

УОН

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



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

Аэрокосмический факультет  
Кафедра «Авиационные двигатели»



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе  
д-р техн. наук, проф.

Н. В. Лобов

05 / 2017 г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ  
«Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических  
установок»**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Программа специалитета

**Специальность 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(ы):** 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, 2017 г.**

**Учебно-методический комплекс дисциплины «Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок»** разработан на основании:

- самостоятельно устанавливаемого образовательного стандарта, утвержденного приказом ректора от 03 апреля 2017 г. номер приказа 24-О по специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей»;
- компетентностной модели выпускника ОПОП по специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» специализации «Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок», утверждённой 30 марта 2017 г.;
- базового учебного плана очной формы обучения по специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» специализации «Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок», утверждённого 30 марта 2017 г.

**Рабочая программа согласована** с рабочими программами дисциплин «Системы автоматизированного проектирования авиационных двигателей и энергетических установок», «Динамика и прочность авиационных двигателей и энергетических установок», «Прочность конструкций», «Проектирование узлов и систем авиационных двигателей и энергетических установок», «Ресурсное проектирование авиационных двигателей и энергетических установок», «Вычислительные технологии в авиадвигателестроении», «Материаловедение», «Технология конструкционных материалов», «Технологические процессы в авиадвигателестроении», «Специальная технология изготовления деталей и сборка авиационных двигателей и энергетических установок», «Производственная практика (стажировка инженерная)», «Преддипломная практика (практика по выполнению выпускной квалификационной работы)», «Учебная практика (практика выполнения работ по одной или нескольким профессиям рабочих, должностям служащих)», «Производственная практика (практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности)», участвующих в формировании компетенций совместно с данной дисциплиной.

Разработчик

канд.техн. наук, доц.

  
(подпись)

Л.В. Воронов  
(инициалы, фамилия)

Рецензент

д-р техн.наук., проф.  
(учёная степень, звание)

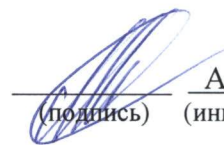
  
(подпись)

М.А. Нихамкин  
(инициалы, фамилия)

**Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры «Авиационные двигатели»** «25» 04 2017 г., протокол № 21

Заведующий кафедрой «Авиационные двигатели», ведущей дисциплину

д-р техн. наук, проф.  
(ученая степень, звание)

  
(подпись)

А.А. Иноземцев  
(инициалы, фамилия)

**Рабочая программа одобрена учебно-методической комиссией** Аэрокосмического факультета «26» 04 2017 г., протокол № 7.

Председатель учебно-методической комиссии Аэрокосмического факультета

канд. техн. наук, доц.  
(ученая степень, звание)

  
(подпись)

Н.Е. Чигодаев  
(инициалы, фамилия)

### Согласовано:

Заведующий выпускающей кафедрой «Авиационные двигатели»

д-р техн. наук, проф.  
(ученая степень, звание)

  
(подпись)

А.А. Иноземцев  
(инициалы, фамилия)

Начальник управления образовательных программ

канд. техн. наук, доц.  
(ученая степень, звание)

  
(подпись)

Д.С. Репецкий  
(инициалы, фамилия)



## 1 Общие положения

### 1.1 Цель учебной дисциплины:

– формирование комплекса знаний об основах конструкций газотурбинных двигателей, формирование дисциплинарных частей компетенций, связанных с разработкой конструкций авиационных двигателей и энергетических установок, обеспечением их надежности, ресурса..

В процессе изучения данной дисциплины студент осваивает следующие агрегированные профессионально – специализированные компетентности и профессионально-специализированные компетенции АПСК-1.3; ПСК-1.8:

- способность выполнять расчёты параметров рабочего процесса, нагруженности, прочностного и теплового состояния, характеристик, осуществлять документированное конструирование авиационных двигателей, их деталей, узлов и систем (АПСК-1.3);
- способность анализировать и обеспечивать технологичность изделий, устраняя или предупреждая причины брака в процессе конструирования и изготовления, контролировать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении авиационных и ракетных двигателей, их отдельных узлов и агрегатов (ПСК-1.8).

