

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

Направление подготовки/специальность: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Цифровизация в тепловой и возобновляемой энергетике

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ИНДУСТРИЯ 4.0 В ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.06.12
Трудоемкость в зачетных единицах:	8 семестр - 6;
Часов (всего) по учебному плану:	216 часов
Лекции	8 семестр - 28 часа;
Практические занятия	8 семестр - 28 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	8 семестр - 16 часов;
Самостоятельная работа	8 семестр - 139,2 часа;
в том числе на КП/КР	8 семестр - 33,7 часа;
Иная контактная работа	8 семестр - 4 часа;
включая: Тестирование Графическая работа (чертеж) Отчет	
Промежуточная аттестация:	
Защита курсового проекта	8 семестр - 0,3 часа;
Экзамен	8 семестр - 0,5 часа;
	всего - 0,8 часа

Москва 2025

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Люлин Ю.В.
	Идентификатор	Re4bbb65c-LiulinYV-8577cddd

Ю.В. Люлин

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Очков В.Ф.
	Идентификатор	Rd91184b2-OchkovVF-1531e2ff

В.Ф. Очков

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Шацких Ю.В.
	Идентификатор	R6ca75b8e-ShatskikhYV-f045f12f

Ю.В. Шацких

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Освоение основных принципов разработки моделей прототипов теплообменных устройств на примере систем охлаждения электронной аппаратуры в объектах тепловой и возобновляемой энергетики с применением трехмерного цифрового моделирования, аддитивных технологий и современного измерительного оборудования..

Задачи дисциплины

- формирование понимания ключевых цифровых технологий Индустрии 4.0;
- приобретения навыков использования технологии компьютерного моделирования в системах автоматизированного проектирования (САПР) для создания трехмерных моделей теплообменных устройств;
- изучение основ аддитивного процесса производства с учетом всех его особенностей;
- освоение техники современного физического эксперимента, приобретение навыков работы с современными средствами измерений и научной аппаратурой;
- получение навыков использования средств компьютерной техники и программного обеспечения при расчетах и обработке экспериментальных данных.

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-4 Способность принимать участие в математическом и компьютерном моделировании в тепловой и возобновляемой энергетике	ИД-4ПК-4 Использует в профессиональной деятельности методы моделирования состояния и работы объектов тепловой и возобновляемой энергетики	знать: - Основные ключевые технологии Индустрии 4.0; - Технологии аддитивного производства и его особенностей. уметь: - Проводить испытания теплообменных устройств для охлаждения электронной аппаратуры; - Создавать трехмерные модели теплообменных устройств в системах автоматизированного проектирования (САПР).

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Цифровизация в тепловой и возобновляемой энергетике (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

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 6 зачетных единиц, 216 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	Введение в курс Индустрия 4.0 в тепловой энергетике	12	8	4	-	2	-	-	-	-	-	6	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Введение в курс Индустрия 4.0 в тепловой энергетике"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 12-23 [2], стр. 6-28</p>	
1.1	Основные понятия Индустрия 4.0.	12		4	-	2	-	-	-	-	-	6	-		
2	3Д моделирование прототипа теплообменного устройства	36		8	-	-	8	-	-	-	-	-	20	-	<p><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u> В рамках расчетно-графического задания выполняется 3Д моделирование изделия. Для выполнения задания выполняются предварительные расчеты основных показателей. Задание выполняется индивидуально по вариантам.</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "3Д моделирование прототипа теплообменного устройства"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], стр. 35-88 [4], гл.6, стр.1-18 [5], стр. 1-64</p>
2.1	Основы работы систем охлаждения электронной аппаратуры в объектах тепловой энергетике.	14		4	-	2	-	-	-	-	-	8	-		
2.2	Проектирование и 3Д моделирование прототипа	22		4	-	6	-	-	-	-	-	12	-		
3	Аддитивные технологии в	34	6	-	8	-	-	-	-	-	-	20	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение</p>	

