программы)

# 1. Общие положения

## 1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель учебной дисциплины:

– углублённое изучение рабочих процессов воздушно-реактивных двигателей для расчета их параметров и эксплуатационных характеристик, технико-экономического обоснования проектных решений и документального оформления ре-зультатов расчетов и экспериментальных исследований.

В процессе изучения данной дисциплины студент расширяет, углубляет и де-монстрирует следующие общекультурные, общепрофессиональные и профессиональ-ные компетенции:

- Использование на практике умений и навыков в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом;
- Способность осуществлять подготовку научно-технических отчётов, обзоров и публикаций по результатам выполненных исследований и разработок ;
- Способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере дея-тельности;
- Способность проводить технические расчёты по проектам, технико-экономического и функционально-стоимостного анализа эффек-тивности проек-тируемых изделий и конструкций.

Задачи учебной дисциплины:

- изучение газодинамического и геометрического проектирования узлов газотур-бинных двигателей, способов оптимизации их совместной работы и регулирова-ния, физического моделирования влияния различных факторов на эксплуатац-онные характеристики газотурбинных двигателей; правил и способов получения, обработки, анализа и оформления научно-технической информации;
- формирование умения использовать физические и математические модели для расчета и проектирования узлов, оптимизации характеристик авиационных дви-гателей; технико-экономического обоснования параметров рабочего процесса газогенератора при расчете и проектировании газотурбинных двигателей; созда-вать отчеты по результатам проведенных исследований;
- формирование навыков применения математического и физического модели-рования для определения оптимальных параметров рабочего процесса, газоди-намического проектирования узлов, учета влияния внешних и внутрен-них фак-торов при построении эксплуатационных характеристик газотурбинных дви-гате-лей; документального оформления результатов расчетов и экспериментальных исследований.

## 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- отдельные узлы газотурбинных двигателей (ГТД), их характеристики, факторы, влияющие на характеристики узлов ГТД;
- термодинамические циклы, критерии оценки потерь энергии в ГТД;
- ГТД различных типов и схем, особенности совместной работы их узлов на установившихся и неустановившихся режимах;
- основы теории регулирования ГТД;
- эксплуатационные характеристики ГТД, факторы, влияющие на характеристики ГТД;
- модели для анализа процессов в двигателях летательных аппаратов (ЛА) и оценки их газодинамической устойчивости;
- экспериментальное и математическое моделирование процессов ГТД.

## 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-2.4	ИД-1ПК-2.4	Знает: – основы газодинамического и геометрического проектирования узлов газотурбинных двигателей – физические модели регулирования силовых установок – влияние параметров полета и программ регулирования на эксплуатационные характеристики газотурбинных двигателей различных типов	Знает методики и этапность проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов процессов в двигателях и энергетических установках летательных аппаратов.	Экзамен
ПК-2.4	ИД-2ПК-2.4	Умеет: – проводить технико-экономическое обоснование параметров газогенератора при расчете и проектировании газотурбинных двигателей – выполнять термогазодинамические, геометрические и кинематические расчеты и проектирование газотурбинных двигателей и их узлов – выполнять оптимизацию эксплуатационных характеристик газотурбинных двигателей	Умеет проводить газодинамические, тепловые и прочностные расчёты двигателей и энергетических установок летательных аппаратов и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования.	Защита лабораторной работы

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.4	ИД-3ПК-2.4	<p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками расчета термогазодинамических, геометрических и кинематических параметров газотурбинных двигателей и их узлов</li> <li>– навыками использования физических и математических моделей для оптимизации совместной работы узлов газотурбинных двигателей на установившихся и неустановившихся режимах работы</li> <li>– навыками оптимизации эксплуатационных характеристик газотурбинных двигателей</li> <li>– навыками применения математического и физического моделирования для определения оптимальных параметров рабочего процесса авиационных двигателей методами численного эксперимента (вычислительными методами)</li> </ul>	<p>Владеет навыками проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов двигателей и энергетических установок летательных аппаратов и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования с применением современных программных средств и анализа полученных результатов для принятия технических решений.</p>	Защита лабораторной работы

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		2	3
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	116	72	44
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	40	24	16
- лабораторные работы (ЛР)	36	18	18
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	34	26	8
- контроль самостоятельной работы (КСР)	6	4	2
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	136	72	64
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36		36
Дифференцированный зачет			
Зачет	9	9	
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)	18		18
Общая трудоемкость дисциплины	288	144	144