### 1.2 Задачи учебной дисциплины:

- **формирование знаний**

– областей применения и основных типов ГТД; основных узлов ГТД их назначение, взаимосвязь и специфические требования; конструктивных схем двигателей, схем роторов и статоров ГТД и способов их соединений; основных силовых факторов, действующих на элементы ГТД; назначение, условия работы и требования к основным элементам ГТД; основных способов и технологических особенностей соединений элементов ГТД; принципов собираемости элементов и узлов ГТД;

- **формирование умений**

– анализировать напряженное состояние основных элементов ГТД; выполнять проектные работы по разработке конструктивных схем ГТД; анализировать и разрабатывать системы опор ротора и силовые схемы статора ГТД; обеспечивать технологичность обеспечения соосности и собираемости ГТД на стадии разработки конструкторских схем;

- **формирование навыков**

- работы с технической документацией по ГТД; разработки конструктивных схем ГТД; качественного анализа конструкторских решений и обеспечения надежности ГТД; анализа технологичности сборки ГТД различных конструктивных схем.

### 1.3 Предметом освоения учебной дисциплины являются следующие объекты:

- конструктивные схемы газотурбинных двигателей;
- модульность конструкций и взаимосвязь узлов ГТД;
- роторы газотурбинных двигателей;

- статоры газотурбинных двигателей;
- процессы, происходящие в ГТД, в следствие силового и теплового эксплуатационного нагружения основных элементов конструкции;
- конструкторские мероприятия по обеспечению работоспособности и надежности ГТД.

#### 1.4 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок» относится к вариативной части блока 1 «Дисциплины (модули)» и является обязательной при освоении ОПОП по специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» специализации «Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок».

В таблице 1.1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций, заявленных в пункте 1.1.

Таблица 1.1 – Дисциплины, направленные на формирование компетенций

Код	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины)
<b>Агрегированные профессионально – специализированные компетентности</b>			
АПСК-1.3	Способность выполнять расчёты параметров рабочего процесса, нагруженности, прочностного и теплового состояния, характеристик, осуществлять документированное конструирование авиационных двигателей, их деталей, узлов и систем (АПСК-1.3)	Б1.В.07. Теория и расчёт лопаточных машин; Б1.ДВ.04.1. Динамика и прочность авиационных двигателей и энергетических установок; Б1.ДВ.04.2. Прочность конструкций; Б1.ДВ.07.1. Вычислительные технологии в авиадвигателестроении;	Б1.Б27. Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок; Б1.Б28. Автоматика и регулирование авиационных двигателей и энергетических установок; Б1.Б29. Конструкция и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок; Б1.ДВ.03.1. Системы автоматизированного проектирования авиационных двигателей и энергетических установок; Б1.ДВ.06.1. Проектирование узлов и систем авиационных двигателей и энергетических установок; Б1.ДВ.06.2. Ресурсное проектирование авиационных двигателей и энергетических установок;



Код	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины)
			ческих установок; Б2.Б.04. Производственная практика (стажировка инженерная); Б2.Б.06. Преддипломная практика (практика по выполнению выпускной квалификационной работы)
<b>Профессионально-специализированные компетенции</b>			
ПСК-1.8	Способность анализировать и обеспечивать технологичность изделий, устраняя или предупреждая причины брака в процессе конструирования и изготовления, контролировать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении авиационных и ракетных двигателей, их отдельных узлов и агрегатов	Б1.Б.18. Материаловедение; Б1.Б.19. Технология конструкционных материалов; Б1.В.06. Технологические процессы в авиадвигателестроении;	Б1.В.09. Специальная технология изготовления деталей и сборки авиационных двигателей и энергетических установок;

## 2 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Учебная дисциплина обеспечивает формирование части компетенций АПСК-1.3; ПСК-1.8.

