

3+ 209.9011

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.

*[Handwritten signature]*

Н. В. Лобов

2017 г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ  
«Математическое моделирование наземных газотурбинных 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:** 5

**Семестр(ы):** 9

**Трудоёмкость:**

Кредитов по рабочему учебному плану:

5 ЗЕ

Часов по рабочему учебному плану:

180 ч

**Виды контроля:**



Экзамен: 9 Диф. зачёт: -нет Зачет: -- нет Курсовой проект: -нет Курсовая работа: -нет

Пермь, 2017 г.

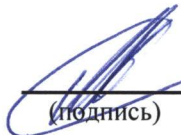
**Учебно методический комплекс дисциплины «Математическое моделирование наземных газотурбинных установок»** разработан на основании:

- 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 ООП по специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей», специализации «Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок», утверждённой « 03» апреля 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 « 03 » апреля 2017 г.

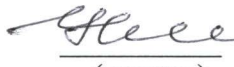
**Рабочая программа согласована** с рабочими программами дисциплин «Математика», «Уравнения математической физики», «Физика», «Теоретическая механика», «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика», «Сопrotивление материалов», «Детали машин», «Теория механизмов и машин», «Термодинамика», «Теплопередача», «Механика жидкости и газа», «Автоматика и регулирование авиационных двигателей (АД) и энергетических установок (ЭУ)», «Основы инженерного эксперимента», «Системы автоматизированного проектирования», «Испытания и обеспечение надежности АД и ЭУ», «Научно-исследовательская работа студентов», участвующих в формировании компетенций совместно с данной дисциплиной.

Разработчик	<u>д-р техн.наук., проф.</u> (учёная степень, звание)	 (подпись)	<u>В.Г. Августинович</u> (инициалы, фамилия)
Рецензент	<u>д-р техн. наук, проф.</u> (учёная степень, звание)	 (подпись)	<u>Р.В Бульбович</u> (инициалы, фамилия)



**Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры**  
«Авиационные двигатели» « 26 » 06 2017 г., протокол № 26

Заведующий кафедрой «Авиационные двигатели», ведущей дисциплину	<u>д-р техн. наук, проф.</u> (ученая степень, звание)	 (подпись)	<u>А.А. Иноземцев</u> (инициалы, фамилия)
---	--	--	--

**Рабочая программа одобрена учебно-методической комиссией** Аэрокосмического факультета « 28 » 06 2017 г., протокол № 9 .

Председатель учебно-методической комиссии аэрокосмического факультета	<u>канд. техн. наук доц.</u>	 (подпись)	<u>Н.Е. Чигодаев</u> (инициалы, фамилия)
---	------------------------------	---	---

### Согласовано:

Заведующий выпускающей кафедрой «Авиационные двигатели»	<u>д-р техн. наук, проф.</u> (ученая степень, звание)	 (подпись)	<u>А.А. Иноземцев</u> (инициалы, фамилия)
Начальник управления образовательных программ	<u>канд. техн. наук, доц.</u> (ученая степень, звание)	 (подпись)	<u>Д.С. Репецкий</u> (инициалы, фамилия)



## 1 Общие положения

### 1.1 Цель дисциплины

– формирование знания технологии разработки математической модели наземной газотурбинной установки (ГТУ).

В процессе изучения данной дисциплины студент расширяет и углубляет следующие профессиональные компетенции АПК.ПК-1, АПК.НИ-1, АПК.НИ-3:

- способность принимать участие в работах по расчёту и конструированию отдельных деталей и узлов двигателей и энергетических установок летательных аппаратов в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования (АПК. ПК-1);
- способность творчески применять математические, естественнонаучные, профессиональные и специальные знания для подготовки и постановки в полном объеме задач научных исследований процессов, явлений и объектов в профессиональной сфере деятельности (АПК.НИ-1);
- способность готовить и выполнять научные и экспериментальные исследования, обработку и анализ их результатов, проводить диагностическую оценку самостоятельно и в составе групп, использовать автоматизированные системы регистрации и обработки информации (АПК.НИ-3).

