

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

« 19 » января 20 22 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок  
\_\_\_\_\_  
(наименование)

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

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

**Общая трудоёмкость:** 180 (5)  
\_\_\_\_\_  
(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

Цель дисциплины- формирование комплекса знаний об основах конструкций газотурбинных двигателей, формирование дисциплинарных частей компетенций, связанных с разработкой конструкций авиационных двигателей и энергетических установок.

Задачи дисциплины

- формирование знаний  
– областей применения и основных типов ГТД; основных узлов ГТД их назначение, взаимосвязь и современные средства их проектирования; принципов собираемости элементов и узлов ГТД; способов обеспечения технологичности изготовления и сборки узлов авиационных двигателей и энергетических установок; основных способов и технологических особенностей соединений элементов ГТД; основные правила составления описаний принципов действия ГТД и их узлов; особенностей описаний конструктивных схем ГТД;
- формирование умений  
- анализировать, разрабатывать и составлять описания схем ГТД; анализировать напряженное состояние и составлять описания устройства элементов и узлов ГТД; анализировать конструкцию узлов авиационных двигателей и энергетических установок с точки зрения их технологичности изготовления и сборки на стадии разработки конструктивных схем; выполнять проектные работы по разработке конструктивных схем ГТД; выполнять проектные работы по разработке элементов, узлов и их соединений в ГТД;
- формирование навыков  
- работы с технической документацией по ГТД; анализа конструкторской документации авиационных двигателей и энергетических установок; анализа и разработки проектов схем узлов авиационных двигателей и энергетических установок; разработки и описания конструктивных схем ГТД; конструирования деталей и узлов авиационных двигателей и энергетических на стадии разработки конструктивных схем.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- конструктивные схемы газотурбинных двигателей;
- роторы газотурбинных двигателей;
- статоры газотурбинных двигателей;
- процессы, происходящие в ГТД, в следствие силового и теплового экс-плуатационного нагружения основных элементов конструкции;
- конструкторские мероприятия по обеспечению работоспособности и надежности 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
-------------	-------------------	---	--	-----------------

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-1ПК-2.2	Знает основные узлы ГТД их назначение, их взаимосвязь и современные средства их проектирования	Знает современные средства автоматизации эскизного, технического и рабочего проектирования (модернизации) авиационных двигателей и энергетических установок, их узлов и деталей.	Экзамен
ПК-2.2	ИД-2ПК-2.2	Умеет - выполнять проектные работы по разработке конструктивных схем ГТД; - выполнять проектные работы по разработке элементов, узлов и их соединений в ГТД	Умеет разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты, конструкторскую документацию на создание (модернизацию) авиационных двигателей и энергетических установок, их узлов и деталей.	Защита лабораторной работы
ПК-2.2	ИД-3ПК-2.2	Владеет - навыками анализа конструкторской документации авиационных двигателей и энергетических установок; - навыками анализа и разработки проектов схем узлов авиационных двигателей и энергетических установок;	Владеет навыками разработки проектов и конструкторской документации для создания (модернизации) двигателей летательных аппаратов, их узлов и деталей с использованием передового опыта и средств автоматизированного проектирования.	Защита лабораторной работы
ПК-2.4	ИД-1ПК-2.4	Знает - области применения и основные типы ГТД; - основные правила составления описаний принципов действия ГТД и их узлов - особенности описаний конструктивных схем ГТД - особенности составления описаний условий работы и силовых факторов элементов и узлов ГТД	Знает требования к составлению описаний принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов.	Экзамен
ПК-2.4	ИД-2ПК-2.4	Умеет - анализировать напряженное состояние и составлять описания устройства элементов и узлов ГТД - анализировать и	Умеет составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий.	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
		разрабатывать и составлять описания схем ГТД;		
ПК-2.4	ИД-3ПК-2.4	Владеет - навыками работы с технической документацией по ГТД; – навыками разработки и описания конструктивных схем ГТД	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
ПК-2.5	ИД-1ПК-2.5	Знает - способы обеспечения технологичности изготовления и сборки узлов авиационных двигателей и энергетических установок - основные способы и технологические особенности соединений элементов ГТД; - принципы собираемости элементов и узлов ГТД;	Знает теоретические основы проектирования технологических процессов, методы и способы обеспечения технологичности изготовления при проектировании деталей и узлов авиационных двигателей и энергетических установок.	Экзамен
ПК-2.5	ИД-2ПК-2.5	Умеет - анализировать конструкцию узлов авиационных двигателей и энергетических установок с точки зрения их технологичности изготовления и сборки на стадии разработки конструктивных схем	Умеет анализировать конструкцию деталей и узлов авиационных двигателей и энергетических установок с точки зрения их технологичности изготовления.	Защита лабораторной работы
ПК-2.5	ИД-3ПК-2.5	Владеет - навыками конструирования деталей и узлов авиационных двигателей и энергетических на стадии разработки конструктивных схем	Владеет навыками конструирования деталей и узлов авиационных двигателей и энергетических установок с учётом возможностей и ограничений специальных технологических процессов.	Защита лабораторной работы

