

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

---

Направление подготовки/специальность: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Теплотехника и малая распределенная энергетика

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ**  
**ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ**

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.10.02.01
Трудоемкость в зачетных единицах:	2 семестр - 5;
Часов (всего) по учебному плану:	180 часов
Лекции	2 семестр - 32 часа;
Практические занятия	2 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	2 семестр - 18 часов;
Самостоятельная работа	2 семестр - 109,2 часов;
в том числе на КП/КР	2 семестр - 15,7 часов;
Иная контактная работа	2 семестр - 4 часа;
включая: Тестирование Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Защита курсовой работы	2 семестр - 0,3 часа;
Экзамен	2 семестр - 0,5 часа;
	всего - 0,8 часа

**Москва 2020**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сиденков Д.В.
	Идентификатор	R7ad01b54-SidenkovDV-41309924

(подпись)

Д.В. Сиденков

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

Ю.В. Шацких

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Орлов К.А.
	Идентификатор	R24178de8-OrlovKA-0ab64072

(подпись)

К.А. Орлов

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение методов проведения численного исследования физических процессов, происходящих в элементах теплоэнергетического оборудования

### Задачи дисциплины

- изучение методики создания адекватной математической модели элемента энергооборудования различного уровня сложности при разработке и эксплуатации теплоэнергетических установок;
- приобретение навыков планирования и проведения натурального и вычислительного эксперимента по исследованию процессов тепломассообмена в элементе энергооборудования;;
- приобретение умения представлять результаты вычислительного эксперимента в виде инженерных формул, удобных для практического применения;;
- приобретение навыков проведения вычислительного эксперимента с помощью современных CFD-программ для расчета процессов тепломассообмена и гидродинамики и решения практических задач проектирования элементов теплоэнергетического оборудования..

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 проведению расчетно-теоретических исследований теплогидравлических процессов объектах профессиональной деятельности	ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Имеет навыки математического моделирования теплогидравлических процессов в объектах профессиональной деятельности	знать: - особенности моделирования процессов теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок;; - принципы декомпозиции теплоэнергетического объекта;; - численные методы расчета вариантов разработки и построения адекватных математических моделей на основе вычислительного эксперимента при проектировании теплоэнергетических объектов с учётом особенностей протекающих в них физических процессов;.  уметь: - формулировать цели и задачи исследования термогидродинамических процессов в энергетическом оборудовании, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки;; - записывать в виде системы интегральных и дифференциальных уравнений процессы теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок;; - разрабатывать математические модели простейших элементов теплоэнергетических объектов;; - применять пакет ANSYS для решения

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		задач стационарной и нестационарной теплопроводности, свободной и вынужденной конвекции, сложных задач теплообмена и гидродинамики;

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Теплотехника и малая распределенная энергетика (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Математика», «Физика», «Инженерная графика», «Техническая термодинамика», «Тепломассообмен», «Информационные технологии», «Численные методы моделирования. Прикладное программирование», «Тепловые электрические станции», «Котельные установки и парогенераторы», «Ядерные энергетические установки», «Турбины ТЭС и АЭС», «Схемы, оборудование и эксплуатация энергетических установок», «Режимы работы и эксплуатация ТЭС» программы бакалавриата (как минимум – на базовом уровне), «Методы оптимизационных расчетов в теплоэнергетике» вариативной части по выбору 1 блока дисциплин программы магистратуры.

