

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 И ОБЪЕКТОВ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.12.01.02
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: Контрольная работа Лабораторная работа	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	3 семестр - 0,3 часа;

Москва 2022

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Хохлов Д.А.
	Идентификатор	Rcd28c4cd-KhokhlovDA-41257daf

(подпись)

Д.А. Хохлов

(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: формирование знаний в области проектирования объектов профессиональной деятельности, а также математического моделирования физических процессов в парогенерирующем оборудовании ТЭС и АЭС при помощи CFD-методов

Задачи дисциплины

- ознакомиться с современными наукоемкими технологиями расчетного сопровождения процесса проектирования современного энергетического оборудования;
- изучить технологию постановки и решения практических задач методами CFD-моделирования;
- изучить подходы к обоснованию конкретных технических решений при помощи постановки численного эксперимента.

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-1 _{ПК-1} Выполняет теоретические и экспериментальные исследования процессов, происходящих в объектах профессиональной деятельности	знать: - основные принципы и алгоритм моделирования рабочих процессов, протекающих в энергетических установках, при помощи CFD-методов. уметь: - строить трёхмерную модель объектов проектирования в программе для трёхмерного геометрического моделирования.

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	Моделирование объектов проектирования	32.7	3	4	9	-	-	-	-	-	-	19.7	-	<p><u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Моделирование объектов проектирования" материалу.</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Моделирование объектов проектирования"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 1-10, 29-35 [2], стр. 75-98 [3], стр. 1-44 [6], стр. 1-41</p>	
1.1	Моделирование объектов проектирования	32.7		4	9	-	-	-	-	-	-	19.7	-		
2	Моделирование и проектирование элементов парового котла и парогенератора АЭС	35		6	9	-	-	-	-	-	-	-	20		-
2.1	Моделирование и проектирование элементов парового котла и парогенератора АЭС	35		6	9	-	-	-	-	-	-	-	20		-

													<p><u>теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Моделирование и проектирование элементов парового котла и парогенератора АЭС"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p> <p>[4], стр. 1-28 [7], стр. 1-99 [8], стр. 1-30</p>
3	Моделирование физических, химических и экологических рабочих процессов	40	6	14	-	-	-	-	-	-	20	-	<p><u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Моделирование физических, химических и экологических рабочих процессов" материалу.</p>
3.1	Моделирование физических, химических и экологических рабочих процессов	40	6	14	-	-	-	-	-	-	20	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Моделирование физических, химических и экологических рабочих процессов"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p> <p>[1], стр. 10-22, 23-29, 35-78 [2], стр. 1-25, 27-65, 65-75 [5], стр. 19-53, 500-518, 520-536 [9], стр. 5-40</p>
	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; КНР – 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. Моделирование объектов проектирования

1.1. Моделирование объектов проектирования

Построение геометрических объектов в программе SolidWorks. Описание интерфейса программы и основных инструментов для построения. Обусловленные и необусловленные эскизы, их преимущества и недостатки. Основные принципы трёхмерного моделирования. Моделирование проточных трактов энергетических установок. Выделение значимых параметров, допустимые упрощения геометрии. Полномасштабное и фрагментарное моделирование.

2. Моделирование и проектирование элементов парового котла и парогенератора АЭС

2.1. Моделирование и проектирование элементов парового котла и парогенератора АЭС

Понятие о проектировании. Цель проектирования. Объект проектирования, его свойства. Стадии и этапы проектирования. Алгоритм отдельного этапа проектирования. Системы автоматизированного проектирования (САПР). Определение. Структура. Классификация. Обеспечение САПР. Интуитивно-концептуальная модель процесса проектирования. Программное обеспечение САПР и проблемы его разработки. Комплекс технических средств САПР. Оптимизация и проектирование: цели, средства, критерии. Методы решения оптимизационных задач. Формулировка задачи оптимизационного проектирования и ее формализация. Математическая формулировка задачи оптимизационного проектирования. Целевая функция в задачах автоматизированного проектирования теплоэнергетических объектов: одно- и многокритериальная оптимизация, критерий приведенных затрат. Методы аналитической оптимизации. Численная оптимизация. Краткий обзор методов и алгоритмов оптимизации, критерии их выбора для практического применения. По чертежам и описанию, либо натурной модели, парового котла, парогенератора или камеры сгорания, либо одного из его элементов определяются его основные характеристики и строятся 3D модели различных элементов. Из построенных на предыдущем этапе 3D деталей выполняется сборка элементов, например, парового котла (топочные экраны, барабан, конвективные поверхности нагрева и пр.) или горелки (горелочная голова, лопатки, коллектор раздачи газа и пр.). Определяются сопряжения в сборках. Из созданных ранее 3D моделей различных элементов парового котла и его сборок. Выполняются чертежи отдельных деталей и сборок: стандартные виды, разрезы.