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		8	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	64	64	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	30	30	
- лабораторные работы (ЛР)	32	32	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	80	80	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	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	
8-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
Основные требования, параметры, области применения, классификация ГТД. Схема типичного ГТД	6	6	0	16
<p>Введение.</p> <p>Роль и место дисциплины в системе подготовки специалиста по авиацион-ным двигателям и энергетическим установкам. Основные этапы развития авиационных и наземных ГТД. ГТД как тепловая машина. Авиационные газотурбинные двигатели, наземные газотурбинные установки, энергетические установки. Основные представления о ГТД, ВРД, ТВД, ТВаД, ПВРД, ПУВРД.</p> <p>1. Требования к ГТД и основные параметры. Основные требования к газотурбинным двигателям: функциональные требования, требования минимальной стоимости жизненного цикла, требования безопасности, экологические требования. Основные направления достижения и обеспечения требований. Основные характеристики и параметры ГТД: технические характеристики, экономические характеристики, характеристики надежности и безопасности. Основные направления достижения и обеспечения характеристик ГТД. Достигнутые мировые значения основных технических характеристик ГТД. Основы современных технологий разработки конструкций ГТД.</p> <p>2. Области применения ГТД. Классификация двигателей.</p> <p>Газотурбинные двигатели авиационного назначения. Газотурбинные двигатели в промышленности, энергетике, трубопроводном транспорте, наземном транспорте. Газотурбинные двигатели морского применения. Турбореактивные двигатели (ТРД), турбореактивные двухконтурные двигатели (ТРДД), турбовинтовые двигатели (ТВД), форсажные турбореактивные двигатели (ТРДФ и ТРДДФ), подъемные и подъемно-маршевые ГТД, вертолетные турбовальные двигатели (ТВаД), наземные ТВаД, ТВД и ТВаД морского применения.</p> <p>3. Типичный авиационный одновальный турбореактивный двигатель (ТРД). Конструктивная схема ТРД. Кинематическая схема ТРД. Основные узлы и элементы ТРД, их назначение, требования к ним и взаимосвязь. Мо-дульность ГТД. Принципы формирования модулей. Условия работы, усилия, действующие на элементы ТРД. Внутреннее давление. Центробежные силы. Газодинамические силы.</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
Распределение крутящего моменты на роторе. Распределение крутящего моменты на статоре. Инерционные силы и моменты. Гироскопический момент. Результирующее осевое усилие. Статические (квазистатические) и динамические нагрузки.				
Роторы и статоры ГТД. Радиальные и осевые зазоры	14	16	0	34
4. Роторы ГТД. Состав ротора ГТД. Основные требования, предъявляемые к роторам. Кинематические схемы роторов. Соединение основных элементов (ротор компрессора и ротор турбины). Силовые схемы роторов. Изгибная и крутильная жесткость ротора. Количество опор ротора. 