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 5 зачетных единиц, 180 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	ЧМТГДП	108	2	32	-	16	-	-	-	-	-	60	-	<p><b>Подготовка курсовой работы:</b> Качество оформления КР: «Численное моделирование теплообменного аппарата» (КР КМ-4)</p> <p><b>Подготовка к контрольной работе:</b> Контрольная работа №3: «Численное моделирование теплообменного аппарата» (КМ-4)</p> <p><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b> [8, 10,] раздаточный материал, [2] с. 46-54</p> <p><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b> Верификация ANSYS, набор тестовых задач. раздаточный материал</p> <p><b>Подготовка курсовой работы:</b> Соблюдение графика выполнения КР: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи» (КР КМ-3)</p> <p><b>Подготовка к контрольной работе:</b> Контрольная работа №2: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи» (КМ-3)</p> <p><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b> [7, 8], с. 12-34, раздаточный материал</p> <p><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b> [2, 5] с. 36-40, 21-27, раздаточный материал</p>
1.1	Введение. Процессы теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок.	6		2	-	-	-	-	-	-	-	4	-	
1.2	Система интегральных и дифференциальных уравнений конвективного теплообмена.	12		2	-	2	-	-	-	-	-	8	-	
1.3	Стационарная теплопроводность.	16		4	-	2	-	-	-	-	-	10	-	
1.4	Нестационарная теплопроводность.	12		4	-	2	-	-	-	-	-	6	-	
1.5	Система уравнений Навье-Стокса.	14		4	-	2	-	-	-	-	-	8	-	
1.6	Особенности решения задач вынужденной и свободной конвекции.	14		6	-	2	-	-	-	-	-	6	-	
1.7	Верификация ANSYS, набор тестовых задач.	12		2	-	2	-	-	-	-	-	8	-	
1.8	Численное моделирование теплообменного аппарата	22		8	-	4	-	-	-	-	-	10	-	

																							<p><b><u>Подготовка курсовой работы:</u></b> Соблюдение графика выполнения КР: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи» (КМ-3)</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Контрольная работа №1: «Численное решение задачи теплопроводности» (КМ-2)</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> [2, 5] с.65-74, 12-14, 52-70</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> [1, 2] с. 10-40</p> <p><b><u>Проведение эксперимента:</u></b> Оценка выполнения раздела КР «Тепловизионное и экспериментальное исследование» (КР КМ-2)</p> <p><b><u>Подготовка курсовой работы:</u></b> Оценка выполнения раздела КР «Обзор литературы» (КР КМ-1)</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Терминологический тест: «Метод контрольного объема» (КМ-1)</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> [2, 5] с. 61-65, раздаточный материал</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> [4, 6, 11] с. 15-30, с. 11-33, с. 202-232</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>  [1], с. 10-40  [2], с. 10-40  [3], с. 10-40 с. 61-65, раздаточный материал  [4], с.65-74, 12-14, 52-70  [5], с. 11-33, с. 61-74, раздаточный материал  [6], с. 46-54  [7], с. 20-54  [8], с. 202-232  [9], стр.124-146стр. 147-170, 182-234, 286-295стр.235-285стр.297-329, 330-368стр.502-</p>
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---

														533 стр. 369-416 [10], 1-70 [11], 1-65
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Курсовая работа (КР)	36.0		-	-	-	16	-	4	-	0.3	15.7	-	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>180.0</b>		<b>32</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>0.8</b>	<b>75.7</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>180.0</b>		<b>32</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>18</b>		<b>4</b>		<b>0.8</b>	<b>109.2</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. ЧМТГДП

1.1. Введение. Процессы теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок.

Цели и задачи моделирования. Методы исследования теплообмена и гидродинамики. Классификация методов расчета. Численные методы. Понятие вычислительного эксперимента. Современные CFD-программы..

1.2. Система интегральных и дифференциальных уравнений конвективного теплообмена.

Базовые законы. Условия однозначности. Метод контрольного объема. Теорема Остроградского-Гаусса. Обобщенное дифференциальное уравнение. Понятие конвективно-диффузионной задачи. Обобщенные коэффициенты переноса. Понятие источникового члена. Особенности ламинарного и турбулентного режима течения. Программный комплекс конечно-элементного анализа ANSYS. Структура программного комплекса. Этапы решения задач конвективного теплообмена. Представление и обработка результатов расчета..

1.3. Стационарная теплопроводность.

Стационарная одномерная теплопроводность. Трехточечный шаблон в методе контрольного объема. Понятие дискретного аналога. Учет источникового члена и граничных условий. Система алгебраических уравнений дискретного аналога. Дискретизация расчетной области, контрольные объемы, граничные контрольные объемы. Переменные теплофизические свойства. Решение нелинейных задач. Правила построения дискретного аналога. Дискретный аналог двумерной и трехмерной задачи стационарной теплопроводности в декартовой и цилиндрической полярной системах координат. Пятиточечный и семиточечный шаблон. Методы прогонки и переменных направлений для решения системы алгебраических уравнений дискретных аналогов..

1.4. Нестационарная теплопроводность.