### 2.1 Дисциплинарная карта компетенции АПСК-1.3

Код АПСК-1.3	Формулировка компетенции
	Способность выполнять расчёты параметров рабочего процесса, нагрузки, прочностного и теплового состояния, характеристик, осуществлять документированное конструирование авиационных двигателей, их деталей, узлов и систем

Код АПСК-1.3.Б1.В.08	Формулировка дисциплинарной части компетенции
	Способность осуществлять разработку и описание конструкторских схем узлов и элементов авиационных двигателей

### Требования к компонентному составу части компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
<b>Знать:</b> – области применения и основные типы ГТД; - основные узлы ГТД их назначение, взаимо-	<i>Лекции. Самостоятельная работа студентов</i>	<i>Контрольные вопросы при текущем контроле.</i>

<p>связь и специфические требования;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- конструктивные схемы двигателей;</li> <li>- схемы роторов и статоров ГТД;</li> <li>- основные силовые факторы, действующие на элементы ГТД;</li> <li>- способы соединения основных элементов роторов и статоров ГТД;</li> </ul>	<p><i>(изучение теоретического материала).</i></p> <p><i>Самостоятельная работа студентов по подготовке к экзамену</i></p>	<p><i>Вопросы к экзамену</i></p>
<p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- анализировать напряженное состояние основных элементов ГТД;</li> <li>- выполнять проектные работы по разработке конструктивных схем ГТД;</li> <li>- анализировать и разрабатывать системы опор ротора ГТД;</li> <li>- анализировать и разрабатывать силовые схемы статора ГТД;</li> </ul>	<p><i>Лабораторные работы.</i></p> <p><i>Самостоятельная работа студентов (подготовка к ЛР)</i></p>	<p><i>Отчёт по ЛР.</i></p>
<p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками работы с технической документацией по ГТД;</li> <li>- навыками разработки конструктивных схем ГТД;</li> <li>- навыками качественного анализа конструкторских решений и обеспечения надежности ГТД;</li> </ul>	<p><i>Лабораторные работы.</i></p> <p><i>Самостоятельная работа студентов (подготовка к ЛР, подготовка отчетов по ЛР)</i></p>	<p><i>Отчёт по ЛР.</i></p>

## 2.2 Дисциплинарная карта компетенции ПСК-1.8

<b>Код ПСК-1.8</b>	<b>Формулировка компетенции</b>
	Способность анализировать и обеспечивать технологичность изделий, устраняя или предупреждая причины брака в процессе конструирования и изготовления, контролировать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении авиационных и ракетных двигателей, их отдельных узлов и агрегатов

<b>Код ПСК-1.8.Б.1.В.08</b>	<b>Формулировка дисциплинарной части компетенции</b>
	Способность обеспечивать технологичность элементов авиационных ГТД в процессе их конструирования

### Требования к компонентному составу части компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- назначение, условия работы основных элементов ГТД и требования к ним;</li> <li>- основные способы и технологические особенности соединений элементов ГТД;</li> <li>- принципы собираемости элементов и узлов ГТД;</li> </ul>	<p><i>Лекции.</i></p> <p><i>Самостоятельная работа студентов (изучение теоретического материала).</i></p> <p><i>Самостоятельная работа студентов по подготовке к экзамену</i></p>	<p><i>Контрольные вопросы при текущем контроле.</i></p> <p><i>Вопросы к экзамену</i></p>
<p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обеспечивать технологичность собираемости ГТД на стадии разработки конструкторских схем;</li> </ul>	<p><i>Лабораторные работы.</i></p> <p><i>Самостоятельная</i></p>	<p><i>Отчёт по ЛР.</i></p>



– обеспечивать технологичность обеспечения соосности элементов ГТД	<i>работа студентов (подготовка к ЛР)</i>	
<b>Владеть:</b> – навыками анализа технологичности сборки ГТД различных конструктивных схем	<i>Лабораторные работы. Самостоятельная работа студентов (подготовка к ЛР, подготовка отчетов по ЛР)</i>	<i>Отчёт по ЛР.</i>

### 3 Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Объем дисциплины в зачетных единицах составляет 5 ЗЕ. Количество часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся указано в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Объём и виды учебной работы

