

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



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 22 » мая 20 23 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: 216 (6)
(часы (ЗЕ))

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

Направленность: Проектирование и конструкция авиационных двигателей и энергетических установок
(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 результатов расчетов и экспериментальных исследований.

В процессе изучения данной дисциплины студент расширяет, углубляет и демонстрирует следующие общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные 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 деятельности;
- Способность проводить технические расчёты по проектам, технико-экономического и функционально-стоимостного анализа эффективности проектируемых изделий и конструкций.

Задачи учебной дисциплины:

- изучение газодинамического и геометрического проектирования узлов газотурбинных двигателей, способов оптимизации их совместной работы и регулирования, физического моделирования влияния различных факторов на эксплуатационные 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 двигателей; технико-экономического обоснования параметров рабочего процесса газогенератора при расчете и проектировании газотурбинных двигателей; создавать отчеты по результатам проведенных исследований;
- формирование навыков применения математического и физического моделирования для определения оптимальных параметров рабочего процесса, газодинамического проектирования узлов, учета влияния внешних и внутренних фак-торов при построении эксплуатационных характеристик газотурбинных двигателей; 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-1.5	ИД-1ПК-1.5	Знает: - основные зависимости и характер изменения параметров рабочего тела в ступенях компрессоров и турбин газотурбинных авиационных двигателей	Знает теоретические основы рабочих процессов в лопаточных машинах двигателей летательных аппаратов	Защита лабораторной работы
ПК-1.5	ИД-2ПК-1.5	Умеет: - пользоваться современными расчетными пакетами для аэродинамического моделирования процессов в лопаточных машинах газотурбинных двигателей;	Умеет пользоваться современными суперкомпьютерными технологиями для моделирования рабочих процессов в лопаточных машинах двигателей летательных аппаратов	Защита лабораторной работы
ПК-1.5	ИД-3ПК-1.5	Владеет: - навыками постановки задач исследования характеристик эффективности ступеней компрессоров и турбин авиационных газотурбинных двигателей; - определения параметров профилей рабочих лопаток и лопаток статора с целью обеспечения минимальных потерь в ступенях осевых лопаточных машин;	Владеет навыками постановки исследовательских задач, планирования и проведения вычислений, анализа и обобщения результатов моделирования при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при проектировании лопаточных машин двигателей летательных аппаратов	Защита лабораторной работы
ПК-2.2	ИД-1 ПК-2.2	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

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.2	ИД-2 ПК-2.2	<p>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</p>	<p>Умеет проводить газодинамические, тепловые и прочностные расчёты двигателей и энергетических установок летательных аппаратов и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования</p>	Защита лабораторной работы
ПК-2.2	ИД-3 ПК-2.2	<p>Владеет: – навыками расчета термогазодинамических, геометрических и кинематических параметров газотурбинных двигателей и их узлов – навыками использования физических и математических моделей для оптимизации совместной работы узлов газотурбинных двигателей на установившихся и неустановившихся режимах работы – навыками оптимизации эксплуатационных характеристик газотурбинных двигателей – навыками применения математического и физического моделирования для определения оптимальных параметров рабочего процесса авиационных двигателей методами численного эксперимента</p>	<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>	Курсовая работа

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		(вычислительными методами)		

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:	78	34	44
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	24	8	16
- лабораторные работы (ЛР)	26	8	18
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	24	16	8
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	2	2
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	102	38	64
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36		36
Дифференцированный зачет			
Зачет	9	9	
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)	18		18
Общая трудоемкость дисциплины	216	72	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	СРС
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	4	4	8	15
<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. Тема 1. Процессы, протекающие в воздухозаборниках ТРД 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. Тема 2. 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. Перспективы развития камер сгорания. Меры по уменьшению дымления воздушно-реактивных двигателей и наличия токсичных примесей в продуктах сгорания. Тема 3. Выходные устройства ТРД 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 оценки. Порядок построения характеристик сверхзвукового сопла. Выбор способа регулирования классического и инжекторного</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
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	4	4	8	23
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	8	8	16	38
3-й семестр				
Основы регулирования и эксплуатационные характеристики ТРД	6	6	4	20
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 параметров полета. Разработка комбинированных программ регулирования с ограничениями и без ограничений для реализации основных законов регулирования. Тема 7. Дроссельные характеристики ТРД Физическое моделирование				

