

УОН 3+

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



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

Аэрокосмический факультет

Кафедра «Ракетно-космическая техника и энергетические системы»



**УТВЕРЖДАЮ**

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

*Handwritten signature of N.V. Lobov*

Н.В. Лобов

2017 г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Автоматизация проектирования ракетных двигателей»**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Программа специалитета

Специальность 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей»

Специализация программы специалитета

Проектирование ракетных двигателей  
твердого топлива

Квалификация выпускника:

инженер

Выпускающая кафедра:

Ракетно-космическая техника и  
энергетические системы

Форма обучения:

очная

Курс: 5

Семестр(ы): 10

Трудоемкость:

Кредитов по рабочему учебному плану:

3

Часов по рабочему учебному плану:

108

Виды контроля:

Экзамен: –

Зачет: 10

Курсовой проект: –

Курсовая работа: –

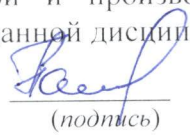
**Учебно-методический комплекс дисциплины «Автоматизация проектирования ракетных двигателей»** разработан на основании:

- самостоятельно устанавливаемого образовательного стандарта по специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей», утвержденного приказом ректора от 03 апреля 2017 г., номер приказа №24-О;
- компетентностной модели выпускника ОПОП по специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей», специализации «Проектирование ракетных двигателей твердого топлива», утвержденной 03 апреля 2017 г.;
- базового учебного плана очной формы обучения по специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей», специализации «Проектирование ракетных двигателей твердого топлива», утвержденного 03 апреля 2017 г.

**Рабочая программа согласована** с рабочими программами дисциплин «Высшая математика», «Физика», «Теоретическая механика», «Термодинамика», «Теплопередача», «Механика жидкости и газа», «Автоматическое управление ракетными двигательными установками», «Моделирование рабочих процессов в ракетных двигателях», «Вычислительные технологии в авиадвигателестроении», «Основы конструирования ракетных двигателей твердого топлива», «Проектирование зарядов твердых ракетных топлив», «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика», «Компьютерные технологии в научных исследованиях», «Сопротивление материалов», «Теория механизмов и машин», «Детали машин и основы конструирования», «Конструкция ракетных двигателей твердого топлива», «Конструирование и производство изделий из композиционных материалов» и программами учебной и производственной практик, участвующих в формировании компетенций совместно с данной дисциплиной.

Разработчики

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

  
(подпись)

В.В. Павлоградский  
(инициалы, фамилия)

ассистент

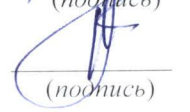
(ученая степень, звание)

  
(подпись)

И.В. Храмов  
(инициалы, фамилия)

Рецензент

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

  
(подпись)

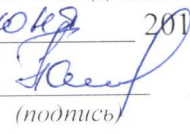
Р.В. Бульбович  
(инициалы, фамилия)

**Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры «Ракетно-космическая техника и энергетические системы» «06» июля 2017 г., протокол № 19.**

Заведующий кафедрой

«Ракетно-космическая техника и энергетические системы»,  
ведущей дисциплину

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

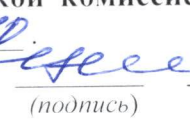
  
(подпись)

М.И. Соколовский  
(инициалы, фамилия)

**Рабочая программа одобрена учебно-методической комиссией Аэрокосмического факультета «Ф» 07 2017 г., протокол № 10.**

Председатель учебно-методической комиссии аэрокосмического факультета

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

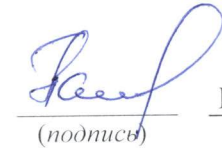
  
(подпись)

Н.Е. Чигодаев  
(инициалы, фамилия)

**Согласовано:**

Заведующий выпускающей кафедрой «Ракетно-космическая техника и энергетические системы»

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

  
(подпись)

М.И. Соколовский  
(инициалы, фамилия)

Начальник управления образовательных программ

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

  
(подпись)

Д.С. Репецкий  
(инициалы, фамилия)



## 1 Общие положения

### 1.1 Цели дисциплины

**Цель учебной дисциплины** – изучение основных методов и задач вычислительной гидродинамики, расчетов на прочность жесткость и устойчивость конструкций и отдельных элементов ракетных и авиационных двигателей, энергетических установок при различных воздействиях с использованием современных инженерных программ и приобретение навыков работы в данных программах.

