

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
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕМЕНТАХ
ТУРБОМАШИН

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.12.01.01
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 3;
Часов (всего) по учебному плану:	108 часов
Лекции	3 семестр - 16 часов;
Практические занятия	не предусмотрено учебным планом
Лабораторные работы	3 семестр - 32 часа;
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	3 семестр - 59,7 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Тестирование Лабораторная работа	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	3 семестр - 0,3 часа;

Москва 2023

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 цепочки основных этапов проектирования элементов конструкции турбомашин с применением современных CAD/CAE методов

Задачи дисциплины

- использовать САПР при параметрическом проектировании элементов конструкции турбомашин «сверху вниз»;
- изучить процесс подготовки твердотельной модели для численного моделирования различных явлений;
- специфические особенности настройки и проведения газодинамического расчета в элементах проточных частей 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 инструменты и приемы 3D проектирования, применяемые для разработки конструкции элементов турбомашин; - основные модели описания взаимодействия подвижных и неподвижных элементов в проточных частях турбомашин при численных газодинамических расчетах. уметь: - параметризовать и автоматизировать процесс газодинамического расчета; - подготавливать сложную геометрию реального объекта к проведению многодисциплинарных расчетов с применением численных методов; - проектировать элементы энергетического оборудования по принципу "сверху вниз" с учетом командной работы над проектом; - настраивать и проводить газодинамический расчет.

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 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ 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	Современные подходы организации цикла жизнедеятельности изделия	8.7	3	2	-	-	-	-	-	-	-	6.7	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [5], 14-34 [7], 25-52</p>	
1.1	Современные подходы организации цикла жизнедеятельности изделия	8.7		2	-	-	-	-	-	-	-	6.7	-		
2	Трехмерные системы автоматизированного проектирования (3D CAD)	36		4	12	-	-	-	-	-	-	20	-		<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Подготовка к лабораторной работе 1 Подготовка к лабораторной работе 2 <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], стр. 56-87</p>
2.1	Трехмерные системы автоматизированного проектирования (3D CAD)	36		4	12	-	-	-	-	-	-	20	-		
3	Подготовка твердотельных моделей для проведения численного моделирования физических процессов	15		2	4	-	-	-	-	-	-	9	-		<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Подготовка к лабораторной работе 3 <u>Изучение материалов литературных источников:</u></p>
3.1	Подготовка	15	2	4	-	-	-	-	-	-	9	-			

	твердотельных моделей для проведения численного моделирования физических процессов												[5], 156-178
4	Модели описания взаимодействия «ротор-статор» для расчета многоступенчатых турбин	38	6	12	-	-	-	-	-	-	20	-	<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Подготовка к лабораторной работе 4 Подготовка к лабораторной работе 5 <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 185-210 [2], стр. 147-163 [6], 311-322
4.1	Модели описания взаимодействия «ротор-статор» для расчета многоступенчатых турбин	38	6	12	-	-	-	-	-	-	20	-	<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Подготовка к лабораторной работе 6 <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 233-258 [3], стр. 230-255 [4], 113-152
5	Сопряженный расчет. Моделирование охлаждаемых элементов проточной части газовой турбины	10	2	4	-	-	-	-	-	-	4	-	<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Подготовка к лабораторной работе 6 <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 233-258 [3], стр. 230-255 [4], 113-152
5.1	Сопряженный расчет. Моделирование охлаждаемых элементов проточной части газовой турбины	10	2	4	-	-	-	-	-	-	4	-	<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Подготовка к лабораторной работе 6 <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 233-258 [3], стр. 230-255 [4], 113-152
	Зачет с оценкой	0.3	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	Всего за семестр	108.0	16	32	-	-	-	-	-	0.3	59.7	-	
	Итого за семестр	108.0	16	32	-	-	-	-	-	0.3	59.7	-	

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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. Современные подходы организации цикла жизнедеятельности изделия

1.1. Современные подходы организации цикла жизнедеятельности изделия

Системы управления жизненным циклом изделия (PLM). Системы автоматизированного твердотельного моделирования (CAD), системы инженерного анализа (CAE), системы управления производством изделия (CAM). Использование CAD/CAE/CAM в конвейере разработки изделия.