3. Моделирование физических, химических и экологических рабочих процессов

3.1. Моделирование физических, химических и экологических рабочих процессов

Определение и способы моделирования. Противоречивость идеи моделирования, виды моделей. Математическое моделирование (ММ): общие положения, этапы ММ, виды математических моделей. Численный эксперимент. Его преимущества и недостатки по сравнению с натурным экспериментом. Объект и предмет исследования. Классификация САПР по целевому назначению. Достоверность получаемых результатов. Верификация результатов моделирования. Особенности рабочих процессов, протекающих в котлах, камерах сгорания и парогенераторах АЭС. Моделирование газодинамических процессов. Основные понятия и соотношения. Типы и режимы течений и взаимодействий. Понятие вычислительной гидро- газодинамики (CFD). Преимущества CFD-моделирования. Использование результатов, полученных при CFD-моделировании. Метод контрольных объемов и его численные реализации. Его преимущества по сравнению с методом конечных разностей. Описание обобщенного дифференциального уравнения. Основные этапы CFD-моделирования: формирование расчетной области и ее геометрическое моделирование

средствами САПР, задание математической модели, задание граничных условий, определение исходной расчетной сетки и критериев её адаптации по решению и по граничным условиям, задание параметров методов расчета, расчет, анализ результатов и оценка точности решения. Классификация расчётных сеток. Структурированная и неструктурированная расчётные сетки. Примеры автоматизированного построения расчётных сеток. Преимущества и недостатки различных видов расчётных сеток. Оценка качества расчётных сеток. Введение в программу FlowVision или Ansys. Описание её интерфейса. Препроцессор и постпроцессор программы. Принципы импорта геометрической расчётной области в препроцессор. Моделирование теплопроводности: обозначения, уравнения, параметры, граничные и начальные условия. Моделирование течения жидкости и газа. Ламинарное течение: обозначения, уравнения, параметры, граничные и начальные условия. Несжимаемая жидкость, слабосжимаемая жидкость, полностью сжимаемая жидкость, пористая среда: обозначения, уравнения, параметры, граничные и начальные условия. Модели турбулентности. Обозначения. Стандартная $k-\epsilon$ – модель: уравнения, параметры, граничные и начальные условия. Иные модели турбулентности. Их преимущества и недостатки. Моделирование горения газового топлива. Базовые понятия и соотношения. Модель Зельдовича, кинетическая, турбулентная и пульсационная модели. Инициализация процесса горения. Установка свойств реагентов. Воспламенение топливовоздушной смеси при помощи фильтров. Модель двухфазного горения. Состав топлива, летучих, золы. Твердое и жидкое топливо, дисперсная и газовая фазы и взаимодействие между ними. Кинетическая и эмпирическая модели горения кокса. Теплообмен частиц с газом. Модели горения летучих: Зельдовича, кинетическая, пульсационная, Магнуссена и др. Инициализация двухфазного горения. Установка свойств реагентов. Параметры, граничные и начальные условия. Моделирование движения частиц: обозначения, уравнения, параметры, граничные и начальные условия. Испарение и нагревание частиц. Моделирование поверхностей нагрева: анизотропный фильтр с источником энергии. Альтернативные программные системы CFD-моделирования. Преимущества и проблемы методов и программных систем. По чертежам и описанию, либо натурной модели, парового котла, парогенератора или камеры сгорания, либо одного из его элементов определяются его основные характеристики и строятся 3D модели различных элементов для моделирования рабочих процессов CFD-методами. Производится построение расчётной сетки, задаются необходимые параметры, исследуется сеточная сходимость. Производится расчёт, определяются критерии останковки расчёта. Полученные данные анализируются, строятся поля, графики, интегральные значения. На основе полученных данных составляется отчёт.

3.3. Темы практических занятий

не предусмотрено

3.4. Темы лабораторных работ

1. Моделирование физических, химических и экологических рабочих процессов в энергетических установках;
2. Моделирование и проектирование элементов парового котла и парогенератора АЭС.