Одномерная задача. Явная и неявная схема дискретизации по времени, преимущества и недостатки. Правило Куранта. Учет начальных условий. Правила построения дискретных аналогов. Дискретный аналог одномерной задачи нестационарной теплопроводности. Инерция и релаксация. Безразмерная запись дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности. Дискретные аналоги дву- и трехмерного дифференциального уравнения теплопроводности в различных системах координат. Представление дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности в виде обобщенного дифференциального уравнения, обобщенные коэффициенты при размерной и безразмерной постановке задачи. Решение с помощью MathCad и ANSYS..

1.5. Система уравнений Навье-Стокса.

Дискретизация уравнения неразрывности и уравнений движения. Правило Куранта-Фридрихса-Леви. Схема против потока. Начальные и граничные условия. Обобщение для метода конечных элементов. Безразмерная форма записи системы уравнений Навье-Стокса для задач вынужденной и свободной конвекции. Дискретизация уравнения энергии для задач вынужденной и свободной конвекции (ламинарный режим течения). Дискретный аналог двумерных и трехмерных неустановившихся задач конвекции и диффузии. Алгоритм решения сложных задач. Семейство алгоритмов SIMPLE. Интегральные характеристики течения. Теплообмен и гидродинамика при ламинарном и турбулентном режиме течения. Течение Пуазейля. Задачи Блазиуса и Польгаузена. Аналогия Рейнольдса..



#### 1.6. Особенности решения задач вынужденной и свободной конвекции.

Особенности решения задач вынужденной и свободной конвекции в турбулентном режиме течения.  $k$ - $\epsilon$  модель турбулентности, дискретные аналоги. Другие модели турбулентности, особенности реализации в пакете ANSYS. Тепломассообмен и гидродинамика при течении многокомпонентных смесей. Число Дамкеллера. Распространение фронта химической реакции. Особенности решения задач при течении многокомпонентных смесей в условиях возможной химической реакции компонент. Решение с помощью ANSYS. Интегральные характеристики течения. Особенности решения задач при течении в каналах различной формы и внешнем обтекании погруженных в жидкость тел. Решение с помощью ANSYS. Интегральные характеристики течения..

#### 1.7. Верификация ANSYS, набор тестовых задач.

Верификация CFD-пакетов программ, наборы тестовых задач. Сопоставление с численным решением ANSYS..

#### 1.8. Численное моделирование теплообменного аппарата

Численное моделирование теплообменника «труба в трубе». Численное моделирование пластинчатого теплообменника в MathCad и с помощью пакета ANSYS..

### 3.3. Темы практических занятий

1. Численное решение задач стационарной теплопроводности с помощью пакета ANSYS. Различные виды граничных условий. Метод контрольного объема.;
2. Численное решение задач стационарной теплопроводности при наличии внутреннего источника теплоты и переменными коэффициентами переноса с помощью пакета ANSYS.;
3. Численное решение задач нестационарной теплопроводности с помощью пакета ANSYS. Особенности явной и неявной схемы дискретизации.;
4. Численное решение задач теплопроводности с помощью пакета ANSYS. Метод прогонки.;
5. Численное решение задач вынужденной конвекции (ламинарный режим течения) с помощью пакета ANSYS.;
6. Численное решение задач вынужденной конвекции с помощью пакета ANSYS. Учет эффектов пограничного слоя. Представление результатов в виде инженерных формул.;
7. Численное решение задач вынужденной конвекции (турбулентный режим течения) с помощью пакета ANSYS. Представление результатов в виде инженерных формул.;
8. Численное решение задач вынужденной конвекции (турбулентный режим течения) с помощью пакета ANSYS. Модели турбулентности.;
9. Численное решение задач свободной конвекции с помощью пакета ANSYS.;
10. Численное решение задач свободной конвекции с помощью пакета ANSYS. Сопоставление с аналитическим решением;
11. Численное решение сопряженных задач теплообмена с помощью пакета ANSYS.;
12. Численное решение сопряженных задач теплообмена с помощью пакета ANSYS. Сопоставление с аналитическими решениями.;
13. Численное решение сложных задач теплообмена и гидродинамики с помощью пакета ANSYS.;
14. Численное решение сложных задач теплообмена и гидродинамики с помощью пакета ANSYS. Сопоставление с экспериментальными исследованиями и результатами тепловизионного анализа.;
15. Численное моделирование теплообменника «труба в трубе» в MathCad и с помощью пакета ANSYS.;
16. Численное моделирование пластинчатого теплообменника в MathCad и с помощью

пакета ANSYS..

