

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 13.04.03 Энергетическое машиностроение

Наименование образовательной программы: Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТОВ ТУРБОМАШИН**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.08</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>2 семестр - 4;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>144 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>2 семестр - 16 часов;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>2 семестр - 32 часа;</b>
<b>Консультации</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>2 семестр - 95,7 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Лабораторная работа</b> <b>Тестирование</b> <b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>2 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2020**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

**Преподаватель**

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Тищенко В.А.
	Идентификатор	R4ea77783-TishchenkoVA-c16aae6

(подпись)

**В.А. Тищенко**

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель образовательной программы**

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Митрохова О.М.
	Идентификатор	R1d0f453c-FichoriakOM-ee811867

(подпись)

**О.М.**

**Митрохова**

(расшифровка подписи)

**Заведующий выпускающей кафедры**

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Грибин В.Г.
	Идентификатор	R44612ca0-GribinVG-8231e2ff

(подпись)

**В.Г. Грибин**

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение современных пакетов моделирования для газодинамического и прочностного расчетов элементов турбомашин

### Задачи дисциплины

- изучение методов вычислительной газодинамики для инженерных расчетов течений в элементах проточных частей турбомашин;
- изучение методов построения расчетных сеток объектов со сложными криволинейными границами для проведения численного моделирования;
- приобретение навыков применения численных методов для инженерных расчетов на прочность элементов турбомашин.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен к научно-исследовательской деятельности в сфере энергетического машиностроения	ИД-1ПК-1 Выполняет теоретические и экспериментальные исследования процессов, происходящих в объектах профессиональной деятельности	знать: - основные этапы настройки, проведения численного газодинамического расчета и анализа его результатов; - назначение и область применимости основных схем расчета задач вычислительной газодинамики.  уметь: - проводить стационарные и нестационарные газодинамические расчеты однофазных вязких течений в двумерной и трехмерной постановке; - корректно использовать модели турбулентности при проведении расчетов; - настраивать и проводить газодинамический расчет в решетках и ступенях турбомашин с учетом специфики подобных задач; - проводить обработку результатов численного газодинамического расчета и представлять их в графическом виде.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.03 Энергетическое машиностроение, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне среднего общего образования.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.



### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Численное моделирование физических процессов в инженерных задачах	9	2	2	-	-	-	-	-	-	-	7	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 46-56 [6], 272 с.</p>	
1.1	Численное моделирование физических процессов в инженерных задачах	9		2	-	-	-	-	-	-	-	7	-		
2	Вычислительная гидрогазодинамика. Основные понятия и определения.	31		4	6	-	-	-	-	-	-	-	21	-	<p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Подготовка к выполнению и написание отчета лабораторной работы № 1 <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 113-126 [5], 640 с.</p>
2.1	Вычислительная гидрогазодинамика. Основные понятия и определения.	31		4	6	-	-	-	-	-	-	-	21	-	
3	Моделирование вязких жидкостей. Модели турбулентности	26		2	6	-	-	-	-	-	-	-	18	-	<p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Подготовка к выполнению и написание отчета лабораторной работы № 2 <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p>
3.1	Моделирование вязких жидкостей. Модели турбулентности	26		2	6	-	-	-	-	-	-	-	18	-	

													[1], стр. 287-300
4	Пост – обработка результатов расчета	21	2	4	-	-	-	-	-	-	15	-	<b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Подготовка к выполнению и написание отчета лабораторных работ № 3
4.1	Пост – обработка результатов расчета	21	2	4	-	-	-	-	-	-	15	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 303-325 [4], 248 с. [5], 640 с.
5	Численное моделирование нестационарных газодинамических явлений в ступени осевой турбины	29	4	8	-	-	-	-	-	-	17	-	<b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Подготовка к выполнению и написание отчета лабораторной работы № 4
5.1	Численное моделирование нестационарных газодинамических явлений в ступени осевой турбины	29	4	8	-	-	-	-	-	-	17	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], стр. 249-276
6	Численное моделирование трехмерного течения в сопловой решетке турбины	27.7	2	8	-	-	-	-	-	-	17.7	-	<b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Подготовка к выполнению и написание отчета лабораторной работы № 5
6.1	Численное моделирование трехмерного течения в сопловой решетке турбины	27.7	2	8	-	-	-	-	-	-	17.7	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 246-255 [3], стр. 114-128
	Зачет с оценкой	0.3	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>95.7</b>	<b>-</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>95.7</b>	<b>-</b>	

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### **3.2 Краткое содержание разделов**

#### 1. Численное моделирование физических процессов в инженерных задачах

##### 1.1. Численное моделирование физических процессов в инженерных задачах

Особенности инженерного анализа с помощью пакетов численного моделирования. CAE – среды, основные виды расчетов. Базовые понятия и определения. Обзор подходов численного решения систем уравнений.