2. Трехмерные системы автоматизированного проектирования (3D CAD)

2.1. Трехмерные системы автоматизированного проектирования (3D CAD)

Применение САПР для проектирования элементов турбомашин. Основные функции создания сложных криволинейных поверхностей. Применение параметризации для автоматизации и унификации процесса проектирования. Проектирование «сверху вниз», применение командных подходов проектирования.

3. Подготовка твердотельных моделей для проведения численного моделирования физических процессов

3.1. Подготовка твердотельных моделей для проведения численного моделирования физических процессов

Особенности переноса геометрии модели в пакеты инженерного анализа. Основные инструменты работы при подготовке модели элемента турбомашин для численных исследований. Методы автоматизации инженерного анализа.

4. Модели описания взаимодействия «ротор-статор» для расчета многоступенчатых турбин

4.1. Модели описания взаимодействия «ротор-статор» для расчета многоступенчатых турбин

Применение методов вычислительной газодинамики для проведения моделирования в лопаточных машинах. Модели Frozen Rotor, Sliding Mesh, Reference Frame. Стационарный и нестационарный расчет многоступенчатой осевой машины. Особенности моделирования многоступенчатого осевого компрессора и многоступенчатой осевой турбины. Подготовка расчетной схемы для моделирования газодинамических явлений в многоступенчатой проточной части турбомашин.

5. Сопряженный расчет. Моделирование охлаждаемых элементов проточной части газовой турбины

5.1. Сопряженный расчет. Моделирование охлаждаемых элементов проточной части газовой турбины

Моделирование процессов теплообмена с участием явлений теплопроводности через твердые тела. Особенности настройки сопряженного расчета. Моделирование адиабатных и теплопроводящих стенок. Применение моделей турбулентности для численного определения коэффициентов теплоотдачи. Особенности расчета охлаждаемых элементов проточной части газовой турбины.

3.3. Темы практических занятий

не предусмотрено

3.4. Темы лабораторных работ

1. Разработка параметрического эскиза внешнего вида проточной части ЦВД паровой турбины (6 часов);
2. Проектирование элемента конструкции паровой турбины на основе параметрического эскиза проточной части (6 часов);
3. Создание расчетной сетки для моделирования течения в межлопаточном канале решетки (4 часа);
4. Ступень осевой турбины. Моделирование взаимодействия статорных и роторных элементов (6 часов);
5. Многоступенчатая проточная часть осевого компрессора. Моделирование взаимодействия статорных и роторных элементов (6 часов);
6. Моделирование заградительной завесы охлаждающего воздуха на поверхности рабочей лопатки газовой турбины (4 часа).

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	
Знать:							
основные модели описания взаимодействия подвижных и неподвижных элементов в проточных частях турбомашин при численных газодинамических расчетах	ИД-1пк-1				+		Лабораторная работа/Лабораторная работа № 4 «Ступень осевой турбины. Моделирование взаимодействия статорных и роторных элементов»
основные инструменты и приемы 3D проектирования, применяемые для разработки конструкции элементов турбомашин	ИД-1пк-1	+					Тестирование/Тест «Подходы к организации цикла жизнедеятельности изделия»
Уметь:							
настраивать и проводить газодинамический расчет	ИД-1пк-1				+		Лабораторная работа/Лабораторная работа № 5. «Многоступенчатая проточная часть осевого компрессора. Моделирование взаимодействия статорных и роторных элементов»
проектировать элементы энергетического оборудования по принципу "сверху вниз" с учетом командной работы над проектом	ИД-1пк-1		+				Лабораторная работа/Лабораторная работа № 1 «Разработка параметрического эскиза внешнего вида проточной части ЦВД паровой турбины» Лабораторная работа/Лабораторная работа №2 «Проектирование элемента конструкции паровой турбины на основе параметрического эскиза проточной части»
подготавливать сложную геометрию реального объекта к проведению многодисциплинарных расчетов с применением численных методов	ИД-1пк-1			+			Лабораторная работа/Лабораторная работа № 3 «Создание расчетной сетки для моделирования течения в межлопаточном канале решетки»
параметризировать и автоматизировать процесс газодинамического расчета	ИД-1пк-1					+	Лабораторная работа/Лабораторная работа № 6 «Моделирование заградительной завесы охлаждающего воздуха на поверхности рабочей