№ п.п.	Виды учебной работы	Трудоёмкость		
		по семестрам		всего
1	2	3	4	5
1	<b>Аудиторная (контактная) работа</b>		<b>72</b>	<b>72</b>
	– лекции (Л)		34	34
	– лабораторные работы (ЛР)		36	36
	Контроль самостоятельной работы (КСР)		2	2
2	<b>Самостоятельная работа студентов (СРС)</b>		<b>72</b>	<b>72</b>
	– изучение теоретического материала		40	40
	– выполнение курсовой работы, подготовка пояснительной записки по курсовой работе			
	– подготовка к аудиторным занятиям (лекционным, лабораторным)		8	8
	– подготовка отчетов по лабораторным работам		24	24
3	<b>Итоговый контроль (промежуточная аттестация обучающихся) по дисциплине: экзамен</b>		<b>36</b>	<b>36</b>
4	<b>Трудоёмкость дисциплины, всего:</b> в часах (ч) в зачётных единицах (ЗЕ)		<b>180 (ч)</b> <b>5 (ЗЕ)</b>	<b>180 (ч)</b> <b>5 (ЗЕ)</b>

### 4 Содержание учебной дисциплины

#### 4.1 Модульный тематический план

Таблица 4.1 – Тематический план по модулям учебной дисциплины

Номер учебного модуля	Номер раздела дисциплины	Номер темы дисциплины	Количество часов и виды занятий (очная форма обучения)			Трудоёмкость, ч / ЗЕ	
			аудиторная работа		Итоговый кон-		самостоятельная
			всего	в том числе			

дуля				Л	ЛР	КСР	троль	работа	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	Введение	1	1					1/0,03
		1	3	1	2			4	7 / 0,19
		2	4	2	2			4	8 / 0,22
		3	8	4	4			4	12 / 0,33
	<b>Всего по модулю:</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>8</b>			<b>12</b>	<b>28 / 0,78</b>	
2	2	4	15	6	8	1		10	25 / 0,69
		5	12	6	6			10	22 / 0,61
		6	4	2	2			10	14 / 0,39
	<b>Всего по модулю:</b>	<b>31</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>1</b>		<b>30</b>	<b>61 / 1,69</b>	
	3	7	23	10	12	1		24	47 / 1,31
		8	2	2				6	8 / 0,22
	<b>Всего по модулю:</b>	<b>25</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>1</b>		<b>30</b>	<b>55 / 1,53</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>							<b>Экзамен/ 36</b>		<b>36 / 1</b>
<b>Итого:</b>			<b>72</b>	<b>34</b>	<b>36</b>	<b>2</b>	<b>36</b>	<b>72</b>	<b>180 / 5</b>

#### 4.2 Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Модуль 1. Основные требования, параметры, области применения, классификация ГТД. Схема типичного ГТД.

Л- 8 ч., ЛР- 8 ч., СРС- 12 ч..

Раздел 1. Основные требования, параметры, области применения, классификация ГТД. Схема типичного ГТД.

##### **Введение.**

Роль и место дисциплины в системе подготовки специалиста по авиационным 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.

##### **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.

##### **2. Области применения ГТД. Классификация двигателей.**

Газотурбинные двигатели авиационного назначения. Газотурбинные двигатели в промышленности, энергетике, трубопроводном транспорте, наземном транспорте. Газотурбинные двигатели морского применения. Турбореактивные двигатели (ТРД), турбореактивные двухконтурные двигатели (ТРДД), турбо-



винтовые двигатели (ТВД), форсажные турбореактивные двигатели (ТРДФ и ТРДДФ), подъемные и подъемно-маршевые ГТД, вертолетные турбовальные двигатели (ТВаД), наземные ТВаД, ТВД и ТВаД морского применения.

### **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. Модульность ГТД. Принципы формирования модулей. Условия работы, усилия, действующие на элементы ТРД. Внутреннее давление. Центробежные силы. Газодинамические силы. Распределение крутящего момента на роторе. Распределение крутящего момента на статоре. Инерционные силы и моменты. Гироскопический момент. Результирующее осевое усилие. Статические (квазистатические) и динамические нагрузки.

Модуль 2. Роторы и статоры ГТД. Радиальные и осевые зазоры. Л- 14 ч., ЛР- 16 ч., СРС-30 ч., КСР- 1ч.

Раздел 2. Роторы и статоры ГТД. Радиальные и осевые зазоры.

### **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 ТРД. 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 перекося осей подшипниковых опор. Накопление несоосности и перекося 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 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.

Модуль 3. Конструктивные схемы ГТД.

Л- 12 ч., ЛР- 12 ч., СРС- 30ч., КСР-1ч.

Раздел 3. Конструктивные схемы ГТД.