В процессе изучения данной дисциплины студент расширяет и углубляет следующие общепрофессиональные и профессиональные компетенции:

– способность решать задачи комплексного инженерного анализа с использованием общеинженерных знаний, стандартных методов математического анализа и моделирования, базовых прикладных программных средств (АОПК-2);

– 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).

### 1.2 Задачи дисциплины:

- изучение численных методов расчета на прочность, жесткость и устойчивость отдельных элементов конструкций авиационных и ракетных двигателей;
- освоение программы конечно-элементного анализа для проведения прочностных расчетов и анализа конструкций на устойчивость;
- изучение численных методов расчета течений жидкости и газа;
- освоение программы вычислительной динамики жидкости и газов для проведения газодинамических расчетов конструкции авиационных и ракетных двигателей;
- формирование навыков владения персональным компьютером как инструментом для проведения расчетов элементов конструкции авиационных и ракетных двигателей.

### 1.3 Предметом изучения дисциплины являются следующие объекты:

- численные методы расчета задач строительной механики применительно к конструкции авиационных и ракетных двигателей;
- современные компьютерные программы для решения задач строительной механики;
- численные методы расчета задач газовой динамики применительно к конструкции авиационных и ракетных двигателей;
- современные компьютерные программы для решения задач газовой динамики;

### 1.4 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Автоматизация проектирования ракетных двигателей» относится к вариативной части блока I «Дисциплины (модули)» дисциплин рабочего учебного плана и является обязательной при освоении ОПОП по специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей», специализации

«Проектирование ракетных двигателей твердого топлива».

После изучения дисциплины обучающийся должен освоить части указанных в пункте 1.1 компетенций и продемонстрировать следующие результаты:

• **знать:**

- основные методы численного решения задач строительной механики;
- основные методы численного решения задач газовой динамики;
- основные возможности прикладных программ для численного решения задач газовой динамики и строительной механики;
- типы расчетных задач возникающих при проектировании, отработке и доводке авиационных и ракетных двигателей;
- численные методы расчета задач строительной механики и газовой динамики применительно к авиационным и ракетным двигателям;

• **уметь:**

- применять современные компьютерные программы для решения задач строительной механики;
- применять современные компьютерные программы для решения задач газовой динамики;
- проводить постановку задач для численного исследования процессов возникающих при проектировании, отработке и доводке авиационных и ракетных двигателей;
- проводить анализ результатов полученных при численном моделировании;
- на основе полученных результатов численного моделирования давать рекомендации на создание новых типов конструкции авиационных и ракетных двигателей;

• **владеть:**

- методами построения геометрических и сеточных моделей применяемых для расчета задач строительной механики и газовой динамики;
- навыками использования пакета ANSYS для проведения прочностного статического и динамического анализа элементов конструкций авиационных и ракетных двигателей;
- навыками использования пакета ANSYS CFX для проведения газодинамического анализа элементов конструкций авиационных и ракетных двигателей;
- навыками построения геометрических и сеточных моделей деталей и узлов авиационных и ракетных двигателей в ANSYS Workbench.

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>Общепрофессиональные компетенции</b>			
АОПК-2	Способность решать задачи комплексного инженерного анализа с использованием общеинженерных знаний, стандартных методов математического анализа и моделирования, базовых прикладных программных средств	Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика, Высшая математика, Физика, Теоретическая механика, Компьютерные технологии в научных исследованиях, Вычислительные технологии в авиадвигателестроении, Механика жидкости и газа, Автоматическое управление ракетными двигательными установками, Учебная практика (практика по получению первичных профессиональных умений и навыков).	
<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	Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика, Сопротивление материалов, Термодинамика, Теория механизмов и машин, Детали машин и основы конструирования, Теплопередача, Моделирование рабочих процессов в ракетных двигателях, Основы конструирования ракетных двигателей твердого топлива, Проектирование зарядов твердых ракетных топлив, Конструкция ракетных двигателей твердого топлива, Учебная практика	Конструирование и производство изделий из композиционных материалов.