	тепловой энергетике													
3.1	Принципы работы 3Д печати.	16	4	-	4	-	-	-	-	-	-	8	-	дополнительного материала по разделу "Аддитивные технологии в тепловой энергетике"
3.2	Оптимизация и печать цифровой 3Д модели прототипа	18	2	-	4	-	-	-	-	-	-	12	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [6], стр. 28-81 [7], стр. 8-24
4	Тестирование прототипа теплообменного устройства	46	10	-	10	-	-	-	-	-	-	26	-	<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 "Тестирование прототипа теплообменного устройства" материалу.
4.1	Проведение испытаний прототипа	24	6	-	6	-	-	-	-	-	-	12	-	<u>Проведение эксперимента:</u> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: Экспериментальный стенд по определению телепередающих характеристик ребристых радиаторов охлаждения. Инфракрасная камера для определения температуры теплообменной поверхности.
4.2	Обработка и анализ экспериментальных данных.	22	4	-	4	-	-	-	-	-	-	14	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Тестирование прототипа теплообменного устройства"
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	-	33.5	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [8], стр. 480-499 [9], гл. 3 [10], стр.129-180
	Курсовой проект (КП)	52.0	-	-	-	14	-	4	-	0.3	33.7	-	-	
	Всего за семестр	216.0	28	-	28	14	2	4	-	0.8	105.7	33.5		
	Итого за семестр	216.0	28	-	28	16	4	0.8			139.2			

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. Введение в курс Индустрия 4.0 в тепловой энергетике

1.1. Основные понятия Индустрия 4.0.

Структура курса. Технологии «Индустрии 4.0». Цифровые двойники. Технологии аддитивных производств. Интернет вещей.

2. 3Д моделирование прототипа теплообменного устройства

2.1. Основы работы систем охлаждения электронной аппаратуры в объектах тепловой энергетике.

Виды систем охлаждения. Естественное и принудительное охлаждение. Прямое и косвенное охлаждение. Однофазные и двухфазные системы охлаждения. Выбор системы охлаждения. Подготовка технического задания с основными характеристиками устройства..

2.2. Проектирование и 3Д моделирование прототипа

Инженерный расчет теплообменного устройства. Создание цифровой 3Д модели прототипа. Применение системы автоматизированного проектирования.

3. Аддитивные технологии в тепловой энергетике

3.1. Принципы работы 3Д печати.

Классификация аддитивных технологий. Типы 3Д принтеров. Используемые материалы. Инженерные пластики для печати. Особенности печати и требования к 3Д моделям. Знакомство с 3Д принтерами и технологией печати.

3.2. Оптимизация и печать цифровой 3Д модели прототипа

Оптимизация цифровой модели с учетом требований аддитивных технологий. 3Д печать разработанного прототипа.

4. Тестирование прототипа теплообменного устройства

4.1. Проведение испытаний прототипа

Знакомство и измерительным оборудованием. Проведение измерений необходимых режимных параметров. Сбор экспериментальных данных..

4.2. Обработка и анализ экспериментальных данных.

Создание программы обработки данных с использованием современного программного обеспечения. Определение необходимых характеристик. Анализ экспериментальных данных..

3.3. Темы практических занятий

1. Определить оптимальный коэффициент ребрения теплообменной поверхности;
2. Спроектировать 3Д модель прототипа ребристого радиатора охлаждения;
3. Создать 3Д модель прототипа ребристого радиатора охлаждения используя специальное программное обеспечение;
4. Оптимизация 3Д модели прототипа с учетом требований аддитивных технологий;
5. Создание программы обработки данных.;
6. Рассчитать и построить зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости потока

воздуха.

