

**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**  
**CFD-МОДЕЛИРОВАНИЕ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.05.13</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>8 семестр - 3;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>108 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>8 семестр - 14 часов;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>8 семестр - 28 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>8 семестр - 65,7 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Тестирование</b> <b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>8 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2022**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

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

Д.В. Сиденков

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рыженков А.В.
	Идентификатор	R97ba085e-RyzhenkovAV-e7929df

А.В. Рыженков

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рыженков А.В.
	Идентификатор	R97ba085e-RyzhenkovAV-e7929df

А.В. Рыженков

## 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 теплообмена 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 теплообмена 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-4 Способность принимать участие в математическом и компьютерном моделировании в тепловой и возобновляемой энергетике	ИД-2 <sub>ПК-4</sub> Применяет методы моделирования объектов тепловой и возобновляемой энергетики для решения профессиональных задач	знать: - 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;; - особенности моделирования процессов теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок;.  уметь: - записывать в виде системы интегральных и дифференциальных уравнений процессы теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок;; - применять пакет Логос (резервный пакет ANSYS) для решения задач стационарной и нестационарной теплопроводности, свободной и вынужденной конвекции, сложных задач теплообмена и гидродинамики;.
ПК-4 Способность принимать участие в математическом и компьютерном моделировании в	ИД-5 <sub>ПК-4</sub> Применяет в профессиональной деятельности современные методы и средства визуализации данных	знать: - принципы декомпозиции теплоэнергетического объекта;.  уметь: - применять пакет Логос (резервный

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
тепловой и возобновляемой энергетике		пакет ANSYS) для визуализации результатов решения 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 Цифровизация в тепловой и возобновляемой энергетике (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

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»
- уметь работать на компьютере

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	CFD-моделирование	90	8	14	-	28	-	-	-	-	-	48	-	<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Контрольная работа №3: «Численное моделирование теплообменного аппарата» (КМ-4) <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> [8, 10,] раздаточный материал, [2] с. 46-54 <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Верификация Логос (резерв - ANSYS), набор тестовых задач. раздаточный материал <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Контрольная работа №2: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи» (КМ-3) <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> [7, 8], с. 12-34, раздаточный материал [7, 8] <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> [2, 5] с. 36-40, 21-27, раздаточный материал <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Контрольная работа №1: «Численное решение задачи теплопроводности» (КМ-2) <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> [2, 5] с.65-74, 12-14, 52-70 <b><u>Самостоятельное изучение</u></b></p>
1.1	Введение. Процессы теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок.	5		1	-	-	-	-	-	-	-	4	-	
1.2	Система интегральных и дифференциальных уравнений конвективного теплообмена.	6		1	-	1	-	-	-	-	-	4	-	
1.3	Стационарная теплопроводность.	9		1	-	2	-	-	-	-	-	6	-	
1.4	Нестационарная теплопроводность.	10		2	-	2	-	-	-	-	-	6	-	
1.5	Система уравнений Навье-Стокса.	8		1	-	1	-	-	-	-	-	6	-	
1.6	Особенности решения задач вынужденной и свободной конвекции.	14		2	-	6	-	-	-	-	-	6	-	
1.7	Верификация Логос (резерв - ANSYS), набор тестовых задач.	18		2	-	8	-	-	-	-	-	8	-	
1.8	Численное моделирование теплообменного	20		4	-	8	-	-	-	-	-	8	-	

	аппарата												<p><b><u>теоретического материала:</u></b> [1, 2] с. 10-40  <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b>  Терминологический тест: «Метод контрольного объема» (КМ-1)  <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> [2, 5] с. 61-65, раздаточный материал  <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> [4, 6, 11] с. 15-30, с. 11-33, с. 202-232  <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], 11-97, 129-141, 172-190, 194-230, 357-481  [5], с. 11-33, с. 61-74, раздаточный материал  [6], с.65-74, 12-14, 52-70  [7], с. 20-54  [8], с. 202-232  [9], стр.124-146стр. 147-170, 182-234, 286-295стр.235-285стр.297-329, 330-368стр.502-533 стр. 369-416  [10], 1-70  [11], 1-65</p>
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	Всего за семестр	108.0	14	-	28	-	-	-	-	0.3	48	17.7	
	Итого за семестр	108.0	14	-	28	-	-	-	-	0.3		65.7	

**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. CFD-моделирование

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 Логос (резервный - 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 SMath (резерв - MathCad) и Логос (резерв - 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 Логос (резерв - ANSYS). Теплообмен 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 Логос (резерв - ANSYS). Интегральные характеристики течения. Особенности решения задач при течении в каналах различной формы и внешнем обтекании погруженных в жидкость тел. Решение с помощью Логос (резерв - ANSYS). Интегральные характеристики течения..