		(практика по получению первичных профессиональных умений и навыков), Производственная практика (стажировка проектно-конструкторская).	
--	--	--	--

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

Учебная дисциплина обеспечивает формирование части компетенций АОПК-2, АПК.ПК-1.

### 2.1 Дисциплинарная карта компетенции АОПК-2

Код	Формулировка компетенции
АОПК-2	Способность решать задачи комплексного инженерного анализа с использованием общеинженерных знаний, стандартных методов математического анализа и моделирования, базовых прикладных программных средств

Код	Формулировка дисциплинарной части компетенции
АОПК-2.Б1.В.07	Способность решать задачи комплексного инженерного анализа с использованием общеинженерных знаний, стандартных методов математического анализа и моделирования, базовых прикладных программных средств при проектировании, отработке и доводке авиационных и ракетных двигателей.

### Требования к компонентному составу компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
<b>Знает:</b> – основные методы численного решения задач строительной механики; – основные методы численного решения задач газовой динамики; – основные возможности прикладных программ для численного решения задач газовой динамики и строительной механики.	Лекции с использованием мультимедиа-технологий. Самостоятельная работа студентов по изучению теоретического материала.	Вопросы контрольных работ текущего и рубежного контроля. Вопросы к зачету.
<b>Умеет:</b> – применять современные компьютерные программы для решения задач строительной механики; – применять современные компьютерные	Лабораторные работы. Индивидуальное задание.	Типовые задания к индивидуальным заданиям. Отчеты по выполнению



программы для решения задач газовой динамики.		лабораторных работ. Комплексные задания к зачету.
<b>Владеет:</b> – методами построения геометрических и сеточных моделей применяемых для расчета задач строительной механики и газовой динамики; – навыками использования пакета ANSYS для проведения прочностного статического и динамического анализа элементов конструкций авиационных и ракетных двигателей; – навыками использования пакета ANSYS CFX для проведения газодинамического анализа элементов конструкций авиационных и ракетных двигателей.	Лабораторные работы. Индивидуальное задание.	Типовые задания к индивидуальным заданиям. Отчеты по выполнению лабораторных работ. Комплексные задания к зачету.

## 2.2 Дисциплинарная карта компетенции АПК.ПК-1

Код	Формулировка компетенции
<b>АПК.ПК-1</b>	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
<b>АПК.ПК-1. Б1.В.07</b>	Способность принимать участие в работах по расчету прочностных и газодинамических характеристик деталей и узлов авиационных и ракетных двигателей с использованием средств автоматизации проектирования.

## Требования к компонентному составу компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
<b>Знает:</b> – типы расчетных задач возникающих при проектировании, отработке и доводке авиационных и ракетных двигателей; – численные методы расчета задач строительной механики и газовой динамики применительно к авиационным и ракетным двигателям.	Лекции с использованием мультимедиа-технологий. Самостоятельная работа студентов по изучению теоретического материала.	Вопросы контрольных работ текущего и рубежного контроля. Вопросы к зачету.

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
<p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– проводить постановку задач для численного исследования процессов возникающих при проектировании, отработке и доводке авиационных и ракетных двигателей;</li> <li>– проводить анализ результатов полученных при численном моделировании;</li> <li>– на основе полученных результатов численного моделирования давать рекомендации на создание новых типов конструкции авиационных и ракетных двигателей.</li> </ul>	<p>Лабораторные работы. Индивидуальное задание.</p>	<p>Типовые задания к индивидуальным заданиям. Отчеты по выполнению лабораторных работ. Комплексные задания к зачету.</p>
<p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками построения геометрических и сеточных моделей деталей и узлов авиационных и ракетных двигателей в ANSYS Workbench;</li> <li>– численными и экспериментальными методами исследования деталей и узлов авиационных и ракетных двигателей;</li> <li>– навыками обработки результатов численного моделирования и их сравнения с другими методами исследования конструкции авиационных и ракетных двигателей.</li> </ul>	<p>Лабораторные работы. Индивидуальное задание.</p>	<p>Типовые задания к индивидуальным заданиям. Отчеты по выполнению лабораторных работ. Комплексные задания к зачету.</p>