### 1.2 Задачи учебной дисциплины:

- **формирование знаний**

типовых схем наземных ГТУ и методов их отображения с помощью математических моделей; современных методов математического моделирования процессов в наземных ГТУ; технологии постановки задачи численного моделирования процессов в наземных ГТУ и подготовки данных для вычислительного эксперимента; технологии построения математической модели наземной ГТУ.

- **формирование умений**

осуществлять постановку задачи численного моделирования процессов в наземных ГТУ и составление алгоритма ее решения; задавать для неё начальные и граничные условия; работать с конкретными схемами наземных ГТУ и составлять математические модели; решить задачу или составить алгоритм ее решения.

- **формирование навыков**

выбора уровня математической модели для решения конкретных задач проектирования наземных ГТУ; подготовки вычислительного эксперимента (алгоритмизация, начальные и граничные условия), применения прикладного программного обеспечения для вычислительного эксперимента и составления отчета (описание разработанной модели).

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

- математическая модель наземной ГТУ как термодинамической системы;
- рабочие процессы в наземных ГТУ;
- задачи численного моделирования процессов в наземных ГТУ ;
- параметрическая диагностика наземной ГТУ.

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

Дисциплина «Математическое моделирование наземных газотурбинных установок» относится к дисциплинам по выбору блока 1 «Дисциплины (модули)» 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 (группы дисциплин)
<b>Профессиональные компетенции</b>			
АПК. ПК-1	способность принимать участие в работах по расчёту и конструированию отдельных деталей и узлов двигателей и энергетических установок летательных аппаратов в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования	Б1.Б14 Начерт. геом., инж. и комп.графика. Б1.Б15 Сопромат Б1.Б16 Детали машин Б1.Б17 ТММ Б1.Б21 Термодинамика Б1.Б22 Теплопередача Б1.Б26 МЖГ Б1.В04 САПР	Б1.Б28 Автоматика и регулir. АД и ЭУ
АПК. НИ-1	способность творчески применять математические, естественнонаучные, профессиональные и специальные знания для подготовки и постановки в полном объеме задач научных исследований процессов, явлений и объектов в профессиональной сфере деятельности	Б1.Б08 Математика Б1.Б09 Ур. матфизики Б1.Б11 Физика Б1.Б12 Теор. механика Б1.Б21 Термодинамика Б1.Б26 МЖГ Б1.В11 НИРС	–
АПК. НИ-3	способность готовить и выполнять научные и экспериментальные исследования, обработку и анализ их результатов, проводить диагностическую оценку самостоятельно и в составе групп, использовать автоматизированные системы регистрации и обработки информации	Б1.Б11 Физика Б1.В.01 основы инж. эксперимента Б1.В11 НИРС	Б1.В.10 Испыт. и обесп. надежности АД и ЭУ



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

Учебная дисциплина обеспечивает формирование части компетенций АПК.ПК-1, АПК.НИ-1, АПК.НИ-3

### 2.1 Дисциплинарная карта компетенции АПК.ПК-1

Код	Формулировка компетенции:
АПК.ПК-1	способность принимать участие в работах по расчёту и конструированию отдельных деталей и узлов двигателей и энергетических установок летательных аппаратов в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования

Код	Формулировка дисциплинарной части компетенции
АПК.ПК-1 Б1.ДВ.02.2	способность участвовать в расчётах процессов в наземных газотурбинных установках и их узлах

### Требования к компонентному составу части компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
<b>Знать:</b> – типовые схемы наземных ГТУ и методы их отображения с помощью, математических моделей; – современные методы математического моделирования процессов в наземных ГТУ;	Лекции. Самостоятельная работа студентов по изучению теоретического материала.	Вопросы рубежной контрольной работы
<b>Уметь:</b> – осуществлять постановку задачи численного моделирования процессов в наземных ГТУ и составление алгоритма ее решения; – задавать для неё начальные и граничные условия;	Практические занятия. Самостоятельная работа	Задания к практическим занятиям Индивидуальное задание Задания рубежной контрольной работы
<b>Владеть:</b> – навыками выбора уровня математической модели для решения конкретных задач проектирования наземных ГТУ.	Практические занятия. Самостоятельная работа	Задания к практическим занятиям Индивидуальное задание Экзамен

### 2.2 Дисциплинарная карта компетенции АПК.НИ-1

Код	Формулировка компетенции:
АПК.НИ-1	способность творчески применять математические, естественнонаучные, профессиональные и специальные знания для подготовки и постановки