### 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	
2-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Характеристика узлов ТРД	16	16	14	36
<p>Введение. Предмет и задачи дисциплины. Первое уравнение Эйлера как основа для создания тяги ТРД. Энергетические преобразования и параметры потока вдоль тракта ТРД. Анализ основных параметров ТРД. Действительный (реальный) цикл ТРД, критерии оценки потерь энергии в цикле.</p> <p>Тема 1. Процессы, протекающие в воздухозаборниках ТРД</p> <p>Анализ основных параметров воздухозаборников. Влияние на режим работы дозвуковых входных устройств формы канала воздухозаборника и параметров полета. Основы газодинамического проектирования дозвуковых воздухозаборников. Оценка потерь энергии в сверхзвуковых воздухозаборниках, разработка мероприятий по их снижению. Анализ режимов работы сверхзвуковых воздухозаборников при изменении параметров полета и режима работы двигателя. Обеспечение совместной работы воздухозаборника и компрессора в системе ТРД. Влияние программ регулирования сверхзвуковых воздухозаборников на их запас устойчивости.</p> <p>Тема 2. Процессы, протекающие в основных камерах сгорания ТРД</p> <p>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. Перспективы развития камер сгорания. Меры по уменьшению дымления воздушно-реактивных двигателей и наличия токсичных примесей в продуктах сгорания.</p> <p>Тема 3. Выходные устройства ТРД</p> <p>Формирование комплексных требований к выходным устройствам и их основным узлам. Основы газодинамического и геометрического проектирования дозвукового сопла. Анализ влияния режима работы двигателя и параметров полета на режим работы дозвукового и сверхзвукового сопла. Группы потерь энергии в сверхзвуковом сопле, комплексные критерии их</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
оценки. Порядок построения характеристик сверхзвукового сопла. Выбор способа регулирования классического и инжекторного реактивного сопла. Зависимость уровня шума реактивного сопла от параметров двигателя и перспективные методы его снижения. Выбор устройства для реверса и девиации тяги.				
Совместная работа узлов в системе ТРД	8	2	12	36
Тема 4. Совместная работа узлов на установившихся режимах работы ТРД Физическая модель совместной работы узлов газогенератора и выходного устройства с регулируемым реактивным соплом и сопловым аппаратом турбины. Физическая модель совместной работы основных узлов газогенератора на установившихся режимах. Математическая модель и ее решение для линии совместной работы (ЛСР) основных узлов газогенератора одновального ТРД. Функциональные воздействия на положение линии совместной работы узлов ТРД с нерегулируемой проточной частью. Зависимость положения ЛСР относительно границы газодинамической устойчивости (ГГУ) от способов регулирования компрессора. Технико-экономическое обоснование параметров рабочего процесса газогенератора при расчете и первичном проектировании ТРД. Тема 5. Особенности совместной работы узлов на неустановившихся режимах работы ТРД Физическая модель совместной работы узлов газогенератора на неустановившихся режимах работы ТРД. Оптимизация переходных процессов для обеспечения максимальной приемистости при допустимом запасе газодинамической устойчивости узлов газогенератора в зависимости от условий полета. Особенности переходных процессов при запуске ТРД на стенде и в полете. Расчет потребной мощности пускового стартера при запуске ТРД на стенде.				
ИТОГО по 2-му семестру	24	18	26	72
3-й семестр				
Основы регулирования и эксплуатационные характеристики ТРД	8	0	4	24
Тема 6. Термодинамические основы регулирования ТРД Физические модели регулирования силовых установок. Термодинамическая связь между регулируемыми параметрами и регулирующими факторами. Сравнительный анализ различных программ регулирования при изменении				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>параметров полета. Разработка комбинированных программ регулирования с ограничениями и без ограничений для реализации основных законов регулирования.</p> <p>Тема 7. Дроссельные характеристики ТРД Физическое моделирование влияния на протекание дроссельных характеристик ТРД регулирования геометрии проточной части и программы регулирования ТРД. Оптимизация процесса дросселирования ТРД.</p> <p>Тема 8. Высотно-скоростные и климатические характеристики ТРД Физическое моделирование влияния на высотно-скоростные характеристики ТРД параметров рабочего процесса газогенератора и программы регулирования двигателя. Математическое моделирование процесса изменения величины основных параметров ТРД в зависимости от климатических параметров атмосферы Приближенные аналитические методы получения характеристик ТРД. Способы приведения параметров ТРД к стандартным атмосферным условиям.</p> <p>Модуль 3. Особенности совместной работы узлов и характеристик турбореактивных двигателей различных типов</p> <p>Раздел 4. Особенности совместной работы узлов и характеристик турбореактивных двигателей различных типов Л – 8 ч, ПЗ – 4 ч, ЛР – 12 ч, СРС – 40 ч.</p> <p>Тема 9. 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.</p> <p>Тема 10. 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.</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
Особенности совместной работы узлов и характеристик турбореактивных двигателей	4	12	4	40
<p>различных типов</p> <p>Тема 9. Двухвальные ТРД</p> <p>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.</p> <p>Тема 10. Турбореактивные двигатели двухконтурные (ТРДД)</p> <p>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.</p>				
Особенности совместной работы узлов и характеристик газотурбинных двигателей непрямо́й реакции и турбореактивных двигателей с форсажной камерой (ТРДФ)	4	6	0	0
<p>Тема 11. Турбовинтовые, турбовальные и вспомогательные газотурбинные двигатели (ГТД)</p> <p>Принцип действия, схемы и основные параметры ТВД и ТВад. 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 и ТВад. Дроссельные характеристики ТВД и ТВад. Климатические характеристики ТВД и ТВад. Высотно-скоростные характеристики ТВД. Особенности конструкции узлов вспомогательных ГТД.</p> <p>Тема 12. ТРД с форсажной камерой (ТРДФ)</p> <p>Назначение и способы форсирования тяги. Рабочий процесс в форсажных камерах. Понятие о неустойчивых режимах горения. Особенности характеристик ТРДФ.</p>				
ИТОГО по 3-му семестру	16	18	8	64
ИТОГО по дисциплине	40	36	34	136