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

Объем дисциплины в зачетных единицах составляет 3 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

<b>№ п.п.</b>	<b>Виды учебной работы</b>	<b>Трудоемкость, час.</b>
1	<b>Аудиторная (контактная) работа</b>	<b>54</b>
	– лекции (Л)	18
	– лабораторные работы (ЛР)	32
	<b>Контроль самостоятельной работы (КСР)</b>	<b>4</b>
2	<b>Самостоятельная работа</b>	<b>54</b>
	– изучение теоретического материала	18
	– подготовка отчетов по лабораторным работам	18
	– индивидуальные задания	18
3	<b>Итоговый контроль (промежуточная аттестация обучающихся) по дисциплине</b>	<b>Зачет</b>
4	<b>Трудоёмкость дисциплины, всего:</b>	
	<b>в часах (ч)</b>	<b>108</b>
	<b>в зачётных единицах (ЗЕ)</b>	<b>3</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)							Итоговый контроль	Самостоятельная работа	Трудоёмкость, ч/ЗЕТ
			Аудиторная работа					КСП				
			Всего	Л	ПЗ	ЛР						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
		Введение	1	1							<b>1/0,03</b>	
1	1	1	6	2		4				8	14	
		2	8	2		6				8	16	
		3	6	2		4				8	14	
	Всего по модулю:		<b>22</b>	<b>6</b>		<b>14</b>	<b>2</b>			<b>24</b>	<b>46/1,27</b>	
2	2	4	6	2		4				6	12	
		5	6	2		4				8	14	
		6	8	4		4				8	16	
	7	8	2		6				8	16		
Всего по модулю:		<b>30</b>	<b>10</b>		<b>18</b>	<b>2</b>			<b>30</b>	<b>60/1,67</b>		
		Заключение	1	1							<b>1/0,03</b>	
<b>Промежуточная аттестация</b>								<b>зачет</b>				
<b>Всего:</b>			<b>54</b>	<b>18</b>	<b>–</b>	<b>32</b>	<b>4</b>	<b>–</b>	<b>54</b>	<b>108/3</b>		

### 4.2. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

**Введение.** Л – 1 час.

Основные понятия, термины и определения. Предмет и задачи дисциплины. Место дисциплины в системе подготовки специалиста. Состав дисциплины. Формы промежуточного и заключительного контроля. Рекомендуемая основная и дополнительная литература.

Общие сведения о численном моделировании при проектировании авиационных и ракетных двигателей.

**Модуль 1. Использование пакета конечно-элементного анализа ANSYS для решения основных задач строительной механики.**

**Раздел 1. Использование пакета конечно-элементного анализа ANSYS для решения основных задач строительной механики.**

Л – 6; ЛР – 14; КСР – 2; СРС – 24.

**Тема 1. Основы метода конечных элементов в ANSYS**

Назначение комплектация и основные возможности пакета. Основные этапы решения задачи в ANSYS. Место конечно-элементного анализа при проектировании. Основные понятия метода конечных элементов. Интерполяция искомой функции с



помощью функции формы. Основные уравнения МКЭ. Граничные и начальные условия. Решение уравнений МКЭ. Анализ результатов решения. Реализация МКЭ в пакете ANSYS.

## **Тема 2. Основы работы в ANSYS Workbench**

Графический интерфейс Workbench. Работа с проектом в Workbench. Подготовка геометрических моделей. Создание плоских и объемных моделей. Управление материалами и их свойствами. Генерация конечно-элементной сетки. Основные формы и типы конечных элементов. Порядок разбиения сетки и настройки сеточного генератора. Рекомендации построения сеток для различных задач строительной механики. Виды нагрузок и граничных условий. Настройка решателя.