	в полном объеме задач научных исследований процессов, объектов и явлений в профессиональной сфере деятельности
--	--

Код	Формулировка дисциплинарной части компетенции
<b>АПК.НИ-1 Б1.ДВ.02.2</b>	способность разрабатывать математические модели нестационарных процессов в наземных газотурбинных установках и их узлах

### Требования к компонентному составу части компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
<b>Знать:</b> – технологию постановки задачи численного моделирования процессов в наземных ГТУ и подготовки данных для вычислительного эксперимента;	Лекции. Самостоятельная работа студентов по изучению теоретического материала.	Вопросы рубежной контрольной работы
<b>Уметь:</b> – работать с конкретными схемами наземных ГТУ и составлять математические модели;	Практические занятия. Самостоятельная работа	Задания к практическим занятиям Индивидуальное задание Задания рубежной контрольной работы
<b>Владеть:</b> – навыками подготовки вычислительного эксперимента (алгоритмизация, начальные и граничные условия).	Практические занятия. Самостоятельная работа	Задания к практическим занятиям Индивидуальное задание Экзамен

### 2.3 Дисциплинарная карта компетенции АПК.ПК-3

Код	Формулировка компетенции:
<b>АПК.НИ-3</b>	способность готовить и выполнять научные и экспериментальные исследования, обработку и анализ их результатов, проводить диагностическую оценку самостоятельно и в составе групп, использовать автоматизированные системы регистрации и обработки информации.

Код	Формулировка дисциплинарной части компетенции
<b>ПК-32 Б1.ДВ.02.2</b>	способность решать задачи диагностики технического состояния наземных газотурбинных установок

### Требования к компонентному составу части компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
<b>Знать:</b> – технологию построения математической модели наземной ГТУ;	Лекции. Самостоятельная работа студентов	Вопросы рубежной контрольной работы



	по изучению теоретического материала.	
<b>Уметь:</b> – решить задачу или составить алгоритм ее решения;	Практические занятия. Самостоятельная работа	Задания к практическим занятиям Индивидуальное задание Задания рубежной контрольной работы
<b>Владеть:</b> – навыками применения прикладного программного обеспечения для вычислительного эксперимента и составления отчета (описание разработанной модели) .	Практические занятия. Самостоятельная работа	Задания к практическим занятиям Индивидуальное задание Экзамен.

### 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
		всего
1	2	3
1	<b>Аудиторная (контактная) работа</b>	<b>72</b>
	- лекции (Л)	32
	- практические занятия (ПЗ)	36
	-контроль самостоятельной работы (КСР)	4
2	<b>Самостоятельная работа студентов (СРС)</b>	<b>72</b>
	-изучение теоретического материала	24
	-индивидуальное задание	24
	-подготовка к аудиторным занятиям (лекционным, практическим)	24
3	<b>Итоговый контроль обучающихся по дисциплине (экзамен)</b>	36
4	<b>Трудоёмкость дисциплины, всего:</b>	
	<b>в часах (ч)</b>	<b>180 ч</b>
	<b>в зачётных единицах (ЗЕ)</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			КСР	Итоговый контроль	самостоятельная работа	
			всего	Л	ПЗ				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	2	2				4	6/0,2
		2	2	2				4	6/0,2
		3	6	2	4			4	10/0,3
	2	4	6	2	4			4	10/0,3
		5	6	2	4			4	10/0,3
		6	6	2	4			4	10/0,3
		7	2	2				4	6/0,2
		8	2	2				4	6/0,2
		9	6	2	4			4	10/0,3
		10	8	2	4	2		8	16/0,4
<b>Итого по модулю:</b>			<b>46</b>	<b>20</b>	<b>24</b>	<b>2</b>		<b>44</b>	<b>90/2,5</b>
2	3	11	8	4	4			8	16/0,4
		12	9	4	4	1		8	17/0,5
	<b>Итого по модулю:</b>			<b>17</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>1</b>		<b>16</b>
3	4	13	9	4	4	1		12	21/0,5
		Заключение							
	<b>Итого по модулю:</b>			<b>9</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>1</b>		<b>12</b>
<b>Итоговая аттестация</b>							<b>Экзамен/36</b>		<b>36/1</b>
<b>Итого:</b>			<b>72</b>	<b>32</b>	<b>36</b>	<b>4</b>	<b>36</b>	<b>72</b>	<b>180/5,0</b>



## 4.2 Содержание разделов и тем учебной дисциплины

### Модуль 1 Общие сведения о математическом моделировании. Математическая модель наземной ГТУ.

#### Раздел 1. Математические модели физических процессов и технология их применения при создании двигателей

Л – 6 ч, ПЗ – 4 ч. СРС – 12 ч.