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>влияния на протекание дроссельных характеристик ТРД регулирования геометрии проточной части и программы регулирования ТРД. Оптимизация процесса дросселирования ТРД. 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. Модуль 3. Особенности совместной работы узлов и характеристик турбореактивных двигателей различных типов Раздел 4. Особенности совместной работы узлов и характеристик турбореактивных двигателей различных типов Л – 8 ч, ПЗ – 4 ч, ЛР – 12 ч, СРС – 40 ч. 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. 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>				
Особенности совместной работы узлов и характеристик турбореактивных двигателей различных типов	6	6	2	20
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. Тема 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
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.				
Особенности совместной работы узлов и характеристик газотурбинных двигателей непрямой реакции и турбореактивных двигателей с форсажной камерой (ТРДФ)	4	6	2	24
Тема 11. Турбовинтовые, турбовальные и вспомогательные газотурбинные двигатели (ГТД) 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. Тема 12. ТРД с форсажной камерой (ТРДФ) Назначение и способы форсирования тяги. Рабочий процесс в форсажных камерах. Понятие о неустойчивых режимах горения. Особенности характеристик ТРДФ.				
ИТОГО по 3-му семестру	16	18	8	64
ИТОГО по дисциплине	24	26	24	102

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
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.

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
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 дроссельных характеристик турбовальных двигателей
12	Неустойчивые режимы горения в форсажных камерах.

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	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

№ 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

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.

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
1. Основная литература		
1	Григорьев А. А. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок : учебное пособие для вузов. Пермь : Изд-во ПГТУ, 2007. 252 с.	52
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		

1	Григорьев А. А. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок : лабораторный практикум. Пермь : ПГТУ, 2006. 65 с.	70
2	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 : ПГТУ, 2010. 367 с. 23,0 усл. печ. л.	65
3	Кулагин В.В. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. Основы теории ГТД. Кн.1: Рабочий процесс и термогазодинамический анализ. Кн. 2: Совместная работа узлов выполненного двигателя и его характеристики. М. : Машиностроение, 2002. 615 с.	40
2.2. Периодические издания		
1	Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2012 -.	
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	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., 2016-2023, №№ 44-71	http://vestnik.pstu.ru/aero/about/inf/	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

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

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

УТВЕРЖДЕНО

на заседании кафедры АД
протокол № ____ «___» _____ 202__ г.
Заведующий кафедрой
«Авиационные двигатели»
_____ А. А. Иноземцев

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ
«Теория и расчет двигателей и энергетических установок»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

Специальность:	<u>24.04.05 «Двигатели летательных аппаратов»</u>
Профиль программы магистратуры:	<u>«Проектирование и конструкция двигателей и энергетических установок летательных аппаратов»</u>
Квалификация выпускника:	<u>«магистр»</u>
Выпускающая кафедра:	<u>«Авиационные двигатели»</u>
Форма обучения:	<u>очная</u>

Курс: 1,2

Семестр: 2, 3

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану:	6 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану:	176 ч

Виды контроля: зачет во 2 семестре, экзамен в 3 семестре; курсовая работа в 3 семестре

Пермь, 2023 г.

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины **«Теория, расчет и проектирование 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 проектирование авиационных двигателей и энергетических установок»**, утвержденной «__» _____ 2023 г.

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

1.1. Формируемые части компетенций

Согласно КМВ ООП учебная дисциплина Б1.В. 06 «Теория и расчёт двигателей и энергетических установок» участвует в формировании 2-х компетенций: ПК -1.5, ПК 2.2.

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

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение двух семестров (2 и 3-го семестров базового учебного плана) и разбито на 5 учебных модулей. 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, освоенных 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 Экзамен
	ТТ	ОЛР	ПЗ	Кур.Р	КР	
Усвоенные знания						
3.1 термогазодинамические и энергетические основы работы турбореактивных двигателей	ТКР 1,2,3,4				КР 1	ТВ
3.2 теория рабочих процессов в воздухозаборниках, камерах сгорания и выходных устройствах турбореактивных двигателей	ТКР 5,6,7				КР 2	ТВ
3.3 зависимость удельных параметров турбореактивного двигателя от параметров рабочего процесса	ТКР 3				КР 1	ТВ
3.4 основные этапы термогазодинамического расчета воздушно-реактивных двигателей различных типов	ТКР 4		ПЗ 1,2,3	Кур.Р	КР 1,4	ТВ
3.5 термодинамические основы регулирования параметров турбореактивных двигателей при различных режимах полета летательных аппаратов	ТКР 10		ПЗ 1	Кур.Р	КР 3	ТВ
3.6 эксплуатационные характеристики воздушно-реактивных двигателей различных типов	ТКР 11-17		ПЗ 1,2,3		КР 3,4	ТВ