#### **7. Конструктивные схемы ГТД.**

Классификация ТРД. Конструктивные схемы ТРД с осевым, центробежным и осецентрибежным 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.

### **4.3 Перечень тем практических занятий**

Практические занятия не предусмотрены.

### **4.4 Перечень тем лабораторных работ**

Таблица 4.2 – Темы лабораторных работ

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы лабораторной работы
1	2	3
1	1,2	Анализ основных технических характеристик на примере газотурбинных двигателей различных схем.



2	3	Анализ силовых факторов в ГТД и напряженного состояния основных элементов ТРД.
3	4,5	Анализ силовых схем статоров и кинематических схем роторов ГТД.
4	4	Анализ систем компенсации осевых усилий на упорные подшипники.
5	5, 6	Анализ способов обеспечения соосности роторов ГТД и способов уплотнения воздушных полостей.
6	7	Анализ конструктивных схем авиационных ГТД.
7	7	Разработка конструктивной схемы двигателя.

## 5. 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. После изучения какой-либо темы по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела, воспроизвести необходимые схемы и эскизы.

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

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

9. Изучение дисциплины осуществляется в течение одного семестра, график изучения дисциплины приводится п.7.

10. 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.

Таблица 5.1 – Виды самостоятельной работы студентов (СРС)

Номер темы дисциплины	Вид самостоятельной работы студентов	Трудоёмкость, часов
1	2	3
1	Изучение теоретического материала Жизненный цикл ГТД. Основные этапы жизненного цикла. Конструкторская поддержка изделия на этапах жизненного цикла	4
2	Изучение теоретического материала Хронология эволюции авиационных газотурбинных двигателей. ГТД I...VI поколений	2
	Подготовка отчета по лабораторной работе	2
3	Изучение теоретического материала Авиационные топлива и масла ТРД Усилия, действующие на входное устройство и реактивное сопло ТРД	2
	Подготовка отчета по лабораторной работе	2
4	Изучение теоретического материала Осевые усилия, действующие на ротор. Методы измерения. Методики расчета. Регулирование осевого усилия на ротор.	6
	Подготовка отчета по лабораторной работе	4
5	Изучение теоретического материала. Силовые элементы статора ГТД, участвующие в передаче усилий с опор роторов. Исполнение силовых поясов ГТД.	6
	Подготовка к лабораторной работе	2
	Подготовка отчета по лабораторной работе	2
6	Изучение теоретического материала Основные мероприятия в ГТД по уплотнению соединений элементов проточной части.	6
	Подготовка к лабораторной работе	2
	Подготовка отчета по лабораторной работе	2
7	Изучение теоретического материала ГТД изменяемого цикла. Конструктивные особенности наземных ГТД сложных циклов. Микротурбины. ГТД различных схем на основе базового газогенератора.	8
	Подготовка к лабораторной работе	2
	Подготовка отчета по лабораторной работе	6
	Подготовка к лабораторной работе	2
	Подготовка отчета по лабораторной работе	6
8	Изучение теоретического материала Подвески наземных ГТД	6
	Итого: в ч / в ЗЕ	72/2



## **5.1. Тематика для самостоятельного изучения дисциплины**

Тема 1. Жизненный цикл ГТД. Основные этапы жизненного цикла. Конструкторская поддержка изделия на этапах жизненного цикла.

Тема 2. Хронология эволюции авиационных газотурбинных двигателей. ГТД I...VI поколений.

Тема 3. Авиационные топлива и масла ТРД. Усилия, действующие на входное устройство и реактивное сопло ТРД.

Тема 4. Осевые усилия, действующие на ротор. Методы измерения. Методики расчета. Регулирование осевого усилия на ротор.

Тема 5. Силовые элементы статора ГТД, участвующие в передаче усилий с опор роторов. Исполнение силовых поясов ГТД.

Тема 6. Основные мероприятия в ГТД по уплотнению соединений элементов проточной части.

Тема 7. ГТД изменяемого цикла. Конструктивные особенности наземных ГТД сложных циклов. Микротурбины. ГТД различных схем на основе базового газогенератора.

Тема 8. Подвески наземных ГТД.

## **5.2. Курсовая работа**

Курсовая работа не предусмотрена.