2-х, 3-х, 4-х опорная схема ротора. Выбор количества опор ротора. Расположение ротора относительно опор. Консольное, межопорное и комбинированное расположение ротора компрессора и турбины ГТД. Типы опор ГТД. Опорные опоры, упорные опоры, упорно-опорные опоры. Выбор типа опор. Тепловые и силовые осевые деформации ротора. Обеспечение свободы тепловой и силовой деформации ротора. Уравновешивание осевых сил и крутящих моментов. Осевые усилия, действующие на упорные подшипники. Снижение осевых усилий на упорный подшипник. Осевое соединение ротора компрессора и турбины, применение сдвоенных упорных подшипников, организация передних и задних разгрузочных полостей в компрессоре и турбине. Обеспечение собираемости элементов. 5. Статоры ГТД. Состав статора ГТД. Основные требования, предъявляемые к статору. Силовые схемы статора ГТД. Изгибная и жесткость статора. Тепловые и силовые деформации статора под воздействием внутренних факторов. Деформации статора под воздействием внешних силовых факторов. Соединение основных элементов статора. Требования к соединениям. Центрирование основных элементов. Несоосность и перекос осей подшипниковых опор. Накопление несоосности и перекоса при соединении элементов статора. Обеспечение соосности подшипниковых узлов. Применение эксцентриковых и клиновидных регулировочных колец. Обеспечение собираемости элементов. 6. Радиальные и осевые зазоры в компрессоре и турбине ГТД. Уплотнение воздушных полостей. Радиальные зазоры в компрессорах и турбинах				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
ГТД. Относительный радиальный зазор. Влияние радиального зазора на основные параметры двигателя. Изменение величины радиального зазора в зависимости от режима работы двигателя. Изменение радиального при осевом смещении ротора относительно статора в результате тепловой и силовой деформации. Основные мероприятия по обеспечению минимальной величины радиальных зазоров. Пассивная минимизация радиального зазора. Системы активного регулирования радиальных зазоров. Уплотнение воздушных полостей. Бесконтактные лабиринтные уплотнения. Цилиндрические и торцевые лабиринтные уплотнения Эффективность лабиринтного уплотнения. Конструктивное исполнение лабиринтных уплотнений. Основные мероприятия повышения эффективности бесконтактных воздушных уплотнений.				
Конструктивные схемы ГТД	10	10	0	30
7. Конструктивные схемы ГТД. Классификация ТРД. Конструктивные схемы ТРД с осевым, центробежным и осецентричным компрессором. Конструктивные схемы двухвальных ТРД. Двухконтурные турбореактивные двигатели. Классификация. Конструктивные схемы ТРДД. 1, 2, 3-х вальные ТРДД. ТРДД со смешением и без смешения потоков. Основные способы форсирования тяги. Конструктивные схемы форсажных двигателей ТРДФ и ТРДДФ. Конструктивные схемы турбовинтовых двигателей. Конструктивные схемы авиационных турбовальных двигателей. Силовые установки самолетов вертикального и укороченного взлета и посадки. Конструктивные схемы подъемных и подъемно-маршевых двигателей. Особенности конструктивных схем вспомогательных ГТД. Классификация наземных ГТД. Конструктивные схемы двигателей наземного применения. Газотурбинные силовые установки морских судов. 8. Системы подвески газотурбинных двигателей. Схемы расположения двигателей на летательном аппарате. Требования к системам крепления двигателей. Системы подвески двигателя при боковом расположении и в фюзеляже. Системы подвески двигателей при расположении на пилоне под крылом. Обеспечение свободы тепловых деформаций в системах подвески двигателя. Системы крепления наземных ГТД. Силовые установки летательных аппаратов.				
ИТОГО по 8-му семестру	30	32	0	80