## **Тема 3. Решение задач строительной механики в ANSYS Workbench**

Расчет прочности стержней и балок. Решение прочностных задач в двумерной постановке. Расчет пластин и оболочек. Динамический анализ (гармонический анализ, модальный анализ, анализ переходных процессов). Температурный анализ. Проведение расчетов на устойчивость. Связанные задачи.

## **Модуль 2. Использование ANSYS CFX для решения задач вычислительной газовой динамики**

### **Раздел 2. Использование ANSYS CFX для решения задач вычислительной газовой динамики**

Л – 10; ЛР – 18; КСР – 2; СРС – 30.

## **Тема 4. Основы решения задач вычислительной газовой динамики в ANSYS CFX**

Назначение комплектация и основные возможности пакета. Типы задач вычислительной газовой динамики. Основные этапы решения задачи в ANSYS CFX. Препроцессор, решатель и постпроцессор. Определение целей задач и области моделирования. Сравнение результатов численного моделирования с экспериментальными результатами.

## **Тема 5. Решение основных уравнений вычислительной газовой динамики в ANSYS CFX**

Основные уравнения применяемые для расчета течения жидкости и газов. Уравнения Навье-Стокса, неразрывности, энергии и основные методы их численного решения. Особенности метода конечных объемов в ANSYS CFX. Турбулентные и ламинарные течения. Математические модели, применяемые для расчета турбулентных течений жидкости и газов. Модели турбулентности применение и рекомендации. Осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса и RANS модели турбулентности. Вихреразрешающее моделирование.

## **Тема 6. Основы работы в ANSYS CFX**

Обзор интерфейса ANSYS CFX. Поддерживаемые форматы сеток. Определение свойств материалов. Домены жидкости, пористых материалов и твердых тел. Многокомпонентные и многофазные потоки. Моделирование потоков с учетом сжимаемости. Граничные условия и начальные условия. Рекомендации использования граничных условий. Настройки решателя. Критерии сходимости

решения уравнений. Невязки, дисбалансы и контрольные точки. Запуск расчета. Типы распараллеливания. Обработка результатов решения.

### **Тема 7. Особенности решения задач вычислительной газовой динамики в ANSYS CFX**

Стационарный и нестационарный типы анализа. Обтекание и внешнее течение. Расчеты в пограничном слое и свободном течении. Задачи с теплопереносом. Задачи с подвижными стенками. Ротор-статор взаимодействие. Течение со свободной поверхностью. Связанные задачи.

**Заключение.** Л – 1 час.

Современные тенденции применения численного моделирования при проектировании, отработке и доводке авиационных и ракетных двигателей.

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

Не предусмотрены.

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

Таблица 4.2 – Темы лабораторных работ

<b>№ п.п.</b>	<b>Номер темы дисциплины</b>	<b>Наименование темы лабораторной работы</b>
1	1	Определение напряженно-деформированного состояния пластины с отверстием в ANSYS Workbench – 4 час.
2	2	Расчет напряженно-деформированного состояния простых деталей на растяжение, кручение и изгиб - 6 час.
3	3	Расчет ферменных конструкций с использованием ANSYS Workbench – 4 час.
4	4, 5, 6	Определение подъемной силы при обтекание профиля крыла в ANSYS CFX и сравнение результатов с экспериментальными данными – 6 час.
5	4, 5, 6	Смещение горячего и холодного потоков воды в Т-образном смесителе – 6 час.
6	7	Связанный термопрочностной расчет смесителя с разно-температурными потоками – 6 час

### **5. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины**

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.



3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.

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

5. 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.