## **5.3. Реферат**

Реферат не предусмотрен.

## **5.4. Расчетно-графические работы**

Расчетно-графические работы не предусмотрены.

## **5.5. Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание не предусмотрено.

## **5.6 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, стимулиру-

ющих 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.

## **6 Фонд оценочных средств дисциплины**

### **6.1 Текущий и промежуточный контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций**

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

- Текущие контрольные работы для анализа усвоения теоретического материала. 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.

- Контроль выполнения лабораторных работ.

### **6.2 Рубежный контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций**

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений дисциплинарных частей компетенций (табл. 6.1) проводится согласно графику учебного процесса, приведенного в РПД, в форме защиты лабораторных работ (согласно РПД во время изучения каждого модуля учебной дисциплины).



### 6.3 Промежуточная аттестация, контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

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.

Экзамен по дисциплине проводится с использованием фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (разрабатывается отдельным документом).

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.

### 6.4 Виды текущего, рубежного и промежуточного контроля освоения элементов и частей компетенций

Таблица 6.1 - Виды контроля освоения элементов и частей компетенций

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля				
	Текущий и промежуточный		Рубежный		Промежуточная аттестация
	ТКР	ЛР	ОЛР		Экзамен
<b>Усвоенные знания</b>					
<b>3.1</b> области применения и основные типы ГТД;	КР1,3				ТВ
<b>3.2</b> основные узлы ГТД их назначение, взаимосвязь и специфические требования;	КР1				ТВ
<b>3.3</b> схемы роторов и статоров ГТД;	КР2				ТВ
<b>3.4</b> основные силовые факторы, действующие на элементы ГТД;	КР1				ТВ
<b>3.5</b> способы соединения основных элементов роторов и статоров ГТД;	КР2				ТВ
<b>3.6</b> назначение, условия работы основных элементов ГТД и требования к ним;	КР1,2				ТВ
<b>3.7</b> основные способы и технологические особенности соединений элементов ГТД;	КР2				ТВ
<b>3.8</b> принципы собираемости элементов и узлов ГТД;	КР2				ТВ
<b>Освоенные умения</b>					
<b>У.1</b> анализировать напряженное состояние основных элементов ГТД;			ОЛР2, 4		
<b>У.2</b> выполнять проектные работы по разработке конструктивных схем ГТД;			ОЛР7		
<b>У.3</b> анализировать и разрабатывать системы опор ротора ГТД;			ОЛР3		

У.4 анализировать и разрабатывать силовые схемы статора ГТД;			ОЛР3		
У.5 обеспечивать технологичность собираемости ГТД на стадии разработки конструкторских схем;			ОЛР6, 7		
У.6 обеспечивать технологичность обеспечения соосности элементов ГТД;			ОЛР6, 7		
<b>Приобретенные владения</b>					
В.1 навыками работы с технической документацией по ГТД;			ОЛР1		
В.2 навыками разработки конструктивных схем ГТД;			ОЛР7		
В.3 навыками качественного анализа конструкторских решений и обеспечения надежности ГТД;			ОЛР2		
В.4 навыками анализа технологичности сборки ГТД различных конструктивных схем.			ОЛР5, 7		

*Примечание:*

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

## 7 График учебного процесса по дисциплине

Таблица 7.1 – График учебного процесса по дисциплине

Вид работы	Распределение часов по учебным неделям (8 семестр)																		Итого, ч
	*1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
<b>Раздел:</b>	<b>Р1</b>				<b>Р2</b>								<b>Р3</b>						
<i>Лекции</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		<b>34</b>
<i>Лабораторные работы</i>		4		4		4		4		4		4		4		4	4		<b>36</b>
<i>КСР</i>											1						1		<b>2</b>
<i>Изучение теоретического материала</i>	4	2	2		4	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	2			<b>40</b>
<i>Подготовка к аудиторным занятиям (лекциям, лабораторным)</i>							2		2					2		2			<b>8</b>
<i>Подготовка отчетов по лабораторным работам</i>		2		2				2		2		4		6			6		<b>24</b>
<i>Курсовой проект (курсовая работа)</i>																			
<b>Модуль:</b>	<b>М1</b>				<b>М2</b>								<b>М3</b>						
Контрольная работа				+									+					+	