**Введение.** Предмет и цель изучения курса «математическое моделирование авиационных двигателей». Газотурбинный двигатель как объект проектирования. Главная задача термодинамического проектирования — определение его выходных характеристик на стационарных и нестационарных режимах при любом сочетании погодных условий.

#### Тема 1. Общие сведения о математическом моделировании.

Понятие математической модели объекта. Основные задачи, решаемые с помощью математического моделирования. Виды моделей и их классификация по уровню описания физических процессов. Комбинации моделей разного уровня. Фокусирование. Модели, работающие в реальном масштабе времени.

#### Тема 2. Определение облика двигателя в зависимости от назначения ГТУ (привод электрогенератора или газоперекачивающего агрегата).

Основные положения методологии оптимального проектирования. Критерии оптимизации и требования, ограничивающие задачу оптимизации. Условия определения облика ГТУ. Данные для проектирования двигателя. Ожидаемые условия эксплуатации.

#### Тема 3. Критерии оптимизации авиационного двигателя.

Экономический критерий: стоимость жизненного цикла. Технические критерии: экономичность и КПД двигателя.

#### Раздел 2. Методика построения математической модели ГТУ.

Л – 14 ч, ПЗ – 20 ч., СРС – 32 ч. КСР – 2 ч.

#### Тема 4. Блок-схема математической модели ГТУ.

Разбиение ГТУ как системы на подсистемы (блоки) и составление системы уравнений связей между блоками.

#### Тема 5. Понятие расходной характеристики узла.

Расходная характеристика как замыкающий (граничный) элемент системы. Типовые расходные характеристики компрессора, турбины, выходного устройства.

#### Тема 6. Критерии подобия режимов работы ГТД.

Практический смысл применения критериев подобия для математических моделей узлов ГТУ и ГТУ в целом. Формирование критериев подобия. Геометрическое, кинематическое и гидродинамическое подобие режимов работы.

#### Тема 7. Физические основы построения математической модели камеры сгорания.

Закон Гесса. Теплотворная способность топлива. Теоретически необходимое количество окислителя и коэффициент избытка воздуха. Условия устойчивого горения.

**Тема 8. Основы механизмов формирования эмиссии вредных веществ.** Механизм генерации вредных веществ. Традиционная технология организации горения. Нормирование эмиссии окислов азота. Основные пути развития мало-эмиссионных камер сгорания.

**Тема 9. Математическая модель системы управления ГТУ.** Принципиальная схема системы управления. ПИД-регулятор. Дополнительные функции системы управления, многоконтурность.

**Тема 10. Особенности моделирования процессов в смесителе и определение гидравлических потерь по тракту двигателя.** Функция и смысл применения смесителя в двухконтурном двигателе. Особенности математической модели смесителя и ее применение.

## **Модуль 2. Математическое моделирование стационарных, нестационарных и автоколебательных процессов в ГТУ.**

**Раздел 3. Математическое моделирование стационарных, нестационарных и автоколебательных процессов в ГТУ.**

Л – 8 ч., ПЗ – 8 ч., СРС – 16 ч., КСР-1 ч.

**Тема 11. Общая постановка задачи моделирования.**

Формирование граничных и начальных условий. Исходные данные. Система дифференциальных уравнений математической модели. Рекуррентные соотношения. Условия окончания процесса моделирования (интегрирования системы уравнений): асимптотическое и периодическое решения.

**Тема 12. Особенности моделирования автоколебательных процессов в компрессоре и камере сгорания.**

Причины автоколебательности системы: краевые условия с энергетической подпиткой, наличие нелинейного элемента в системе (невозможность стационарного решения) и обратной связи. Упрощенные модели срыва горения в камере сгорания и помпажа в компрессоре.