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по разделу "Введение в курс Индустрия 4.0 в тепловой энергетике"
2. Консультации проводятся по разделу "3Д моделирование прототипа теплообменного устройства"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Аддитивные технологии в тепловой энергетике"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Тестирование прототипа теплообменного устройства"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ 8 Семестр

Курсовой проект (КП)

График выполнения курсового проекта

Неделя	1 - 4	5 - 8	9 - 14	Зачетная
Раздел курсового проекта	1	2	3	Защита курсового проекта
Объем раздела, %	20	30	50	-
Выполненный объем нарастающим итогом, %	20	50	100	-

Номер раздела	Раздел курсового проекта
1	Описание основных видов ключевых технологий Индустрии 4.0
2	Решение задачи по оптимизации поверхности оребрения
3	Оформление расчетно-пояснительной записки и графической части КР

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	
Знать:						
Технологии аддитивного производства и его особенностей	ИД-4ПК-4			+		Тестирование/КМ-3. "Основы аддитивных технологий"
Основные ключевые технологии Индустрии 4.0	ИД-4ПК-4	+				Тестирование/КМ-1. "Основные понятия Индустрии 4.0"
Уметь:						
Создавать трехмерные модели теплообменных устройств в системах автоматизированного проектирования (САПР)	ИД-4ПК-4		+			Графическая работа (чертеж)/КМ-2. "Создание 3Д модели прототипа теплообменного устройства"
Проводить испытания теплообменных устройств для охлаждения электронной аппаратуры	ИД-4ПК-4				+	Отчет/КМ-4. "Результаты испытаний"

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

8 семестр

Форма реализации: Выполнение задания

1. КМ-1. "Основные понятия Индустрии 4.0" (Тестирование)
2. КМ-3. "Основы аддитивных технологий" (Тестирование)
3. КМ-4. "Результаты испытаний" (Отчет)

Форма реализации: Компьютерное задание

1. КМ-2. "Создание 3Д модели прототипа теплообменного устройства" (Графическая работа (чертеж))

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

Балльно-рейтинговая структура курсового проекта является приложением Б.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №8)

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

Курсовой проект (КП) (Семестр №8)

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

В диплом выставляется оценка за 8 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Толкачев, С. А. Две модели неоиндустриализации: Германия - "Индустрия 4.0", США - "промышленный интернет" = неоиндустриальная перспектива / С. А. Толкачев // Экономист. – 2015. – №9. – с.13-23. – "Благодаря компьютеризации автоматизированной становится не только рабочая машина, но и управляющая, а производительные силы принимают форму технотронной триады: работник - ЭВМ - автоматизированные средства производства" ...;
2. Килина М. С., Грищенко В. И., Дымочкин Д. Д., Долгов Г. А., Приходько С. П., Коротыч Д. А. - "Введение в Индустрию 4.0", Издательство: "Донской ГТУ", Ростов-на-Дону, 2021 - (86 с.)

<https://e.lanbook.com/book/237878>;

3. Цветков, Ф. Ф. Теплообмен : учебник для вузов по направлению "Теплоэнергетика" / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев. – М. : Издательский дом МЭИ, 2011. – 562 с. – ISBN 978-5-383-00563-7.

<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=4233>;

4. А. А. Максимова- "Инженерное проектирование в средах САД: геометрическое моделирование средствами системы «КОМПАС-3D»", Издательство: "Сибирский

федеральный университет (СФУ)", Красноярск, 2016 - (238 с.)

<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=497289>;

5. Суворов А. П.- "Создание трехмерных моделей для аддитивного производства на основе полигонального моделирования. Лабораторный практикум", Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2022 - (64 с.)

<https://e.lanbook.com/book/193332>;

6. Гибсон, Я. Технологии аддитивного производства : [трехмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство] : пер. с англ. / Я. Гибсон, Д. Розен, Б. Стакер. – Москва : Техносфера, 2020. – 648 с. – (Мир станкостроения). – ISBN 978-5-94836-447-6.;

7. Горунов А. И., Гайсина А. Р., Гильмутдинов А. Х.- "Основы аддитивного производства", Издательство: "КНИТУ-КАИ", Казань, 2019 - (16 с.)

