

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

---

Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Термоядерные реакторы и плазменные установки

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная


**Рабочая программа дисциплины**  
**ТЕПЛОМАССОБМЕН В ОБОРУДОВАНИИ АЭС**

<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.04</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>5 семестр - 5; 6 семестр - 5; всего - 10</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>360 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>5 семестр - 32 часа; 6 семестр - 28 часа; всего - 60 часов</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>5 семестр - 32 часа; 6 семестр - 28 часа; всего - 60 часов</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>5 семестр - 16 часов; 6 семестр - 14 часов; всего - 30 часов</b>
<b>Консультации</b>	<b>5 семестр - 2 часа; 6 семестр - 2 часа; всего - 4 часа</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>5 семестр - 97,5 часа; 6 семестр - 107,5 часов; всего - 205,0 часов</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> Тестирование Контрольная работа Отчет Творческая задача	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
Экзамен	<b>5 семестр - 0,5 часа;</b>
Экзамен	<b>6 семестр - 0,5 часа;</b>
	<b>всего - 1,0 час</b>

**Москва 2024**

**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	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

А.В. Дедов

Заведующий выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

А.В. Дедов

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Усвоение научных основ теплообмена и методов их применения для анализа, расчета и оптимизации термогидродинамических процессов на АЭС и в других современных теплотехнологиях

### Задачи дисциплины

- обеспечение базовой и профессиональной теплотехнической подготовки, включающей освоение принципов и современных расчетных методов теплообмена для анализа, расчета и оптимизации процессов и установок в атомной энергетике и других современных теплотехнологиях;

- обучение методам расчета основных процессов теплообмена: теплопроводности в элементах конструкций, теплообмена при свободной и вынужденной конвекции, двухфазного теплообмена, теплообмена излучением;

- обучение основам расчета теплообменных аппаратов и принципам применения интенсификации теплопередачи;

- обучение основам компьютерного моделирования теплообменных процессов и установок..

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 Демонстрирует понимание основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	ИД-2ПК-1 Демонстрирует понимание основных законов теплообмена и применяет их для расчетов теплоэнергетических установок и систем	знать: - основные принципы теплообмена и методы математического моделирования теплообменных процессов и установок (5); - методики расчета процессов теплопроводности в элементах конструкций, теплообмена излучением (5); - методики расчета и принципы и методы интенсификации теплопередачи (5); - методики расчета процессов теплообмена при свободной и вынужденной конвекции, двухфазного теплообмена (6); - основные принципы теплообмена и методы математического моделирования теплообменных процессов и установок (6); - методики расчета теплообменных аппаратов энергетических установок и принципы и методы интенсификации теплопередачи (6).  уметь: - самостоятельно анализировать процессы теплообмена и

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		принимать оптимальные решения при конструировании и эксплуатации тепломассообменного оборудования энергетических установок (5); - разрабатывать компьютерные модели теплогидравлических процессов и выполнять численные эксперименты (6); - самостоятельно анализировать процессы тепломассообмена и принимать оптимальные решения при конструировании и эксплуатации тепломассообменного оборудования энергетических установок (6); - разрабатывать компьютерные модели теплогидравлических процессов и выполнять численные эксперименты (5).

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Термоядерные реакторы и плазменные установки (далее – ОПОП), направления подготовки 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Математика», «Физика (общая)», «Физика специальная», «Термодинамика», "Информационные технологии", "Инженерная и компьютерная графика”
- 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 10 зачетных единиц, 360 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	Теплопроводность и тепловое излучение (семестр №5)	144	5	32	16	32	-	-	-	-	-	64	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение</u></b>  <b><u>теоретического материала:</u></b> [9], стр. 5-21, [1], стр.17-27, 33; [3] с. 1-63 Тест № 1 (КМ-1)</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение</u></b>  <b><u>теоретического материала:</u></b> [1], стр. 50-54, 59-62, 70-85, 88; [9], стр.31-69. [3] с.67-94; [6] гл.10 с.1-49 Подготовка к лаб. работам №1 (КМ-3). Подготовка к КР №1 (КМ-2)                      Выполнение п. 1 и 2 расчетного задания (КМ-5)  <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> КМ-5  <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> КМ-1</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение</u></b>  <b><u>теоретического материала:</u></b> [1], стр. 107-111, 114-122, 124; [9], стр.90-111; [3] с.67-94; [6] гл.10 с.1-49 Подготовка к лаб. работам №2 (КМ-3,6) Выполнение п. 3 расчетного задания (КМ-5)  <b><u>Самостоятельное изучение</u></b>  <b><u>теоретического материала:</u></b> [1], стр. 458-467, 471; [9], стр.417-463. [6] гл.21 с.1-12, гл.22 с.1-33, гл.23, с. 1-18 Подготовка к лаб. работам №3, 4 (КМ-3, 6). Подготовка к КР № 2 (КМ-4).  <b><u>Самостоятельное изучение</u></b>  <b><u>теоретического материала:</u></b> [1], стр. 482-489, 491, 493-512; [9], стр.464-474, 480-484; [6] гл.21 с.1-12, гл.22 с.1-33, гл.23, с. 1-18</p>	
1.1	Введение в теплообмен. Способы переноса теплоты. Основные определения, терминология	6		2	-	2	-	-	-	-	-	-	2		-
1.2	Одномерные стационарные задачи теплопроводности	34		8	4	8	-	-	-	-	-	-	14		-
1.3	Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности	40		8	4	8	-	-	-	-	-	-	20		-
1.4	Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой	36		8	4	8	-	-	-	-	-	-	16		-
1.5	Теплообмен излучением между излучающе-поглощающей средой и поверхностями нагрева теплообменных	28		6	4	6	-	-	-	-	-	-	12		-