ИТОГО по дисциплине	30	32	0	80
---------------------	----	----	---	----

## Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Анализ основных технических характеристик на примере газотурбинных двигателей различных схем.
2	Анализ силовых факторов в ГТД и напряженного состояния основных элементов ТРД.
3	Анализ силовых схем статоров и кинематических схем роторов ГТД.
4	Анализ систем компенсации осевых усилий на упорные подшипники.
5	Анализ способов обеспечения соосности роторов ГТД и способов уплотнения воздушных полостей
6	Анализ конструктивных схем авиационных ГТД.
7	Разработка конструктивной схемы двигателя.

## 5. Организационно-педагогические условия

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

По всем темам дисциплины проводятся проблемно-ориентированные лекционные занятия с использованием мультимедийной презентации лекционного курса. Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. В процессе изложения лекционного материала предусматривается определенная гибкость с акцентированием внимания студентов на наиболее интересных для студентов вопросах. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

После изучения темы дисциплины в часы лекционных занятий студенты в часы самостоятельной работы должны повторить по конспектам лекций материал, пользуясь основной и дополнительной литературой либо более глубоко разобраться в проблемных вопросах, на которые акцентировано внимание лектора, либо изучить материал, не требующий специальных пояснений преподавателя.

Лабораторные работы охватывают первый, второй и третий модуль содержания дисциплины и выполняются как в часы лабораторных занятий, так и часы самостоятельной работы. Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором учащиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. В часы лабораторных занятий выполняются этапы работ, непосредственно связанные с использованием макетов, лабораторного оборудования, экспериментальных установок и т.д. В эти же часы проводятся необходимые обсуждения и дискуссии по содержательной части работы. Большая часть лабораторных занятий проводится в интерактивном режиме живого общения с преподавателем.

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. При изучении теоретического материала дисциплины необходимо опираться на знания, приобретенные при изучении предшествующих дисциплин учебного плана. Необходимо демонстрировать применение полученных ранее знаний при изучении данной дисциплины.

2. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.

3. Изучение теоретического материала на лекционных занятиях должно сопровождаться конспектированием с целью лучшего усвоения и возможности последующего повторения и углубленного изучения.

4. После изучения каждой темы в часы аудиторных занятий необходимо самостоятельно углубленно вникнуть в материал темы используя основную и дополнительную литературу.

5. При появлении непонятных вопросов при самостоятельной работе необходимо обратиться за разъяснениями к преподавателю в часы консультаций.

6. При выполнении лабораторных работ выполнять требования преподавателя. Детально разбираться в поставленных задачах, используя все имеющиеся технические средства и документацию.

7. При составлении отчетов по лабораторным работам следует уделить особое внимание полноте изложения материала, технической грамотности изложения, качеству приводимых иллюстраций.

8. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела воспроизвести необходимые схемы и эскизы.

9. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.

10. 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	Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей : учебное пособие для вузов / Вьюнов С. А., Гусев Ю. В., Карпов А. В., Ковалевская А. Е. Москва : Машиностроение, 1989. 565 с.	25
2	Нихамкин М. А., Воронов Л. В. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Вопросы и задачи : учебное пособие для вузов. Пермь : Изд-во ПГТУ, 2005. 141 с.	128
3	Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Автоматика и регулирование авиационных двигателей и энергетических установок. М. : Машиностроение, 2008. 186 с.	40