3.7 организация совместной работы узлов на установившихся и неуставившихся режимах работы воздушно-реактивных двигателей различных типов	ТКР 8,9				КР 2	ТВ
3.8 способы математической обработки результатов экспериментальных исследований узлов и элементов воздушно-реактивных двигателей						ТВ
3.9 правила оформления технических отчетов						ТВ
3.10 способы получения и анализа научно-технической информации						ТВ
Освоенные умения						
У.1 проведение технико-экономического обоснования при расчете и первичном проектировании ТРД		ОЛР 1,2,3	ПЗ 2,3, 4	Кур.Р		КЗ
У.2 выполнение расчетов параметров рабочего процесса авиационных двигателей различных типов и их эксплуатационных характеристик		ОЛР 4,5,6	ПЗ 4,5	Кур.Р		КЗ
У.3 создание физических и математических моделей совместной работы узлов турбореактивных двигателей различных типов на установившихся и неуставившихся режимах работы		ОЛР 4,5,6	ПЗ 3	Кур.Р		КЗ
У.4 обоснование проектных решений на основе анализа состояния дел в заданной области		ОЛР 1,2,3	ПЗ 2,3, 4	Кур.Р		КЗ
У.5 проведение экспериментальных исследований		ОЛР 1,2,3				КЗ
У.6 проведение математической обработки результатов экспериментов		ОЛР 1,2,3				КЗ
У.7 создание отчетов по результатам проведенных исследований						КЗ
Приобретенные владения						
В.1 навыки применения математического и физического моделирования для определения оптимальных параметров рабочего процесса авиационных двигателей методами численного эксперимента (вычислительными методами)		ОЛР 2	ПЗ 1,2, 3	Кур.Р		КЗ
В.2 навыки расчета термогазодинамических, геометрических и кинематических параметров авиационных двигателей		ОЛР 3	ПЗ 4,5	Кур.Р		КЗ
В.3 навыки построения эксплуатационных характеристик авиационных двигателей		ОЛР 4	ПЗ 4,5			КЗ
В.4 навыки анализа влияния условий совместной работы узлов, на запас газодинамической устойчивости компрессора			ПЗ 2,3			КЗ
В.5 навыки оформления результатов расчетов и экспериментальных исследований в форме технического документа			ПЗ 4,5	Кур.Р		КЗ

В.6 навыки проведения анализа научно-технической информации в области авиационного двигателестроения			ПЗ 1,2, 3			
В.7 навыками работы с экспериментальным оборудованием			ПЗ 4			КЗ
В.8 навыками проведения численных экспериментов			ПЗ 2,3			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 экзамена, проводимая с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

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

2.1. Текущий контроль

Текущий и промежуточный контроль освоения дисциплинарных частей компетенций проводится в указанных ниже формах.

- Текущие контрольные работы для анализа усвоения теоретического материала по каждой теме. Темы контрольных работ приведены в РПД. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.
- Защита отчётов по лабораторным работам. Всего предусмотрено 6 отчётов по лабораторным работам (модуль 2 – 3 работы; модуль 4 – 3 работы). Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС программы специалитета.
- Защита отчётов по практическим занятиям. Всего предусмотрено 5 отчётов по практическим занятиям (модуль 3 – 1 работа; модуль 4 – 5 работ). 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.
- Контроль выполнения курсовой работы.

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 рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины) и защиты курсовой работы.

2.2.1. Рубежная контрольная работа

Согласно РПД запланировано 4 промежуточные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР по модулю 1 «Принцип работы турбореактивного двигателя (ТРД)», вторая КР – по модулю 2 «Работа узлов в системе турбореактивного двигателя (ТРД)», третья КР – по модулю 3 «Эксплуатационные характеристики ТРД», четвертая КР – по модулю 4 «Особенности совместной работы узлов и характеристик воздушно-реактивных двигателей (ВРД) различных типов. Типовые задания на КР приведены в РПД.

2.2.2. Курсовая работа

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

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

Содержание курсовой работы:

- определение оптимальных параметров рабочего процесса ТВаД (ТРДД);
- термогазодинамический расчет по исходным параметрам;
- оценка геометрических параметров ТВаД (ТРДД) в характерных сечениях;
- определение кинематических параметров ТВаД (ТРДД);
- 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.

2.3. 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.

2.4.2. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Циклы ТРД.
2. Зависимость удельных параметров ТРД от параметров рабочего процесса.
3. Процессы, протекающие в воздухозаборниках ТРД.
4. Процессы, протекающие в основных камерах сгорания ТРД.
5. Выходные устройства ТРД.
6. Совместная работа узлов на установившихся режимах работы ТРД.
7. Особенности совместной работы узлов на неустановившихся режимах работы ТРД.
8. Термодинамические основы регулирования ТРД.
9. Дроссельные характеристики ТРД.
10. Высотно-скоростные и климатические характеристики ТРД.
11. Двухвальные ТРД.
12. Турбореактивные двигатели двухконтурные (ТРДД).
13. Турбовинтовые, турбовальные и вспомогательные газотурбинные двигатели (ГТД).
14. 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 экзамене 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.