<https://e.lanbook.com/book/144009>;

8. Теплоэнергетика и теплотехника: Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент : справочник / А. А. Александров, и др. ; Ред. А. В. Клименко, В. М. Зорин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МЭИ, 2001. – 564 с. – (Теплоэнергетика и теплотехника ; Кн.2). – ISBN 5-7046-0512-5.;

9. Бухаров, А. В. Датчики для теплофизических изменений : учебное пособие по курсам "Оборудование криогенных систем", "Низкотемпературный эксперимент", "Установки и системы низкотемпературной техники" для студентов, обучающихся по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / А. В. Бухаров, Т. А. Алексеев, Нац. исслед. ун-т "МЭИ". – Москва : Изд-во МЭИ, 2021. – 136 с. – ISBN 978-5-7046-2399-1.

<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=11501>;

10. Бутырин П. А., Васьяковская Т. А., Каратаев В. В., Материкин С. В.- "Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7", Издательство: "ДМК Пресс", Москва, 2009 - (265 с.)

https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=1089.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Компас 3D;
3. nanoCAD Plus;
4. Python.

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. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elibr.mpei.ru/login.php>
11. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
12. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.ru>
13. АНО «Россия – страна возможностей» - <https://rsv.ru/education/>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	В-209/14, Учебно-исследовательская лаборатория «Теплонасосные системы»; Учебно-демонстрационный пункт теплоснабжения; Компьютерный класс	рабочее место сотрудника, стул, шкаф для одежды, инвентарь специализированный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	В-209/14, Учебно-исследовательская лаборатория «Теплонасосные системы»; Учебно-демонстрационный пункт теплоснабжения; Компьютерный класс	рабочее место сотрудника, стул, шкаф для одежды, инвентарь специализированный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	В-209/14, Учебно-исследовательская лаборатория «Теплонасосные системы»; Учебно-демонстрационный пункт теплоснабжения; Компьютерный класс	рабочее место сотрудника, стул, шкаф для одежды, инвентарь специализированный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Лекционная аудитория	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	В-209/7, Кабинет сотрудников каф. "ТОТ"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	В-404/1а, Кладовая	

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ**Индустрия 4.0 в тепловой энергетике**

(название дисциплины)

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

КМ-1 КМ-1. "Основные понятия Индустрии 4.0" (Тестирование)

КМ-2 КМ-2. "Создание 3Д модели прототипа теплообменного устройства" (Графическая работа (чертеж))

КМ-3 КМ-3. "Основы аддитивных технологий" (Тестирование)

КМ-4 КМ-4. "Результаты испытаний" (Отчет)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	10	11	13
1	Введение в курс Индустрия 4.0 в тепловой энергетике					
1.1	Основные понятия Индустрия 4.0.		+			
2	3Д моделирование прототипа теплообменного устройства					
2.1	Основы работы систем охлаждения электронной аппаратуры в объектах тепловой энергетике.			+		
2.2	Проектирование и 3Д моделирование прототипа			+		
3	Аддитивные технологии в тепловой энергетике					
3.1	Принципы работы 3Д печати.				+	
3.2	Оптимизация и печать цифровой 3Д модели прототипа				+	
4	Тестирование прототипа теплообменного устройства					
4.1	Проведение испытаний прототипа					+
4.2	Обработка и анализ экспериментальных данных.					+
Вес КМ, %:			10	30	20	40

**БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА
КУРСОВОГО ПРОЕКТА/РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Индустрия 4.0 в тепловой энергетике

(название дисциплины)

8 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовому проекту:

КМ-1 Соблюдение графиков выполнения задания

КМ-2 Соблюдение графиков выполнения задания

КМ-4 Защита курсового проекта

Вид промежуточной аттестации – защита КП.

Номер раздела	Раздел курсового проекта/курсовой работы	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	14
1	Описание основных видов ключевых технологий Индустрии 4.0		+		
2	Решение задачи по оптимизации поверхности оребрения			+	
3	Оформление расчетно-пояснительной записки и графической части КР				+
Вес КМ, %:			20	30	50