### 3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

### 3.5 Консультации

#### Аудиторные консультации по курсовому проекту/работе (КПР)

1. Возможности применения пакета ANSYS для решения задач теплопроводности, конвективного теплообмена, излучения

#### Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий

### 3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ 2 Семестр

Курсовая работа (КР)

Темы:

- Экспериментальное и численное исследование процессов теплообмена и гидродинамики - стационарная/нестационарная теплопроводность, внутренние источники - внешнее обтекание - внутренние течения

#### **График выполнения курсового проекта**

Неделя	1 - 4	5 - 8	9 - 12	13 - 16	Зачетная
Раздел курсового проекта	1	2	2, 3	3	Защита курсового проекта
Объем раздела, %	20	30	40	10	-
Выполненный объем нарастающим итогом, %	20	50	90	100	-

Номер раздела	Раздел курсового проекта
1	Обзор литературы, изучение экспериментальных стендов, подготовка их к работе, формирование навыков работы с тепловизором, формирование соответствующих разделов КР
2	Проведение экспериментальных исследований, проведение вычислительного эксперимента с помощью программы ANSYS, формирование соответствующих разделов КР
3	Обработка результатов натурного и вычислительного эксперимента, формирование соответствующих разделов КР, подготовка презентации к защите 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	
<b>Знать:</b>			
численные методы расчета вариантов разработки и построения адекватных математических моделей на основе вычислительного эксперимента при проектировании теплоэнергетических объектов с учётом особенностей протекающих в них физических процессов;	ИД-2ПК-1	+	Контрольная работа/Контрольная работа №2: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи»
принципы декомпозиции теплоэнергетического объекта;	ИД-2ПК-1	+	Контрольная работа/Контрольная работа №1: «Численное решение задачи теплопроводности»
особенности моделирования процессов теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок;	ИД-2ПК-1	+	Тестирование/Терминологический тест: «Метод контрольного объема»
<b>Уметь:</b>			
применять пакет ANSYS для решения задач стационарной и нестационарной теплопроводности, свободной и вынужденной конвекции, сложных задач теплообмена и гидродинамики;	ИД-2ПК-1	+	Контрольная работа/Контрольная работа №2: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи»
разрабатывать математические модели простейших элементов теплоэнергетических объектов;	ИД-2ПК-1	+	Контрольная работа/Контрольная работа №1: «Численное решение задачи теплопроводности»
записывать в виде системы интегральных и дифференциальных уравнений процессы теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок;	ИД-2ПК-1	+	Тестирование/Терминологический тест: «Метод контрольного объема»
формулировать цели и задачи исследования термогидродинамических процессов в энергетическом оборудовании, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки;	ИД-2ПК-1	+	Контрольная работа/Контрольная работа №3: «Численное моделирование теплообменного аппарата»

## **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: Компьютерное задание

1. Контрольная работа №1: «Численное решение задачи теплопроводности» (Контрольная работа)
2. Контрольная работа №2: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи» (Контрольная работа)
3. Контрольная работа №3: «Численное моделирование теплообменного аппарата» (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Терминологический тест: «Метод контрольного объема» (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

Балльно-рейтинговая структура курсовой работы является приложением Б.

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

#### Экзамен (Семестр №2)

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

#### Курсовая работа (КР) (Семестр №2)

Оценка за курсовую работу определяется 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. Григорьев Б.А. , Цветков Ф.Ф. - "Тепломассообмен", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2011 - (562 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72294](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72294);
2. Цветков, Ф. Ф. Тепломассообмен : 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/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4233](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4233);
3. Теплотехнические основы теплонасосных систем : учебное пособие по курсу "Методы оптимизационных расчетов в теплоэнергетике" для студентов, обучающихся по направлениям "Теплоэнергетика и теплотехника", "Энергетическое машиностроение", "Ядерная энергетика и теплофизика" / А. А. Сухих, Д. В. Сиденков, В. И. Величко, В. Ю. Демьяненко, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – Москва : Изд-во МЭИ, 2021 . – 72 с. -

Авторы указаны на обороте тит. л. - ISBN 978-5-7046-2446-2 .