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

### 8.1 Карта обеспеченности дисциплины учебно-методической литературой

**Б1.В.08**  
 Основы конструирования  
 авиационных двигателей и  
 энергетических установок

(индекс и полное название  
 дисциплины)

**БЛОК 1. Дисциплины (модули)**

(цикл дисциплины)

<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>

базовая часть цикла  
 вариативная часть цикла

<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

обязательная  
 по выбору студента

**24.05.02**

(код направления подготовки /  
 специальности)

**Проектирование авиационных и ракетных двигателей  
 /Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок**

(полное название направления подготовки / специальности)

**АРД / АД**

(аббревиатура направления /  
 специальности)

Уровень  
 подготовки

<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

специалист  
 бакалавр  
 магистр

Форма  
 обучения

<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

очная  
 заочная  
 очно-заочная

2017

(год утверждения  
 учебного плана ОПОП)

Семестр(ы): 8

Количество групп 1

Количество студентов 30

Воронов Л.В.  
 (фамилия, инициалы преподавателя)

Аэрокосмический  
 (факультет)

АД  
 (кафедра)

доцент  
 (должность)

тел. 2391361  
 (контактная информация)

Карта книго-  
 обеспеченности  
 в библиотеку ода



## 8.2. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины<sup>1</sup>

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке + кафедре; местонахождение электрон- ных изданий
1	2	3
<b>1 Основная литература</b>		
1	Иноземцев А.А., Нихамкин М.Ш., Сандрацкий В.Л. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Учебник для вузов. в 5 т. М., Машиностроение, 2008.	т.1-40 т.2-40 т.3-41 т.4-40 т.5-41
2	Конструкция и проектирование авиационных ГТД / Под общ ред. Д.В.Хромина. М., «Машиностроение», 1989, 565 с.	24
3	Нихамкин М.А., Воронов Л.В. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Вопросы и задачи: Учеб. пособие / Пермский гос. техн. ун-т. – Пермь 2005, 142 с.	141
<b>2 Дополнительная литература</b>		
<b>2.1 Учебные и научные издания</b>		
4	Зрелов В.А. Отечественные газотурбинные двигатели. Основные параметры и конструктивные схемы: Учеб. пособие. М.: «Машиностроение», 2005, 336 с.	70
5	Основы технологии создания газотурбинных двигателей для магистральных самолетов/ Братухин А.Г., Решетников Ю.Е., Иноземцев А.А и др./ред. А.Г. Братухина. -М.: Авиатехинформ, 1999.-553 с	5
6	Газовые турбины двигателей летательных аппаратов: теория, конструкция и расчет : учебник для вузов / В. И. Локай, М. К. Максимова, В. А. Стрункин . – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1991 . – 511 с.	21
<b>2.2 Периодические издания</b>		
Не предусмотрены		
<b>2.3 Нормативно-технические издания</b>		
7	Технические описания газотурбинных двигателей: АМ-3, Д-20П, Д-30П, Д-30КУ/КП, ВК-1, АИ-20А, ТВ2-117, ГТД-3Ф, ГТД-350, Д-25В, АЛ-31Ф, ГТД-550СА, Р11Ф-300, РУ-19.	<i>По 3 экз. на кафедре</i>
<b>2.4 Официальные издания</b>		
Не предусмотрены		
<b>2.5 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины</b>		

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке + кафедре; местонахождение электрон- ных изданий
1	2	3
1	<b>Электронная библиотека</b> Научной библиотеки Пермского национального исследовательского политехнического университета [ <b>Электронная библиотека</b> Научной библиотеки Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс : полнотекстовая база данных электрон. документов изданных в Изд-ве ПНИПУ]. – Электрон. дан. (1 912 записей). – Пермь, 2014- . – Режим доступа: <a href="http://elib.pstu.ru/">http://elib.pstu.ru/</a> . – Загл. с экрана.	
2	<b>Лань</b> [Электронный ресурс : электрон.-библ. система : полнотекстовая база данных электрон. документов по гуманитар., естеств., и техн. наукам] / Изд-во «Лань». – Санкт-Петербург : Лань, 2010- . – Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/">http://e.lanbook.com/</a> . – Загл. с экрана.	
3	<b>Консультант Плюс</b> [Электронный ресурс : справочная правовая система : документы и комментарии : универсал. информ. ресурс]. – Версия Проф, сетевая. – Москва, 1992- . – Режим доступа: Компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, свободный	