4	Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Динамика и прочность авиационных двигателей и энергетических установок. М. : Машиностроение, 2008. 191 с.	38
5	Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Зубчатые передачи и муфты. Пусковые устройства. Трубопроводные и электрические коммуникации. Уплотнения. Силовой привод. Шум. Автоматизация проектирования и поддержки жизненного цикла. М. : Машиностроение, 2008. 226 с.	40
6	Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Компрессоры. Камеры сгорания. Форсажные камеры. Турбины. Выходные устройства. М. : Машиностроение, 2008. 367 с.	39
7	Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Общие сведения. Основные параметры и требования. Конструктивные и силовые схемы. М. : Машиностроение, 2008. 200 с.	40
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Зрелов В.А. Отечественные газотурбинные двигатели : Основные параметры и конструктивные схемы учебное пособие. М. : Машиностроение, 2005. 335 с.	68
2	Основы технологии создания газотурбинных двигателей для магистральных самолетов / Братухин А. Г., Решетников Ю. Е., Иноземцев А. А., Никольский Ю. А. Москва : Авиатехинформ, 1999. 553 с.	5
<b>2.2. Периодические издания</b>		
	Не используется	
<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	<a href="http://vestnik.pstu.ru/aero/about/inf/">http://vestnik.pstu.ru/aero/about/inf/</a>	локальная сеть; свободный доступ
Дополнительная литература	Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Вопросы и задачи	<a href="https://elib.pstu.ru/Record/UPNRPUelib4071">https://elib.pstu.ru/Record/UPNRPUelib4071</a>	локальная сеть; 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)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567

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

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
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
Лабораторная работа	Макет- разрез двигателя АИ-20А	1
Лабораторная работа	Макет- разрез двигателя Д-30П	1
Лабораторная работа	Макет- разрез двигателя ТВ2-117	1
Лабораторная работа	Макет-разрез двигателя АМ-3	1
Лабораторная работа	Макет-разрез двигателя Д-20П	1
Лабораторная работа	Макет-разрез прямоотчного двигателя	1
Лабораторная работа	Макет-разрез двигателя ПС-90А	1
Лабораторная работа	Макет-разрез двигателя С-300	1
Лабораторная работа	Макет-разрез двигателя ТКС-48	1
Лабораторная работа	Макеты узлов двигателя Д-30Ф-6	1
Лекция	Мультимедийный проектор, экран	1

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

Описан в отдельном документе

Министерство науки и высшего образования 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  
«Основы конструирования 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>	инженер
<b>Выпускающая кафедра:</b>	«Авиационные двигатели»
<b>Форма обучения:</b>	очная

**Курс:** 4

**Семестр:** 8

**Трудоёмкость:**

Кредитов по рабочему учебному плану:	5 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану:	180 ч

**Виды контроля:**

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

**Пермь, 2021 г.**

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины «Основы конструирования 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 «Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок».

# 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 «Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок» участвует в формировании 3-х компетенций: ПК-2.2, ПК-2.4, ПК-2.5. В рамках учебного плана образовательной программы в 8-м семестре на этапе освоения данной учебной дисциплины формируются следующие дисциплинарные части компетенций:

1. ПК-2.2.Б1.В.06 Способность осуществлять разработку и проводить анализ конструкторских схем узлов и элементов авиационных двигателей и энергетических установок;

2. ПК-2.4.Б1.В.06 Способность осуществлять описание конструкторских схем узлов и элементов авиационных двигателей и энергетических установок, принципов их действия и устройства;

3. ПК-2.5.Б.1.В.06 Способность анализировать и обеспечивать технологичность изготовления и сборки элементов и узлов авиационных ГТД в процессе их конструирования;

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

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (8-го семестра базового учебного плана) и разбито на 3 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и лабораторные/практические занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируется 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, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, выполнении контрольных работ, защитой отчетов по лабораторным работам и экзаменом. 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 и промежуточный		Рубежный		Промежуточная аттестация
	ТКР	ЛР	ОЛР		Экзамен
Усвоенные знания					