#### 2. Вычислительная гидрогазодинамика. Основные понятия и определения.

##### 2.1. Вычислительная гидрогазодинамика. Основные понятия и определения.

Этапы проведения инженерного расчета газодинамических задач: настройка решателя, расчет, пост-обработка. Расчетный домен. Численные модели и методы расчета. Устойчивость, сходимость, погрешность расчета. Методы верификации результатов. Особенности расчета нестационарных течений.

#### 3. Моделирование вязких жидкостей. Модели турбулентности

##### 3.1. Моделирование вязких жидкостей. Модели турбулентности

Уравнения Навье-Стокса, осредненные по Рейнольдсу. Гипотеза Бусинеска, рейнольдсовы напряжения. Методы замыкания систем уравнения газодинамики. Модели турбулентности. Пристеночные функции. Пограничный слой, вязкий ламинарный подслой. Особенности настройки газодинамических расчетов для моделирования вязких течений.

#### 4. Пост – обработка результатов расчета

##### 4.1. Пост – обработка результатов расчета

Обработка результатов численного моделирования, программа CFD-Post, создание вспомогательных геометрических фигур (линии, полилинии, поверхности, изоповерхности). Визуализация векторных полей, линий тока, распределений, построение графиков. Использование собственных выражений при пост-обработке.

#### 5. Численное моделирование нестационарных газодинамических явлений в ступени осевой турбины

##### 5.1. Численное моделирование нестационарных газодинамических явлений в ступени осевой турбины

Методы расчета ступени осевой турбины с подвижными и неподвижными элементами. Моделирование нестационарных явлений при взаимодействии решеток турбин. Периодические границы. Метод Sliding Mesh. Расчет в подвижной и неподвижной системах координат.

#### 6. Численное моделирование трехмерного течения в сопловой решетке турбины

##### 6.1. Численное моделирование трехмерного течения в сопловой решетке турбины

Особенности проведения расчетов сложных закрученных трехмерных потоков в каналах с криволинейной геометрией. Продвинутое методы пост-обработки результатов. Определение потерь в решетке, анализ проявления концевых эффектов.

### **3.3. Темы практических занятий**

не предусмотрено

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Моделирование смешивания теплоносителей в тройнике (6 часов);
2. Моделирование отрывных течений в диффузоре (6 часов);
3. Обработка и анализ результатов численного моделирования в программе CFD Post (4 часа);
4. Моделирование течения в турбинной ступени (8 часов);
5. Моделирование течения в сопловой решетке осевой турбины (8 часов).

### **3.5 Консультации**

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)						Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	5	6	
<b>Знать:</b>								
назначение и область применимости основных схем расчета задач вычислительной газодинамики	ИД-1ПК-1	+						Лабораторная работа/Лабораторная работа 1. Моделирование смешивания теплоносителей в тройнике  Лабораторная работа/Лабораторная работа 2. Моделирование отрывных течений в диффузоре
основные этапы настройки, проведения численного газодинамического расчета и анализа его результатов	ИД-1ПК-1		+					Тестирование/Тест «Методы численного моделирования в инженерных задачах»
<b>Уметь:</b>								
проводить обработку результатов численного газодинамического расчета и представлять их в графическом виде	ИД-1ПК-1				+			Лабораторная работа/Лабораторная работа 3. Обработка и анализ результатов численного моделирования в программе CFD Post
настраивать и проводить газодинамический расчет в решетках и ступенях турбомашин с учетом специфики подобных задач	ИД-1ПК-1						+	Лабораторная работа/Лабораторная работа 4. Моделирование течения в турбинной ступени  Лабораторная работа/Лабораторная работа 5. Моделирование течения в сопловой решетке осевой турбины
корректно использовать модели турбулентности при проведении расчетов	ИД-1ПК-1			+				Лабораторная работа/Лабораторная работа 2. Моделирование отрывных течений в диффузоре
проводить стационарные и нестационарные газодинамические расчеты однофазных вязких течений в двумерной и трехмерной постановке	ИД-1ПК-1					+		Контрольная работа/Контрольная работа. Расчет течения в двумерной постановке  Лабораторная работа/Лабораторная работа 1. Моделирование смешивания теплоносителей в

									тройнике Лабораторная работа/Лабораторная работа 4. Моделирование течения в турбинной ступени
--	--	--	--	--	--	--	--	--	---