### 5.1 Виды самостоятельной работы студентов

Таблица 5.1 – Виды самостоятельной работы студентов (СРС)

Номер темы дисциплины	Вид самостоятельной работы студентов	Трудоемкость, час.
1	Изучение теоретического материала	4
	Подготовка отчетов по лабораторным работам	2
	Выполнение индивидуального задания	2
2	Изучение теоретического материала	2
	Подготовка отчетов по лабораторным работам	4
	Выполнение индивидуального задания	2
3	Изучение теоретического материала	2
	Подготовка отчетов по лабораторным работам	2
	Выполнение индивидуального задания	4
4	Изучение теоретического материала	2
	Подготовка отчетов по лабораторным работам	2
	Выполнение индивидуального задания	2
5	Изучение теоретического материала	4
	Подготовка отчетов по лабораторным работам	2
	Выполнение индивидуального задания	2
6	Изучение теоретического материала	2
	Подготовка отчетов по лабораторным работам	4
	Выполнение индивидуального задания	2
7	Изучение теоретического материала	2
	Подготовка отчетов по лабораторным работам	2
	Выполнение индивидуального задания	4
	<b>Итого час./ ЗЕ</b>	<b>54/1,5</b>

#### 5.1.1 Изучение теоретического материала

Тематика вопросов, изучаемых самостоятельно:

Тема 1. Основы прикладной теории упругости.

Тема 2. Моделирование контактных взаимодействий и кинематических связей.

Тема 3. Приближенные методы решения задач строительной механики.



Тема 4. Метод крупных частиц. Метод конечных разностей.

Тема 5. Работа с интерфейсами и источниками.

Тема 6. CEL язык выражений CFX.

Тема 7. Решатель подвижного твердого тела.

### **5.1.2 Курсовой проект (курсовая работа)**

Не предусмотрены.

### **5.1.3 Реферат**

Не предусмотрен.

### **5.1.4 Расчетно-графические работы**

Не предусмотрены.

### **5.1.5 Индивидуальные задания**

Типовые темы индивидуальных заданий

**Модуль 1.** Определение напряженно-деформированного состояния болтового соединения (8 ч).

**Модуль 2.** Расчет течения несжимаемой жидкости в изогнутой трубе с неравномерным профилем скорости на входной границе (10 ч).

## **5.2 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.

**Лабораторные работы.** Основной технологией, используемой при изучении данной дисциплины, является пошаговое самостоятельное (под наблюдением преподавателя) выполнение последовательности четко сформулированных индивидуальных заданий, которые позволяют студенту ответить на поставленные физические вопросы. Сами математические модели изучаемых явлений либо предполагаются известными, либо кратко описываются в методическом пособии. Основное внимание при работе со студентами уделяется получению с помощью компьютерного моделирования физических выводов о свойствах изучаемых явлений.

**Самостоятельная работа** – изучение студентами теоретического материала, подготовка к лабораторным работам, написание отчетов, работа в электронной образовательной среде и др. для приобретения новых теоретических и фактических знаний, теоретических и практических умений.

**Консультация** – индивидуальное общение преподавателя со студентом, руководство его деятельностью с целью передачи опыта, углубления теоретических и фактических знаний, приобретенных студентом на лекциях, в результате самостоятельной работы.

**Информационные технологии** – обучение в электронной образовательной среде с целью расширения доступа к образовательным ресурсам, увеличения контактного взаимодействия с преподавателем, построения индивидуальных траекторий подготовки и объективного контроля и мониторинга знаний студентов.

## **6 Фонд оценочных средств дисциплины**

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

Текущий контроль освоения дисциплинарных частей компетенций проводится в следующих формах:

- опрос для анализа усвоения материала предыдущей лекции.

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

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

- контрольные работы (модуль 1, 2).

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

#### **1) Зачёт**

Зачет проводится устно по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса (ТВ) для проверки усвоенных знаний и комплексное задание (КЗ) для проверки усвоенных умений и контроля уровня приобретенных владений всех заявленных дисциплинарных компетенций.