области применения и основные типы ГТД	КР1,3				ТВ
основные узлы ГТД их назначение, их взаимосвязь и современные средства их проектирования	КР1				ТВ
требования к составлению описаний принципов действия ГТД и их узлов	КР1,3				ТВ
особенности описаний конструктивных схем ГТД	КР3				ТВ
особенности составления описаний условий работы и силовых факторов элементов и узлов ГТД	КР1				ТВ
способы обеспечения технологичности изготовления и сборки узлов авиационных двигателей и энергетических установок	КР2				ТВ
основные способы и технологические особенности соединений элементов ГТД	КР2				ТВ
принципы собираемости элементов и узлов ГТД	КР2,3				ТВ
<b>Освоенные умения</b>					
анализировать напряженное состояние и составлять описания устройства элементов и узлов ГТД			ОЛР2, 4		
анализировать и разрабатывать и составлять описания схем ГТД;			ОЛР3, 6,7		
выполнять проектные работы по разработке конструктивных схем ГТД;			ОЛР7		
выполнять проектные работы по разработке элементов, узлов и их соединений в ГТД			ОЛР3		
анализировать конструкцию узлов авиационных двигателей и энергетических установок с точки зрения их технологичности изготовления и сборки на стадии разработки конструктивных схем			ОЛР6, 7		
<b>Приобретенные владения</b>					
навыки работы с технической документацией по ГТД			ОЛР1		
навыки анализа конструкторской документации авиационных двигателей и энергетических установок			ОЛР1		
навыки анализа и разработки проектов схем узлов авиационных двигателей и энергетических установок			ОЛР2		
навыки разработки и описания конструктивных схем ГТД;			ОЛР6, 7		
навыки конструирования деталей и узлов авиационных двигателей и энергетических на стадии разработки конструктивных схем.			ОЛР3, 5		

*Примечание:*

*КР- контрольная работа, ЛР-лабораторная работа, ОЛР- отчет по лабораторной работе, КП- курсовой проект, ТВ- теоретический вопрос, ПЗ- практическое задание*

## **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 контрольной работы проводится по каждому модулю теоретического материала. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

Всего предусмотрено 3 текущих контрольных работ по всем модулям дисциплины.

Тематика текущих контрольных работ:

Тема 1, 2, 3: Основные требования, параметры, области применения, классификация ГТД. Схема типичного ГТД.

Тема 4, 5, 6: Роторы и статоры ГТД. Радиальные и осевые зазоры.

Тема 7, 8: Конструктивные схемы ГТД.

#### **Типовые вопросы КР1:**

1. Области применения ГТД. Классификация двигателей.
2. Основные характеристики и параметры ГТД. Изменение параметров по тракту ГТД, достигнутые значения основных параметров.
3. Основные требования к газотурбинным двигателям. Основные направления достижения и обеспечения требований.
4. Конструктивная схема ТРД. Кинематическая схема ТРД. Основные узлы и элементы ТРД, их назначение, требования к ним и взаимосвязь.
5. Модульность ГТД. Принципы формирования модулей.
6. Условия работы ГТД, усилия, действующие на элементы ТРД. Газодинамические силы.
7. Условия работы ГТД, усилия, действующие на элементы ТРД. Внутреннее давление.
8. Условия работы ГТД, усилия, действующие на элементы ТРД. Центробежные силы.
9. Условия работы ГТД, усилия, действующие на элементы ТРД. Инерционные нагрузки. Гироскопический момент.
10. Условия работы ГТД, усилия, действующие на элементы ТРД. Распределение крутящего момента на роторе. Распределение крутящего момента на статоре. Результирующее осевое усилие. Статические (квазистатические) и динамические нагрузки.

#### **Типовые вопросы КР2:**

1. Состав ротора ГТД. Основные требования, предъявляемые к роторам. Изгибная и крутильная жесткость ротора. Статический и динамический дисбаланс.
2. Кинематические схемы роторов ГТД. Сравнительный анализ.