#### 1.7. Верификация Логос (резерв - ANSYS), набор тестовых задач.

Верификация CFD-пакетов программ, наборы тестовых задач. Сопоставление с численным решением Логос (резерв - ANSYS)..

#### 1.8. Численное моделирование теплообменного аппарата

Численное моделирование теплообменника «труба в трубе». Численное моделирование пластинчатого теплообменника в SMath (резерв - MathCad) и с помощью пакета Логос (резерв - ANSYS)..

### 3.3. Темы практических занятий

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



14. Численное решение задач нестационарной теплопроводности с помощью пакета Логос (резерв - ANSYS). Особенности явной и неявной схемы дискретизации..

**3.4. Темы лабораторных работ**  
не предусмотрено

**3.5 Консультации**

*Текущий контроль (ТК)*

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

**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	
<b>Знать:</b>			
особенности моделирования процессов теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок;	ИД-2ПК-4	+	Тестирование/Терминологический тест: «Метод контрольного объема»
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-4	+	Контрольная работа/Контрольная работа №1: «Численное решение задачи теплопроводности»
принципы декомпозиции теплоэнергетического объекта;	ИД-5ПК-4	+	Контрольная работа/Контрольная работа №2: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи»
<b>Уметь:</b>			
применять пакет Логос (резервный пакет ANSYS) для решения задач стационарной и нестационарной теплопроводности, свободной и вынужденной конвекции, сложных задач теплообмена и гидродинамики;	ИД-2ПК-4	+	Контрольная работа/Контрольная работа №3: «Численное моделирование теплообменного аппарата»
записывать в виде системы интегральных и дифференциальных уравнений процессы теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок;	ИД-2ПК-4	+	Тестирование/Терминологический тест: «Метод контрольного объема»
применять пакет Логос (резервный пакет ANSYS) для визуализации результатов решения задач стационарной и нестационарной теплопроводности, свободной и вынужденной конвекции, сложных задач теплообмена и гидродинамики;	ИД-5ПК-4	+	Контрольная работа/Контрольная работа №1: «Численное решение задачи теплопроводности» Контрольная работа/Контрольная работа №2: «Численное решение конвективно-

			диффузионной задачи»
--	--	--	----------------------

## **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: 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.

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

*Зачет с оценкой (Семестр №8)*

По совокупности оценок в БАРС и на зачете

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. 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://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=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://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=11570>;
4. Солодов, А. П. Тепломассообмен: [в 2-х т.]. Т. 1 : учебное издание для реализации основных образовательных программ высшего образования по направлению 13.03.01 "Теплоэнергетика и теплотехника" / А. П. Солодов, Д. В. Сиденков, В. И. Величко ; общ. ред. А. П. Солодов ; Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – Москва : Изд-во МЭИ, 2021 . – 484 с. - Книга-победитель конкурса рукописей учебной, научно-технической и справочной

литературы по энергетике, посвященного 90-летию МЭИ и 100-летию плана ГОЭЛРО . - ISBN 978-5-7046-2460-8 .

<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=11904>;

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. 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/elib/view.php?id=6989>;

7. Назмеев, Ю. Г. Теплообменные аппараты ТЭС : учебное пособие для вузов по направлению "Теплоэнергетика" / Ю. Г. Назмеев, В. М. Лавыгин . – 4-е изд., доп. – М. : Издательский дом МЭИ, 2007 . – 269 с. - ISBN 978-5-383-00134-9 .;

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 Fidesys;
4. SmathStudio.

## **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 ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
4. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
5. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
6. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
7. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
8. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
9. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
10. Журналы издательства Cambridge University Press - <https://www.cambridge.org/core>
11. База данных IEL издательства IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) - <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp?reload=true>
12. Журналы издательства Oxford University Press - <https://academic.oup.com/journals/>
13. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
14. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>

15. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
16. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
17. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
18. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
19. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>
20. Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации - <https://minobrnauki.gov.ru>
21. Официальный сайт Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки - <https://obrnadzor>
22. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.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	В-411, Учебная лаборатория «Вычислительный центр ТВТ»	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, шкаф для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, доска маркерная передвижная, компьютер персональный, 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

<p>Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря</p>	<p>В-417, Помещение учебно-вспомогательного персонала каф. "ТОТ"</p>	<p>персональный, принтер, кондиционер  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</p>
---	--	---

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### CFD-моделирование

(название дисциплины)

#### 8 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 – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	15
1	CFD-моделирование					
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 Логос (резерв - ANSYS), набор тестовых задач.			+	+	+
1.8	Численное моделирование теплообменного аппарата					+
Вес КМ, %:			15	25	30	30