## Основные данные об обеспеченности на

01.04.2017

(дата составления рабочей программы)

основная литература

 обеспечена не обеспечена

дополнительная литература

 обеспечена не обеспеченаЗав. отделом комплектования  
научной библиотеки

Н.В. Тюрикова

## Текущие данные об обеспеченности на

(дата контроля литературы)

основная литература

 обеспечена не обеспечена

дополнительная литература

 обеспечена не обеспеченаЗав. отделом комплектования  
научной библиотеки

\_\_\_\_\_

Н.В. Тюрикова

Карта книго-  
обеспеченности  
в библиотеку сдана



### 8.3. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

#### 8.3.1 Перечень программного обеспечения, в том числе компьютерные обучающие и контролирующие программы

Таблица 8.1 – Программы, используемые для обучения и контроля

№ п.п.	Вид учебного занятия	Наименование программного продукта	Рег. номер	Назначение
1	2	3	4	5

Не предусмотрены

#### 8.4 Аудио- и видео-пособия

Таблица 8.2 – Используемые аудио- и видео-пособия

Вид аудио-, видео-пособия				Наименование учебного пособия
теле-фильм	кино-фильм	слайды	аудио-пособие	
1	2	3	4	5
		+		Курс лекций «Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок»

### 9. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

#### 9.1. Специализированные лаборатории и классы

Таблица 9.1 – Специализированные лаборатории и классы

№ п.п.	Помещения			Площадь, м <sup>2</sup>	Количество посадочных мест
	Название	Принадлежность (кафедра)	Номер аудитории		
1	2	3	4	5	6
1	Мультимедийная лекционная аудитория	Кафедра АД	201 к.Г	70	50
2	Лаборатория конструкции ГТД	Кафедра АД	015 к.Г	76	-
3	Лаборатория конструкции ГТД	Кафедра АД	109 к.Г	66	20
4	Лаборатория конструкции ГТД	Кафедра АД	111 к.Г	131	20

## 9.2 Основное учебное оборудование

Таблица 9.2 – Учебное оборудование

№ п.п.	Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката)	Кол-во, ед.	Форма приобретения / владения (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.)	Номер аудитории
1	2	3	4	5
1	Макет-разрез двигателя АМ-3	1	оперативное управление	015
2	Макет-разрез двигателя Д-20П	1	оперативное управление	015
3	Макет-разрез двигателя Д-30П	1	оперативное управление	015
4	Макет-разрез двигателя ВК-1	1	оперативное управление	109
5	Макет-разрез двигателя АИ-20А	1	оперативное управление	109
6	Макет-разрез двигателя ТВ2-117	1	оперативное управление	109
7	Макет-разрез двигателя ПС-90А	1	оперативное управление	111
8	Макет-разрез двигателя ТКС-48	1	оперативное управление	109
9	Макет-разрез двигателя С-300	1	оперативное управление	109
10	Макет-разрез прямого двигателя	1	оперативное управление	111
11	Макеты узлов двигателя Д-30Ф-6	1	оперативное управление	111
12	Плакат продольный разрез двигателя АМ-3	1	оперативное управление	015
13	Плакат продольный разрез двигателя Д-20П	1	оперативное управление	015
14	Плакат продольный разрез двигателя ВК-1	1	оперативное управление	109
15	Плакат продольный разрез двигателя АИ-20А	1	оперативное управление	109
16	Плакат продольный разрез двигателя ТВ2-117	1	оперативное управление	109
17	Плакат продольный разрез двигателя ПС-90А	1	оперативное управление	111
18	Плакат продольный разрез двигателя ПС-90ГП1	1	оперативное управление	111
19	Плакат продольный разрез двигателя Д-30Ф-6	1	оперативное управление	111



**Лист регистрации изменений**

<b>№ п.п.</b>	<b>Содержание изменения</b>	<b>Дата, номер протокола заседания кафедры. Подпись заведующего кафедрой</b>
1	2	3
1		
2		
3		
4		