3. Основные типы роторов осевых компрессоров и турбин. Сравнительный анализ.
4. Соединение основных ротора компрессора и ротора турбины в составных роторах ГТД. Требования. Сравнительный анализ.
5. Количество опор ротора. 2-х, 3-х, 4-х опорная схема ротора. Выбор количества опор ротора.
6. Расположение ротора относительно опор. Консольное, межопорное и комбинированное расположение ротора компрессора и турбины ГТД.
7. Типы опор ГТД. Выбор типа опор. Тепловые и силовые осевые деформации ротора. Обеспечение свободы тепловой и силовой деформации ротора.
8. Уравновешивание осевых сил и крутящих моментов. Осевые усилия, действующие на упорные подшипники. Снижение осевых усилий на упорный подшипник.
9. Состав статора ГТД. Основные требования, предъявляемые к статору. Силовые схемы статора ГТД. Изгибная жесткость статора.
10. Деформации статора ГТД под воздействием внутренних тепловых и силовых факторов.
11. Деформации статора ГТД под воздействием внешних силовых факторов.
12. Соединение основных элементов статора ГТД. Требования к соединениям. Центрирование основных элементов. Обеспечение соосности подшипниковых узлов.
13. Радиальные зазоры в компрессорах и турбинах ГТД. Факторы, влияющие на величину радиального зазора. Относительный радиальный зазор. Изменение величины радиального зазора в зависимости от режима работы двигателя. Изменение радиального при осевом смещении ротора относительно статора в результате тепловой и силовой деформации.
14. Основные мероприятия по обеспечению минимальной величины радиальных зазоров. Пассивная минимизация радиального зазора.
15. Системы активного регулирования радиальных зазоров.
16. Уплотнение воздушных полостей ГТД. Основные типы бесконтактных уплотнений. Сравнительный анализ эффективности уплотнений.
17. Бесконтактные лабиринтные уплотнения. Цилиндрические и торцевые лабиринтные уплотнения. Эффективность лабиринтного уплотнения. Конструктивное исполнение лабиринтных уплотнений.

### **Типовые вопросы КР3:**

1. Классификация ТРД. Конструктивные схемы ТРД с осевым, центробежным и осецентрированным компрессором. Конструктивные схемы двухвальных ТРД.
2. Двухконтурные турбореактивные двигатели. Классификация. Конструктивные схемы ТРДД. 1, 2, 3-х вальные ТРДД. ТРДД со смешением и без смешения потоков.
3. Основные способы форсирования тяги. Конструктивные схемы форсажных двигателей ТРДФ и ТРДДФ.

4. Конструктивные схемы турбовинтовых двигателей. Конструктивные схемы авиационных турбовальных двигателей.
5. Силовые установки самолетов вертикального и укороченного взлета и посадки. Конструктивные схемы подъемных и подъемно-маршевых двигателей.
6. Конструктивные схемы вспомогательных ГТД.
7. Классификация наземных ГТД. Конструктивные схемы двигателей наземного применения. Газотурбинные силовые установки морских судов.
8. Требования к системам крепления двигателей. Системы подвески двигателя в летательном аппарате. Системы крепления наземных ГТД. Обеспечение свободы тепловых деформаций в системах подвески двигателя.

## **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 защиты лабораторных работ (согласно РПД во время изучения каждого модуля учебной дисциплины).

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

Всего запланировано 7 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 программы специалитета.

## **2.3. Промежуточная аттестация**

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

Промежуточная аттестация включает в себя экзамен по дисциплине.

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов знать, уметь, владеть заявленных дисциплинарных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания с учётом результатов экзамена и рубежного контроля.

### **2.3.1. Типовые вопросы для экзамена по дисциплине для контроля усвоенных знаний:**

1. Области применения ГТД. Классификация двигателей.
2. Основные характеристики и параметры ГТД. Изменение параметров по тракту ГТД, достигнутые значения основных параметров.