### Тематика примерных практических занятий

<b>№ п.п.</b>	<b>Наименование темы практического (семинарского) занятия</b>
1	Газодинамическое проектирование дозвукового воздухозаборника
2	Основы расчета осевых камер сгорания.
3	Газодинамическое проектирование дозвукового реактивного сопла
4	Решение математической модели для линии совместной работы (ЛСР).
5	Анализ путей улучшения приемистости ТРД.
6	Анализ и сравнительная оценка различных программ регулирования.
7	Оптимальное дросселирование ТРД, методы и средства его обеспечения.
8	Приведение параметров ТРД к стандартным атмосферным условиям (САУ).
9	Особенности программ регулирования двухвальных ТРД.
10	Определение параметров рабочего процесса ТРДД.
11	Расчетное моделирование и применение интегральных дроссель-ных характеристик турбовальных двигателей.
12	Неустойчивые режимы горения в форсажных камерах.

### Тематика примерных лабораторных работ

<b>№ п.п.</b>	<b>Наименование темы лабораторной работы</b>
1	Испытания форсунок.
2	Исследование поля температур на выходе из жаровой трубы камеры сгорания ТРД.
3	Исследование эксплуатационных характеристик газотурбинных двигателей различных типов.
4	Экспериментальное исследование интегральных дроссельных характеристик турбовальных двигателей.
5	Экспериментальное исследование климатических характеристик турбовальных двигателей.

### Тематика примерных курсовых проектов/работ

<b>№ п.п.</b>	<b>Наименование темы курсовых проектов/работ</b>
1	«Расчет двухконтурного турбореактивного двигателя»
2	«Расчет турбовального двигателя»

## 5. Организационно-педагогические условия

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

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой 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 установления связей с ранее освоенным материалом.

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.

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.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

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

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
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.

## 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 : учебное пособие для вузов / А. А. Григорьев. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2007.	52
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		

1	В.В. Кулагин. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: Учебник. Основы теории ГТД. Рабочий процесс и термодинамический анализ. Кн. 1. Совместная работа узлов выполненного двигателя и его характеристики. Кн. 2. – М.: Машиностроение, 2002. – 615 с.: ил.	40
2	Григорьев А. А. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок : лабораторный практикум / А. А. Григорьев. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2006.	77
3	Григорьев А. А. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок : учебное пособие для вузов / А. А. Григорьев. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2006.	67
<b>2.2. Периодические издания</b>		
1	Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Под ред. В. Ю. Петрова ; Р. В. Бульбовича. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012 -.	
<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	Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника, гл. ред. Бульбович Р.В., 2016-2019, №№ 44-59	<a href="http://vestnik.pstu.ru/aero/about/inf/">http://vestnik.pstu.ru/aero/about/inf/</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

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

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Elsevier "Freedom Collection"	<a href="https://www.elsevier.com/">https://www.elsevier.com/</a>
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	Лаборатория конструкции авиационных двигателей, кафедра АД, ауд. 109, к. Г	1
Лабораторная работа	Лаборатория конструкции авиационных двигателей, кафедра АД, ауд. 109, к. Г	1
Лекция	Мультимедийная лекционная аудитория, кафедра АД, ауд. 203, к. Г	1
Практическое занятие	Компьютерный класс, кафедра АД, ауд. 203, к. Г	30

#### **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

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

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**«Теория и расчет двигателей и энергетических установок»**  
для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
Приложение к рабочей программе дисциплины

<b>Направление подготовки:</b>	<u>24.04.05 «Двигатели летательных аппаратов»</u>
<b>Направленность (профиль) образовательной программы:</b>	<u>«Проектирование и конструкция двигателей и энергетических установок летательных аппаратов»</u>
<b>Квалификация выпускника:</b>	<u>магистр</u>
<b>Выпускающая кафедра:</b>	<u>«Авиационные двигатели»</u>
<b>Форма обучения:</b>	<u>очная</u>