## **Модуль 3. Применение математической модели ГТУ в задачах диагностики технического состояния двигателей.**

**Раздел 4. Применение математической модели ГТУ в задачах диагностики технического состояния двигателей**

Л.—4 ч., ПЗ—4 ч., СРС—12 ч., КСР-1 ч.

**Тема 13. Задача диагностики технического состояния объекта**

Измеряемые и неизмеряемые параметры. Представление измеряемых параметров объекта в виде разложения функции в ряд Тэйлора в окрестности режима по неизмеряемым параметрам. Решение системы линейных уравнений относительно неизмеряемых параметров. Пример решения задачи.



### 4.3 Перечень тем практических занятий

Таблица 4.2 – Темы практических занятий.

№ п/п	Номер темы дисциплины	Наименование темы практического занятия
1	Тема 3	Особенности наземных ГТУ с электрическим и насосным приводами -4 часа
2	Тема 4	Методика структурирования двигателя как подсистемы на примере ГТУ-16П и ГТУ-25П, — 4 часа
3	Тема 5	Методика построения математических моделей узлов —4 часа.
4	Тема 6	Применение теории подобия в математическом моделировании —4 часа.
5	Тема 9	Построение математической модели системы управления двигателем —4 часа.
6	Тема 10	Построение математической модели смесителя — 4 часа
7	Тема 11	Формирование граничных и начальных условий. Исходные данные. Рекуррентные соотношения—4 часа
8	Тема 12	Постановка задачи моделирования автоколебательных процессов в двигателе—4 часа
9	Тема 13	Постановка задачи параметрической диагностики состояния объекта-4 часа

### 4.4 Перечень тем лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом.

### 4.5 Виды самостоятельной работы студентов

Таблица 4.4 – Виды самостоятельной работы студентов (СРС)

Номер темы дисциплины	Вид самостоятельной работы студентов	Трудоёмкость, часов
1	2	3
1	Изучение теоретического материала	4
2	Изучение теоретического материала	4
3	Подготовка к практическим занятиям	4
4	Подготовка к практическим занятиям	4
5	Подготовка к практическим занятиям	4
6	Подготовка к практическим занятиям	4
7	Изучение теоретического материала	6
8	Изучение теоретического материала	6
9	Подготовка к практическим занятиям	4
10	Подготовка к практическим занятиям	4
11	Выполнение индивидуального задания	12
12	Изучение теоретического материала	4
13	Выполнение индивидуального задания	12
	Итого: в ч / в ЗЕ	72 / 2

#### **4.5.1. Изучение теоретического материала**

Тематика вопросов, изучаемых самостоятельно (в дополнение к лекциям)

Тема 1. Общие сведения о математическом моделировании.

Тема 2. Определение облика ГТУ в зависимости от вида привода.

Тема 7. Физические процессы в камере сгорания.

Тема 8. Основы механизмов формирования эмиссии вредных веществ.

#### **4.5.2. Курсовой проект (курсовая работа)**

Курсовой проект (курсовая работа) не предусмотрен.

#### **4.5.3. Реферат**

Реферат не предусмотрен.

#### **4.5.4. Расчетно-графическая работа.**

Расчетно-графическая работа не предусмотрена.

#### **4.5.5. Индивидуальное задание**

Предусмотрено выполнение индивидуального задания группой студентов, состоящей из двух человек. Тема индивидуального задания: составление математической модели наземной ГТУ (система уравнений, начальные и граничные условия, алгоритм численного интегрирования) применительно к конкретному для каждого задания двигателю (одновальный с электроприводом, двухвальный с электроприводом, одновальный с насосным приводом, двухвальный с насосным приводом) из банка данных. В качестве исходных данных выдается изображение продольного разреза конкретного двигателя (ГТУ-2,5П, ГТУ-4П, ГТУ-16П, ГТУ-25П, Трент-60, Сименс и т.п.). В результате выполнения индивидуального задания студент осваивает технологию разработки математической модели наземной ГТУ. Планируемый результат-способность студента разрабатывать алгоритм функционирования матмодели наземной ГТУ любой газодинамической схемы и применения.

### **5 Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций**

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.