							лопатки газовой турбины»
--	--	--	--	--	--	--	--------------------------

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

3 семестр

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Лабораторная работа № 1 «Разработка параметрического эскиза внешнего вида проточной части ЦВД паровой турбины» (Лабораторная работа)
2. Лабораторная работа № 3 «Создание расчетной сетки для моделирования течения в межлопаточном канале решетки» (Лабораторная работа)
3. Лабораторная работа № 4 «Ступень осевой турбины. Моделирование взаимодействия статорных и роторных элементов» (Лабораторная работа)
4. Лабораторная работа № 5. «Многоступенчатая проточная часть осевого компрессора. Моделирование взаимодействия статорных и роторных элементов» (Лабораторная работа)
5. Лабораторная работа № 6 «Моделирование заградительной завесы охлаждающего воздуха на поверхности рабочей лопатки газовой турбины» (Лабораторная работа)
6. Лабораторная работа №2 «Проектирование элемента конструкции паровой турбины на основе параметрического эскиза проточной части» (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Тест «Подходы к организации цикла жизнедеятельности изделия» (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №3)

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 3 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. Трухний А.Д. - "Паровые и газовые турбины для электростанций", Издательство: "МЭИ", Москва, 2017
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011577.html>;

4. 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. Зиновьев Д. В.- "Основы моделирования в SolidWorks", Издательство: "ДМК Пресс", Москва, 2017 - (240 с.)
<https://e.lanbook.com/book/97361>;
6. 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;
7. 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.

5.2 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;
6. Компас 3D;
7. SmathStudio.

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	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	П-21, Учебная	

контроля	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-21, 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

Моделирование физических процессов в элементах турбомашин

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Тест «Подходы к организации цикла жизнедеятельности изделия» (Тестирование)
- КМ-2 Лабораторная работа № 1 «Разработка параметрического эскиза внешнего вида проточной части ЦВД паровой турбины» (Лабораторная работа)
- КМ-3 Лабораторная работа №2 «Проектирование элемента конструкции паровой турбины на основе параметрического эскиза проточной части» (Лабораторная работа)
- КМ-4 Лабораторная работа № 3 «Создание расчетной сетки для моделирования течения в межлопаточном канале решетки» (Лабораторная работа)
- КМ-5 Лабораторная работа № 4 «Ступень осевой турбины. Моделирование взаимодействия статорных и роторных элементов» (Лабораторная работа)
- КМ-6 Лабораторная работа № 5. «Многоступенчатая проточная часть осевого компрессора. Моделирование взаимодействия статорных и роторных элементов» (Лабораторная работа)
- КМ-7 Лабораторная работа № 6 «Моделирование заградительной завесы охлаждающего воздуха на поверхности рабочей лопатки газовой 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:	4	6	8	10	12	14	16
1	Современные подходы организации цикла жизнедеятельности изделия								
1.1	Современные подходы организации цикла жизнедеятельности изделия		+						
2	Трехмерные системы автоматизированного проектирования (3D CAD)								
2.1	Трехмерные системы автоматизированного проектирования (3D CAD)			+	+				
3	Подготовка твердотельных моделей для проведения численного моделирования физических процессов								
3.1	Подготовка твердотельных моделей для проведения численного моделирования физических процессов					+			
4	Модели описания взаимодействия «ротор-статор» для расчета многоступенчатых турбин								
4.1	Модели описания взаимодействия «ротор-статор» для расчета многоступенчатых турбин						+	+	

5	Сопряженный расчет. Моделирование охлаждаемых элементов проточной части газовой турбины							
5.1	Сопряженный расчет. Моделирование охлаждаемых элементов проточной части газовой турбины							+
Вес КМ, %:		5	15	15	15	20	20	10