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

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

#### **2) Экзамен**

Не предусмотрен



## 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				
	ТК	КР	ЛР	ИЗ	Зачет
<b>Усвоенные знания</b>					
<b>3.1</b> знать основные методы численного решения задач строительной механики	+	+		+	ТВ
<b>3.2</b> знать основные методы численного решения задач газовой динамики	+	+		+	ТВ
<b>3.3.</b> знать основные возможности прикладных программ для численного решения задач газовой динамики и строительной механики	+	+		+	ТВ
<b>3.4.</b> знать типы расчетных задач возникающих при проектировании, отработке и доводке авиационных и ракетных двигателей	+	+		+	ТВ
<b>3.5.</b> знать численные методы расчета задач строительной механики и газовой динамики применительно к авиационным и ракетным двигателям	+	+		+	ТВ
<b>Освоенные умения</b>					
<b>У.1</b> уметь применять современные компьютерные программы для решения задач строительной механики			+	+	КЗ
<b>У.2</b> уметь применять современные компьютерные программы для решения задач газовой динамики			+	+	КЗ
<b>У.3.</b> уметь проводить постановку задач для численного исследования процессов, возникающих при проектировании, отработке и доводке авиационных и ракетных двигателей			+	+	КЗ
<b>У.4.</b> уметь проводить анализ результатов полученных при численном моделировании			+	+	КЗ
<b>У.5.</b> уметь на основе полученных результатов давать рекомендации на создание новых типов конструкции авиационных и ракетных двигателей			+	+	КЗ
<b>Приобретенные владения</b>					
<b>В.1</b> владеть методами построения геометрических и сеточных моделей применяемых для расчета задач строительной механики и газовой динамики			+	+	КЗ



Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВЫ)	Вид контроля				
	ТК	КР	ЛР	ИЗ	Зачет
<b>В.1</b> владеть навыками использования пакета ANSYS для проведения прочностного статического анализа элементов конструкций авиационных и ракетных двигателей			+	+	КЗ
<b>В.2</b> владеть навыками использования пакета ANSYS CFX для проведения газодинамического анализа элементов конструкций авиационных и ракетных двигателей			+	+	КЗ
<b>В.3.</b> владеть навыками построения геометрических и сеточных моделей деталей и узлов авиационных и ракетных двигателей в ANSYS Workbench			+	+	КЗ
<b>В.4.</b> владеть численными и экспериментальными методами исследования деталей и узлов авиационных и ракетных двигателей			+	+	КЗ
<b>В.5.</b> владеть навыками обработки результатов численного моделирования и их сравнения с другими методами исследования конструкции авиационных и ракетных двигателей			+	+	КЗ

Примечание:

ТК – текущий контроль знаний по теме (опрос);

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

ИЗ – индивидуальное задание (оценка умений и владений);

ЛР – выполнение лабораторных работ с подготовкой отчёта (оценка умений);

ТВ – теоретический вопрос; КЗ – комплексное задание экзамена.

## 7 График учебного процесса по дисциплине

Таблица 7.1 – График учебного процесса по дисциплине

Вид работы	Распределение часов по учебным неделям																	Итого, ч	
	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		41
<b>Раздел:</b>	<b>Р1</b>								<b>Р3</b>										
Лекции	2		2		2		2		2		2		2		2		2		<b>18</b>
Лаборат. работы	2	2	2	2	2	2	2		2	2	2	2	2	2	2	2	2		<b>32</b>
КСР								2										2	<b>4</b>
Изучение теор. мат.	2	2		2		2		2		2		2		2		2			<b>18</b>
Подготовка отчетов по лабор. работам		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	<b>18</b>
Индив. задание		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	<b>18</b>
<b>Модуль:</b>	<b>М1</b>								<b>М2</b>										
Контрольные работы								+										+	
Дисциплин. контроль																			<b>Зачет</b>

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

### 8.1. Карта обеспеченности дисциплины учебно-методической литературой

**Б1.В.07**  
**Автоматизация проектирования ракетных двигателей**

(индекс и полное название дисциплины)

**Блок 1. Дисциплины (модули)**

(блок дисциплины)

	базовая часть блока	x	обязательная
x	вариативная часть блока		по выбору студента

**24.05.02**

(код направления/  
специальности)

**«Проектирование авиационных и ракетных двигателей»,  
специализация «Проектирование ракетных двигателей твердого топлива»**

(полное название направления подготовки / специальности)

**АРД / РД**

(аббревиатура направления/  
специальности)