#### **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

##### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

###### **2 семестр**

Форма реализации: Защита задания

1. Лабораторная работа 1. Моделирование смешивания теплоносителей в тройнике (Лабораторная работа)
2. Лабораторная работа 2. Моделирование отрывных течений в диффузоре (Лабораторная работа)
3. Лабораторная работа 3. Обработка и анализ результатов численного моделирования в программе CFD Post (Лабораторная работа)
4. Лабораторная работа 4. Моделирование течения в турбинной ступени (Лабораторная работа)
5. Лабораторная работа 5. Моделирование течения в сопловой решетке осевой турбины (Лабораторная работа)

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Контрольная работа. Расчет течения в двумерной постановке (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Тест «Методы численного моделирования в инженерных задачах» (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

##### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Зачет с оценкой (Семестр №2)*

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

#### **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Амосов А. А., Дубинский Ю. А., Копченова Н. В. - "Вычислительные методы", (4-е изд., стер.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2021 - (672 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/168619>;
2. Зарянкин А.Е. - "Механика несжимаемых и сжимаемых жидкостей", Издательство: "МЭИ", Москва, 2019  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383013175.html>;
3. Костюк А.Г. - "Динамика и прочность турбомашин", Издательство: "МЭИ", Москва, 2020  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383014271.html>;
4. Басов К. А. - "Графический интерфейс комплекса ANSYS", Издательство: "ДМК Пресс", Москва, 2008 - (248 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=1290](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=1290);

5. Басов К. А.- "ANSYS: справочник пользователя", Издательство: "ДМК Пресс", Москва, 2008 - (640 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=1335;](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=1335)
6. Каплун, А. Б. ANSYS в руках инженера. Практическое руководство / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева . – 3-е изд . – М. : Эдиториал УРСС, 2009 . – 272 с. - ISBN 978-5-397-00564-7 ..

### 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Ansys / CAE Fidesy;
5. Майнд Видеоконференции.

### 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
11. Журналы American Chemical Society - <https://www.acs.org/content/acs/en.html>
12. Журналы American Institute of Physics - <https://www.scitation.org/>
13. Журналы American Physical Society - <https://journals.aps.org/about>
14. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
15. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
16. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
17. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	П-26, Учебная аудитория	
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	П-31, Компьютерный класс	стол преподавателя, стол учебный, стул, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, компьютер персональный, кондиционер

Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	П-20, Учебная аудитория	
Помещения для самостоятельной работы	П-28, Комната для самостоятельных занятий студентов	
Помещения для консультирования	П-03/1, Кабинет сотрудников	
	П-27, Переговорная	
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	П-42, Кафедральная библиотека	
	П-05/1, Помещение для учебного инвентаря	
	П-03/3, Подсобное помещение	

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Программное обеспечение расчетов турбомашин

(название дисциплины)

#### 2 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Лабораторная работа 1. Моделирование смешивания теплоносителей в тройнике (Лабораторная работа)
- КМ-2 Тест «Методы численного моделирования в инженерных задачах» (Тестирование)
- КМ-3 Лабораторная работа 2. Моделирование отрывных течений в диффузоре (Лабораторная работа)
- КМ-4 Лабораторная работа 3. Обработка и анализ результатов численного моделирования в программе CFD Post (Лабораторная работа)
- КМ-5 Лабораторная работа 4. Моделирование течения в турбинной ступени (Лабораторная работа)
- КМ-6 Контрольная работа. Расчет течения в двумерной постановке (Контрольная работа)
- КМ-7 Лабораторная работа 5. Моделирование течения в сопловой решетке осевой турбины (Лабораторная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
		Неделя КМ:	3	4	6	8	12	14	16
1	Численное моделирование физических процессов в инженерных задачах								
1.1	Численное моделирование физических процессов в инженерных задачах		+		+				
2	Вычислительная гидрогазодинамика. Основные понятия и определения.								
2.1	Вычислительная гидрогазодинамика. Основные понятия и определения.			+					
3	Моделирование вязких жидкостей. Модели турбулентности								
3.1	Моделирование вязких жидкостей. Модели турбулентности				+				
4	Пост – обработка результатов расчета								
4.1	Пост – обработка результатов расчета					+			
5	Численное моделирование нестационарных газодинамических явлений в ступени осевой турбины								
5.1	Численное моделирование нестационарных газодинамических		+				+	+	

	явлений в ступени осевой турбины							
6	Численное моделирование трехмерного течения в сопловой решетке турбины							
6.1	Численное моделирование трехмерного течения в сопловой решетке турбины					+		+
Вес КМ, %:		15	5	10	10	20	20	20