Проведение практических занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором учащиеся 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 учащихся на достижение целей занятия.

Практические занятия проводятся в классе конструкций реальных ГТД, что позволяет развивать навыки соотнесения математических моделей процессов, явлений и объектов с реальными конструкциями двигателей. Решение конкретной задачи математического моделирования с применением современных вычислительных методов позволяет закрепить теоретические знания, полученные на лекциях, и в ходе самостоятельного изучения.

## **6 Управление и контроль освоения компетенций**

### **6.1 Текущий контроль освоения заданных дисциплинарных компетенций**

Текущий контроль освоения дисциплинарных компетенций проводится в следующих формах:

- оценка работы студента на лекционных и практических занятиях в рамках рейтинговой системы.

### **6.2 Рубежный и промежуточный контроль освоения заданных Дисциплинарных частей компетенций**

Рубежный контроль освоения дисциплинарных компетенций проводится по окончании модулей дисциплины в следующих формах:

- бланочное тестирование (модуль 1);
- защита отчета по индивидуальному заданию (модуль 2);
- контрольная работа (модуль 3).

### **6.3 Итоговый контроль освоения заданных дисциплинарных компетенций**

#### **1) Экзамен**

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

Экзаменационная оценка выставляется с учетом результатов рубежного контроля.

Фонды оценочных средств, включающие типовые задания, контрольные работы, тесты, критерии оценивания, перечень контрольных точек и таблица планирования результатов обучения, позволяющие оценить результаты освоения данной дисциплины, входят в состав РПД в виде приложения.

### 6.4 Виды текущего, рубежного и итогового 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
	ТК	ПЗ	ИЗ	КР	Экзамен
<b>Усвоенные знания</b>					
<b>3.1</b> типовые схемы наземных ГТУ и методы их отображения с помощью математических моделей;	+				+
<b>3.2</b> современные методы математического моделирования процессов в наземных ГТУ;	+				+
<b>3.3</b> технология постановки задачи численного моделирования процессов в наземных ГТУ и подготовки данных для вычислительного эксперимента;	+				+
<b>3.4</b> технология построения математической модели наземной ГТУ;	+	+			+
<b>Освоенные умения</b>					
<b>У.1</b> составлять блок-схемы термодинамических моделей наземных ГТУ различных схем;		+	+	+	+
<b>У.2</b> задавать начальные и граничные условия для решения системы уравнений, являющейся математической моделью ГТУ		+	+	+	+
<b>У.3</b> работать с конкретными схемами наземных ГТУ и составлять математические модели;		+	+	+	+
<b>У.4</b> решить задачу или составить алгоритм ее решения;		+	+	+	+
<b>Приобретенные владения</b>					
<b>В.1</b> навыками выбора уровня математической модели для решения конкретных задач проектирования наземных ГТУ.		+	+		+
<b>В.2</b> навыками подготовки вычислительного эксперимента (алгоритмизация, начальные и граничные условия).		+	+		+
<b>В.3</b> навыками применения прикладного программного обеспечения для вычислительного эксперимента и составления отчета (описание разработанной модели) .		+	+		+

ТК – текущий контроль; ИЗ – индивидуальное задание;

КР – рубежная контрольная работа по модулю (оценка знаний и умений);

ПЗ – выполнение практических занятий (оценка умений и владений)



## 7 График учебного процесса по дисциплине

Таблица 7.1 – График учебного процесса по дисциплине

Вид работы	Распределение часов по учебным неделям																		Итого
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
<b>Раздел:</b>	<b>P1</b>			<b>P2</b>				<b>P3</b>						<b>P4</b>					
<i>Лекции</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			<b>32</b>
<i>Практические занятия</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	<b>36</b>
<i>КСР</i>			1													1		2	<b>4</b>
<i>Подготовка к практическим занятиям</i>			4	4	4	4			4										<b>20</b>
<i>Самостоятельное изучение теор. материала</i>	4	4						4	4										<b>16</b>
<i>Индивидуальное задание</i>													6	6	6	6	6	6	<b>36</b>
<b>Модуль:</b>	<b>M1</b>			<b>M2</b>												<b>M3</b>		<b>144</b>	
Контрольная работа																			+
Бланочное тестирование			+																
Защита отчета по индивидуальному заданию																		+	
Дисциплин. контроль																			<b>Экзамен/36</b>