3.5 Консультации

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Моделирование объектов проектирования"

2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Моделирование и проектирование элементов парового котла и парогенератора АЭС"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Моделирование физических, химических и экологических рабочих процессов"

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	
Знать:					
основные принципы и алгоритм моделирования рабочих процессов, протекающих в энергетических установках, при помощи CFD-методов	ИД-1ПК-1			+	Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №1 Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №2
Уметь:					
строить трёхмерную модель объектов проектирования в программе для трёхмерного геометрического моделирования	ИД-1ПК-1	+	+		Контрольная работа/Моделирование простой геометрии в SolidWorks Контрольная работа/Моделирование сложной геометрии в SolidWorks

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: Защита задания

1. Защита лабораторной работы №1 (Лабораторная работа)
2. Защита лабораторной работы №2 (Лабораторная работа)

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Моделирование простой геометрии в SolidWorks (Контрольная работа)
2. Моделирование сложной геометрии в SolidWorks (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №3)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и зачетной составляющих

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. Сергиевский, Э. Д. Применение комплекса численного моделирования Fluent для задач промышленной теплоэнергетики : учебное пособие по курсу "Математическое моделирование и оптимизация систем теплоснабжения и кондиционирования" по направлению "Теплоэнергетика" / Э. Д. Сергиевский, Е. В. Овчинников, А. Н. Крылов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2006 . – 80 с. - ISBN 5-903072-89-5 .;
2. Патанкар, С. В. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах : пер. с англ. / С. В. Патанкар . – М. : Изд-во МЭИ, 2003 . – 312 с. - ISBN 5-7046-0898-1 .;
3. Сухарев, А. Г. Курс методов оптимизации / А. Г. Сухарев, А. В. Тимохов , В. В. Федоров . – 2-е изд . – М. : Физматлит, 2005 . – 368 с. – (Классический университетский учебник) . - ISBN 5-922105-59-0 .;
4. Мжельский, Б. И. Введение в теорию оптимизации : Учебное пособие по курсу "Оптимизация ЭВС и в САПР" по направлению "Информатика и вычислительная техника" / Б. И. Мжельский, Е. Б. Мжельская, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2001 . – 88 с. - ISBN 5-7046-0656-3 .;
5. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя : пер. с нем. / Г. Шлихтинг . – 5-е изд., испр . – М. : Наука, 1974 . – 712 с.;
6. Мотулевич, В. П. Учебное пособие по курсу "Спецвопросы тепло-и массообмена". Численные методы расчета теплообменного оборудования / В. П. Мотулевич, С. В. Жубрин ; Ред. Э. Д. Сергиевский ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ) . – М. : Изд-во МЭИ, 1989 . – 76 с.;

7. Норенков, И. П. Основы теории и проектирования САПР : Учебник для вузов по специальности "Вычислительные машины, комплексы, системы и сети" / И. П. Норенков, В. Б. Маничев . – М. : Высшая школа, 1990 . – 335 с. - ISBN 5-06-000730-8 .;
8. Норенков, И. П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем : учебное пособие для вузов / И. П. Норенков . – М. : Высшая школа, 1980 . – 311 с. - К 150-летию МВТУ им. Н.Э. Баумана .;
9. Глазков В. В.- "Техническая газодинамика", Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2021 - (108 с.)
<https://e.lanbook.com/book/169203>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. FlowVision;
3. Ansys / CAE Fidesy;
4. Компас 3D;
5. AutoCAD/ T Flex CAD (версия для обучающихся и преподавателей).

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
8. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
9. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
10. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
11. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
12. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
13. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
14. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
15. 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
	Х-301, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стол компьютерный, доска меловая, колонки звуковые, мультимедийный проектор, экран, компьютер персональный

Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	В-402/1, Компьютерный класс, мультимедийная учебная лаборатория каф. МиПЭУ (отд. ПГС)	парта, стол преподавателя, стол компьютерный, стул, шкаф, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, колонки, компьютер персональный, учебно-наглядное пособие
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Х-301, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стол компьютерный, доска меловая, колонки звуковые, мультимедийный проектор, экран, компьютер персональный
Помещения для самостоятельной работы	П-28, Комната для самостоятельных занятий студентов	
Помещения для консультирования	Д-320, Кабинет сотрудников каф. "МиПЭУ"	рабочее место сотрудника, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, колонки, компьютер персональный, принтер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Х-402, Склад кафедры	стеллаж для хранения инвентаря, компьютерная сеть с выходом в Интернет

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Моделирование физических процессов и объектов проектирования

(название дисциплины)

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

- КМ-1 Моделирование простой геометрии в SolidWorks (Контрольная работа)
 КМ-2 Моделирование сложной геометрии в SolidWorks (Контрольная работа)
 КМ-3 Защита лабораторной работы №1 (Лабораторная работа)
 КМ-4 Защита лабораторной работы №2 (Лабораторная работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	11	14
1	Моделирование объектов проектирования					
1.1	Моделирование объектов проектирования		+	+		
2	Моделирование и проектирование элементов парового котла и парогенератора АЭС					
2.1	Моделирование и проектирование элементов парового котла и парогенератора АЭС		+	+		
3	Моделирование физических, химических и экологических рабочих процессов					
3.1	Моделирование физических, химических и экологических рабочих процессов				+	+
Вес КМ, %:			25	25	25	25