[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=11570](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=11570);

4. Солодов, А. П. Теплообмен в энергетических установках. Инженерные методы расчета. Электронный курс : учебное пособие по курсам "Теплообмен", "Теплообмен в оборудовании АЭС" по направлениям "Ядерная энергетика и теплофизика", "Теплоэнергетика и теплотехника" / А. П. Солодов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2015 . – 124 с. - ISBN 978-5-7046-1636-8 .

[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=6989](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=6989);

5. 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 .;

6. Солодов, А. П. MATHCAD: Дифференциальные модели / А. П. Солодов, В. Ф. Очков, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2002 . – 239 с. - ISBN 5-7046-0823-X .;

7. Назмеев, Ю. Г. Теплообменные аппараты ТЭС : учебное пособие для вузов по направлению "Теплоэнергетика" / Ю. Г. Назмеев, В. М. Лавыгин . – 2-е изд., перераб. – М. : Изд-во МЭИ, 2002 . – 260 с. - ISBN 5-7046-0888-4 .;

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. Справочник по теплообменникам: В 2 т. Т.1. : пер. с англ. – М. : Энергоатомиздат, 1987 . – 560 с.;

10. Александров, А. А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара : Справочник / А. А. Александров, Б. А. Григорьев . – М. : Изд-во МЭИ, 1999 . – 168 с. - ISBN 5-7046-0397-1 : 60.00 .;

11. Александров, А. А. Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики : справочник / А. А. Александров, К. А. Орлов, В. Ф. Очков . – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательский дом МЭИ, 2017 . – 226 с. - ISBN 978-5-383-01073-0 ..

## **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Ansys / CAE Fidesy.

## **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 журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
4. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
7. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
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. 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	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, Компьютерный читальный зал	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-417, Помещение учебно-вспомогательного персонала каф. "ТОТ"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф для документов, шкаф для хранения инвентаря, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, многофункциональный центр, компьютер персональный, принтер, кондиционер



## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Численное моделирование термогидродинамических процессов в энергетическом оборудовании

(название дисциплины)

#### 2 семестр

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

- КМ-1 Терминологический тест: «Метод контрольного объема» (Тестирование)
- КМ-2 Контрольная работа №1: «Численное решение задачи теплопроводности» (Контрольная работа)
- КМ-3 Контрольная работа №2: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи» (Контрольная работа)
- КМ-4 Контрольная работа №3: «Численное моделирование теплообменного аппарата» (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	15
1	ЧМТГДП					
1.1	Введение. Процессы теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок.		+			
1.2	Система интегральных и дифференциальных уравнений конвективного теплообмена.		+			
1.3	Стационарная теплопроводность.			+		
1.4	Нестационарная теплопроводность.			+		+
1.5	Система уравнений Навье-Стокса.				+	
1.6	Особенности решения задач вынужденной и свободной конвекции.				+	
1.7	Верификация ANSYS, набор тестовых задач.				+	
1.8	Численное моделирование теплообменного аппарата					+
Вес КМ, %:			15	25	30	30



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

Численное моделирование термогидродинамических процессов в энергетическом оборудовании

(название дисциплины)

**2 семестр**

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовой работе:**

- КМ-1 Оценка выполнения раздела КР «Обзор литературы»
- КМ-2 Оценка выполнения раздела КР «Тепловизионное и экспериментальное исследование»
- КМ-3 Соблюдение графика выполнения КР: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи»
- КМ-4 Качество оформления КР: «Численное моделирование теплообменного аппарата»

**Вид промежуточной аттестации – защита КР.**

Номер раздела	Раздел курсового проекта/курсовой работы	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Обзор литературы, изучение экспериментальных стендов, подготовка их к работе, формирование навыков работы с тепловизором, формирование соответствующих разделов КР		+			
2	Проведение экспериментальных исследований, проведение вычислительного эксперимента с помощью программы ANSYS, формирование соответствующих разделов КР			+	+	
3	Обработка результатов натурного и вычислительного эксперимента, формирование соответствующих разделов КР, подготовка презентации к защите КР				+	+
Вес КМ, %:			20	30	40	10