

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

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

Москва 2022

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)

В.А. Тищенко

(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

О.М.

Митрохова

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

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	
Знать:								
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»
Уметь:								
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;

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
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