3. Основные требования к газотурбинным двигателям. Основные направления достижения и обеспечения требований.
4. Конструктивная схема ТРД. Кинематическая схема ТРД. Основные узлы и элементы ТРД, их назначение, требования к ним и взаимосвязь.
5. Модульность ГТД. Принципы формирования модулей.
6. Условия работы ГТД, усилия, действующие на элементы ТРД. Газодинамические силы.
7. Условия работы ГТД, усилия, действующие на элементы ТРД. Внутреннее давление.
8. Условия работы ГТД, усилия, действующие на элементы ТРД. Центробежные силы.
9. Условия работы ГТД, усилия, действующие на элементы ТРД. Инерционные нагрузки. Гироскопический момент.
10. Условия работы ГТД, усилия, действующие на элементы ТРД. Распределение крутящего момента на роторе. Распределение крутящего момента на статоре. Результирующее осевое усилие. Статические (квазистатические) и динамические нагрузки.
11. Состав ротора ГТД. Основные требования, предъявляемые к роторам. Изгибная и крутильная жесткость ротора. Статический и динамический дисбаланс.
12. Кинематические схемы роторов ГТД. Сравнительный анализ.
13. Основные типы роторов осевых компрессоров и турбин. Сравнительный анализ.
14. Соединение основных ротора компрессора и ротора турбины в составных роторах ГТД. Требования. Сравнительный анализ.
15. Количество опор ротора. 2-х, 3-х, 4-х опорная схема ротора. Выбор количества опор ротора.
16. Расположение ротора относительно опор. Консольное, межопорное и комбинированное расположение ротора компрессора и турбины ГТД.
17. Типы опор ГТД. Выбор типа опор. Тепловые и силовые осевые деформации ротора. Обеспечение свободы тепловой и силовой деформации ротора.
18. Уравновешивание осевых сил и крутящих моментов. Осевые усилия, действующие на упорные подшипники. Снижение осевых усилий на упорный подшипник.
19. Состав статора ГТД. Основные требования, предъявляемые к статору. Силовые схемы статора ГТД. Изгибная жесткость статора.
20. Деформации статора ГТД под воздействием внутренних тепловых и силовых факторов.
21. Деформации статора ГТД под воздействием внешних силовых факторов.
22. Соединение основных элементов статора ГТД. Требования к соединениям. Центрирование основных элементов. Обеспечение соосности подшипниковых узлов.
23. Радиальные зазоры в компрессорах и турбинах ГТД. Факторы, влияющие на величину радиального зазора. Относительный радиальный зазор. Изменение величины радиального зазора в зависимости от режима работы дви-

- гателя. Изменение радиального при осевом смещении ротора относительно статора в результате тепловой и силовой деформации.
24. Основные мероприятия по обеспечению минимальной величины радиальных зазоров. Пассивная минимизация радиального зазора.
  25. Системы активного регулирования радиальных зазоров.
  26. Уплотнение воздушных полостей ГТД. Основные типы бесконтактных уплотнений. Сравнительный анализ эффективности уплотнений.
  27. Бесконтактные лабиринтные уплотнения. Цилиндрические и торцевые лабиринтные уплотнения. Эффективность лабиринтного уплотнения. Конструктивное исполнение лабиринтных уплотнений.
  28. Классификация ТРД. Конструктивные схемы ТРД с осевым, центробежным и осецентричным компрессором. Конструктивные схемы двухвальных ТРД.
  29. Двухконтурные турбореактивные двигатели. Классификация. Конструктивные схемы ТРДД. 1, 2, 3-х вальные ТРДД. ТРДД со смещением и без смещения потоков.
  30. Основные способы форсирования тяги. Конструктивные схемы форсажных двигателей ТРДФ и ТРДДФ.
  31. Конструктивные схемы турбовинтовых двигателей. Конструктивные схемы авиационных турбовальных двигателей.
  32. Силовые установки самолетов вертикального и укороченного взлета и посадки. Конструктивные схемы подъемных и подъемно-маршевых двигателей.
  33. Конструктивные схемы вспомогательных ГТД.
  34. Классификация наземных ГТД. Конструктивные схемы двигателей наземного применения. Газотурбинные силовые установки морских судов.
  35. Требования к системам крепления двигателей. Системы подвески двигателя в летательном аппарате. Системы крепления наземных ГТД. Обеспечение свободы тепловых деформаций в системах подвески двигателя.

#### **2.3.4. 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 контроля во время экзамена. Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче дифференцированного зачёта для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС программы спецмалитета.

### **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 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.