**Курс:** 1,2

**Семестр:** 2,3

**Трудоёмкость:**

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

**Формы промежуточной аттестации:**

Экзамен: - **3**    Диф.зачёт: - **нет**    Зачёт: - **2**    Курсовой проект: - **нет**    Курсовая работа: - **3**

**Пермь, 2020 г.**

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

### 1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение двух семестров (2,3-го семестров учебного плана) и разбито на 4 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные, лабораторные и практические занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (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, защите курсовой работы и экзамена. 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	
	ТТ		КР	ПЗ	ОЛР	Кур.Р	Экзамен
<b>Усвоенные знания</b>							
3.1. основы газодинамического и геометрического проектирования узлов газотурбинных двигателей	ТКР 1		КР 1				ТВ
3.2. способы оптимизации совместной работы узлов на установившихся и неустановившихся режимах работы газотурбинных двигателей различных типов	ТКР 2		КР 1				ТВ
3.3 физические модели регулирования силовых установок	ТКР 3		КР 2				ТВ
3.4 влияние параметров полета и программ регулирования на эксплуатационные характеристики газотурбинных двигателей различных типов	ТКР 4		КР 2,3,4				ТВ
3.5 правила оформления научно-			КР 1				ТВ

технических отчетов по результатам теоретических и экспериментальных исследований рабочих процессов ВРД							
3.6 способы математической обработки результатов экспериментальных исследований узлов и характеристик газотурбинных двигателей	ТКР-5		КР 2				ТВ
<b>Освоенные умения</b>							
У.1 проводить технико-экономическое обоснование параметров газогенератора при расчете и проектировании газотурбинных двигателей				ПЗ 1			КЗ
У.2 выполнять термогазодинамические, геометрические и кинематические расчеты и проектирование газотурбинных двигателей и их узлов				ПЗ 2	ОЛР 1,2	Кур.Р	КЗ
У.3 выполнять оптимизацию эксплуатационных характеристик газотурбинных двигателей				ПЗ 3	ОЛР 3	Кур.Р	КЗ
У.4 создавать и использовать физические и математические модели для оптимизации совместной работы узлов газотурбинных двигателей различных типов на установившихся и неуставившихся режимах работы				ПЗ 4		Кур.Р	КЗ
У.5 проводить математическую обработку результатов экспериментов				ПЗ 5	ОЛР 5		КЗ
У-6 проводить экспериментальные исследования				ПЗ 6			КЗ
У-7 создавать отчеты по результатам проведенных исследований				ПЗ 6,7			КЗ
<b>Приобретенные владения</b>							
В.1 – навыками применения математического и физического моделирования для определения оптимальных параметров рабочего процесса авиационных двигателей методами численного эксперимента (вычислительными методами)				ПЗ 8		Кур.Р	КЗ
В.2 навыками расчета термогазодинамических, геометрических и кинематических параметров газотурбинных двигателей и их узлов				ПЗ 2		Кур.Р	КЗ
В.3 навыками оптимизации эксплуатационных характеристик газотурбинных двигателей				ПЗ 3	ОЛР 4	Кур.Р	КЗ
В.4 использования физических и математических моделей для оптимизации совместной работы узлов газотурбинных двигателей на установившихся и неуставившихся режимах работы				ПЗ 9			КЗ
В.5 навыками анализа влияния условий совместной работы узлов, на запас газодинамической устойчивости узлов двигателя				ПЗ 10			КЗ



В.6 навыками работы с экспериментальным оборудованием				ПЗ 11			КЗ
В.7 навыками проведения численных экспериментов				ПЗ 12	ОЛР 3,4,5		КЗ
В.8 навыками оформления результатов расчетов и экспериментальных исследований в форме технического документа				ПЗ 6,7	ОЛР 3,4,5	Кур.Р	КЗ

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

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является итоговая аттестация в виде курсовой работы и экзамена, проводимая с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

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

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучающегося и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;

- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;

- контроль остаточных знаний.

## **2.1. Текущий контроль усвоения материала**

Текущий контроль усвоения материала 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 (табл. 1.1) в форме защиты лабораторных работ, защиты отчётов по практическим работам и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

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

Всего запланировано 5 лабораторных работ. 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 образовательной программы.

### **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 образовательной программы.

### **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 образовательной программы.

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

Не предусмотрено

### **2.4. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)**

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.

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). 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 магистерской программы

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде защиты курсовой работы и экзамена по дисциплине устно по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, и комплексные задания (КЗ) для проверки освоенных умений и контроля уровня приобретенных владений всех заявленных дисциплинарных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности всех заявленных дисциплинарных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС магистерской программы.

#### **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 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 образовательной программы.

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

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

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

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

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

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом 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 образовательной программы.

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