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

### 8.1 Карта обеспеченности дисциплины учебно-методической литературой

Б1.ДВ.02.2 Математическое моделирование наземных газотурбинных установок	Математический и научно-инженерный цикл (цикл дисциплины)								
(индекс и полное название дисциплины)	<table border="0"> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>обязательная</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>базовая часть цикла</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>по выбору студента</td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>вариативная часть цикла</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>	обязательная	<input type="checkbox"/>	базовая часть цикла	<input checked="" type="checkbox"/>	по выбору студента	<input checked="" type="checkbox"/>	вариативная часть цикла
<input type="checkbox"/>	обязательная	<input type="checkbox"/>	базовая часть цикла						
<input checked="" type="checkbox"/>	по выбору студента	<input checked="" type="checkbox"/>	вариативная часть цикла						

24.05.02 (код специальности)	Проектирование авиационных и ракетных двигателей/ Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок (полное название направления подготовки / специальности)
---------------------------------	---

АД/АД (аббревиатура направления / специальности)	Уровень подготовки	<table border="1"> <tr><td style="text-align: center;">x</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> </table>	x			специалист бакалавр магистр	Форма обучения	<table border="1"> <tr><td style="text-align: center;">x</td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> </table>	x			очная заочная очно-заочная
x												
x												

2017  
(год утверждения учебного плана ОПОП)

Семестр(ы) 9

Количество групп 1  
Количество студентов 20

Августинович В.Г.  
(фамилия, инициалы преподавателя)

профессор  
(должность)

Аэрокосмический  
(факультет)

АД  
(кафедра)

тел. 2391361  
(контактная информация)



## 8.2. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

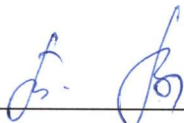
№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1	2	3
<b>1 Основная литература</b>		
1	Августинович В.Г. Математическое моделирование авиационных двигателей: учеб. пособие/ В.Г. Августинович.—Пермь: Изд-во Перм. Гос. Техн. Ун-та, 2008.—100с.	49 + ЭБ
<b>2 Дополнительная литература</b>		
<b>2.1 Учебные и научные издания</b>		
2	Численное моделирование нестационарных явлений в газотурбинных двигателях /под. ред. Августиновича В.Г. и Шмотина Ю.Н.—М.: Машиностроение, 2005.—536 с.	На каф. АД -
<b>2.2 Периодические издания</b>		
3	Авиационная и ракетная техника: научно-технический журнал / ПНИ-ПУ.— Пермь: ПНИПУ, 2000 - . — В вузах: ПГТУ 2007 - 2012 .— Издаётся с 2000 г. — Ежеквартальное .— ISSN 1994-3210.	
<b>2.3 Нормативно-технические издания</b>		
4	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.	
<b>2.4 Официальные издания</b>		
Не предусмотрены		
<b>2.5 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины</b>		
1	<b>Электронная библиотека</b> Научной библиотеки Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронная библиотека Научной библиотеки Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс : полнотекстовая база данных электрон. документов изданных в Изд-ве ПНИ-ПУ]. – 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** 01.06.2017  
*(дата составления рабочей программы)*

основная литература  обеспечена  не обеспечена

дополнительная литература  обеспечена  не обеспечена

Зав. отделом комплектования  
научной библиотеки

  
\_\_\_\_\_

Н.В. Тюрикова

**Данные об обеспеченности на**  
01.06.2017

*(дата составления рабочей программы)*

основная литература  обеспечена  не обеспечена

дополнительная литература  обеспечена  не обеспечена

Зав. отделом комплектования  
научной библиотеки

\_\_\_\_\_

Н.В. Тюрикова

Карта книго-  
обеспеченности  
в библиотеку сдана



## 8.2 Компьютерные обучающие и контролирующие программы

не предусмотрены.

## 8.3 Аудио- и видео-пособия

не предусмотрены.

## 9 Материально-техническое обеспечение дисциплины

### 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	Лаборатория конструкций АД	Кафедра АД	111		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	Натурный макет двигателя ПС-90	1		111
2	Плакат с изображением наземной ГТУ ГТУ-16П в разрезе (аксонометрия)	1		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		