Уровень подготовки	x	специалист
		бакалавр
		магистр

Форма обучения	x	очная
		заочная
		очно-заочная

2017

год утверждения  
учебного плана ОПОП

Семестр(ы)

10

Количество групп

1

Количество студентов

25

**Павлоградский Виктор Васильевич**

(фамилия, инициалы преподавателя)

**доцент**

(должность)

**Храмцов Игорь Валерьевич**

(фамилия, инициалы преподавателя)

**ассистент**

(должность)

**Аэрокосмический**

(факультет)

**РКТЭС**

(кафедра)

**2-39-12-33**

(контактная информация)

Карта книго-  
обеспеченности  
в библиотеку сдана



**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	Шингель Л.П. Системы автоматизированного проектирования. Решение задач прочностного анализа с использованием пакета программ ANSYS 12.1: учебно-методическое пособие / Л.П. Шингель; Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2015. – 52 с.	25 + ЭБ ПНИПУ
<b>2 Дополнительная литература</b>		
<b>2.1 Учебные и научные издания</b>		
1	Котов А.Г. САПР изделий из композиционных материалов. Моделирование процессов деформирования и разрушения в среде ANSYS: учебное пособие / А.Г. Котов; Пермский государственный технический университет. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. – 350 с.	139 + ЭБ ПНИПУ
2	Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах: [совместная работа в системах CAD и ANSYS] / К.А. Басов ; Под ред. Д.Г. Красковского. – Москва: КомпьютерПресс, 2002. – 223 с.	2
<b>2.2 Периодические издания</b>		
	Не предусмотрены	
<b>2.3 Нормативно-технические издания</b>		
	Не предусмотрены	
<b>2.4 Официальные издания</b>		
	Не предусмотрены	
<b>2.5 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины</b>		
1	Электронная библиотека 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	Электронно-библиотечная система Издательство «Лань» [Электронный ресурс]: [полнотекстовая база данных: электрон. версии кн., журн. по гуманит., обществ., естеств. и техн. наукам] / Электрон.-библ. система «Изд-ва «Лань». – Санкт-Петербург, 2010-2016. – Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com">http://e.lanbook.com</a> , по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.	



**Основные данные об обеспеченности на**

06.06.2017

(дата одобрения рабочей программы на заседании кафедры)

основная литература  обеспечена  не обеспеченадополнительная литература  обеспечена  не обеспечена

Зав. отделом комплектования научной библиотеки \_\_\_\_\_ Н.В. Тюрикова

**Данные об обеспеченности на**

(дата составления рабочей программы)

основная литература  обеспечена  не обеспеченадополнительная литература  обеспечена  не обеспечена

Зав. отделом комплектования научной библиотеки \_\_\_\_\_ Н.В. Тюрикова

**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**

№ п/п	Вид учебного занятия	Наименование программного продукта	Рег. номер	Назначение
1	2	3	4	5
1	Лабораторные работы	ANSYS	лиц. дог. 444632	Численное решение задач строительной механики и газовой динамики

**8.4 Аудио- и видео-пособия**

Вид аудио-видео пособия				Наименование учебного пособия
теле-фильм	кино-фильм	слайды	аудио-пособие	
1	2	3	4	5
		+		Электронные лекции-презентации по дисциплине «Автоматизация проектирования ракетных двигателей»

Карта книго-обеспеченности в библиотеку сдана

## 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 аудитория	РКТЭС	304 к.Д АКФ	72	42
2	Компьютерный класс	РКТЭС	314 к.Д АКФ	72	12

### 9.2. Основное учебное оборудование

Таблица 9.2 – Учебное оборудование

№ п/п.	Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката)	Кол-во, ед.	Форма владения, пользования (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.)	Номер аудитории
1	2	3	4	5
1	Проектор	1	Оперативное управление	304 к.Д АКФ
2	Компьютеры	12	Оперативное управление	314 к.Д АКФ

### Лист регистрации изменений

№ п/п	Содержание изменения	Дата, номер протокола заседания кафедры. Подпись заведующего кафедрой
1	2	3
1		
2		
3		
4		
5		
6		