	устройств												Проработка и повторение лекционного материала <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> КМ-5 <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> КМ-2 <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], разделы 1, 2, 10, 11 [3], 1-50 [4], с.1-25с. 1-63 [9], раздел Нестационарная теплопроводность [12], 1-40 [13], 230-300 [14], стр. 5-21стр.31-69стр.90-111стр.417-463стр.464-474, 480-484 [15], 1-70 [16], 1-65 [17], стр.17-27, 33стр. 50-54, 59-62, 70-85, 88стр. 107-111, 114-122, 124стр. 458-467, 471стр. 482-489, 491, 493-512	
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>180.0</b>		<b>32</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>64</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>180.0</b>		<b>32</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>97.5</b>			
2	Конвективный теплообмен (семестр №6)	144	6	28	14	28	-	-	-	-	-	74	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> КМ-5 <b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> КМ-6 <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> КМ-2
2.1	Введение в конвективный теплообмен	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> [1], стр. 126-145, 148, [9], стр.124-146; [3] с. 1-63; Тест № 1 (КМ-1)
2.2	Внешняя задача конвективного теплообмена	22		4	4	4	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> КМ-1 <b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> КМ-3
2.3	Конвективная теплоотдача при течении жидкости в трубах (каналах)	20		4	2	4	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> КМ-5 <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> [1], стр. 244-246, 259-265, 267, 278-284, 287, [9], стр.235-285; [4] с.1-124 Подготовка к лаб. работам №2 (КМ-3) Подготовка к КР №1 (КМ-2);
2.4	Теплоотдача при фазовых превращениях	34		8	4	8	-	-	-	-	-	14	-	Выполнение п. 1, 4 РЗ (КМ-5)



														[10], 150-170 [11], 3-64 [12], 1-40 [13], 120-140 [14], стр.124-146стр. 147-170, 182-234, 286-295стр.235-285стр.297-329, 330-368стр.502-533 стр. 369-416 [15], 1-70 [16], 1-65
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	180.0		28	14	28	-	2	-	-	0.5	74	33.5	
	Итого за семестр	180.0		28	14	28		2	-		0.5		107.5	
	<b>ИТОГО</b>	<b>360.0</b>	-	<b>60</b>	<b>30</b>	<b>60</b>		<b>4</b>	-		<b>1.0</b>		<b>205.0</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. Теплопроводность и тепловое излучение (семестр №5)

1.1. Введение в тепломассообмен. Способы переноса теплоты. Основные определения, терминология

Способы тепло- и массопереноса: теплопроводность, конвекция, излучение, диффузия. Феноменологический метод изучения явлений тепло- и массообмена. Определение основных понятий: температурное поле, градиент температуры, тепловой поток, плотность теплового потока. Вектор плотности теплового потока. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности газов, жидкостей и твёрдых тел. Тепловое взаимодействие потока жидкости с обтекаемой поверхностью твердого тела. Закон Ньютона-Рихмана. Теплопередача..

1.2. Одномерные стационарные задачи теплопроводности

Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности. Коэффициент температуропроводности. Перенос теплоты в плоской, цилиндрической и сферической стенке при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности. Теплопередача через однослойную и многослойную плоскую и цилиндрическую стенки. Термические сопротивления. Коэффициент теплопередачи. Критический диаметр тепловой изоляции. Выбор эффективной изоляции по её критическому диаметру. Влияние граничных условий на температурный режим цилиндрических многослойных трубопроводов. Расчет изменения температуры жидкости по длине трубопровода (Задача Шухова). Задача о прогреве полуограниченного массива. Температурное поле при наличии в теле источников теплоты (пластина, цилиндрический стержень, шар). Оребрение поверхности теплообмена как способ интенсификации процесса теплопередачи. Коэффициент эффективности ребра. Перенос теплоты по стержню (ребру). Тепловой поток с поверхности стержня (ребра). Теплопередача через оребренную стенку..

1.3. Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности

Нестационарные задачи теплопроводности. Метод разделения переменных решения линейного уравнения теплопроводности (метод Фурье). Понятие о подобных процессах теплопроводности. Безразмерная форма задачи о нестационарном температурном поле в охлаждаемой пластине. Число Био. Безразмерное время (число Фурье). Температурное поле в процессе охлаждения (нагрева) бесконечно длинного цилиндра и некоторых тел конечных размеров. Регулярный режим охлаждения. Определение теплофизических свойств материалов методом регулярного режима. Теоремы Кондратьева..

1.4. Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой

Физическая природа теплового излучения. Классификация потоков излучения. Формула Поляка. Интегральные и спектральные характеристики энергии излучения: поток, плотность потока и интенсивность излучения. Излучение реальных тел, идеальные тела. Законы излучения абсолютно черного тела. Законы Ламберта, Кирхгофа, понятие диффузной поверхности излучения и серого тела. Лучистый теплообмен в замкнутой системе серых тел, разделенных диатермичной средой. Угловые коэффициенты излучения. Лучистый теплообмен между двумя безграничными пластинами; телом и оболочкой; экранирование излучения. Теоретические основы современных зональных методов расчёта теплообмена излучением. Интегральные уравнения излучения..

1.5. Теплообмен излучением между излучающе–поглощающей средой и поверхностями нагрева теплообменных устройств

Приближенный расчет лучистого теплообмена в замкнутой системе тел, разделенных излучающе–поглощающей средой (серое приближение). Расчёт теплообмена в системе типа

«газ в оболочке». Закон Бугера. Определение поглотительной способности и степени черноты среды (продуктов сгорания). Эффективная длина луча. Понятие о методах расчёта сложного теплообмена (радиационно-кондуктивного и радиационно-конвективного)..

## 2. Конвективный теплообмен (семестр №6)

### 2.1. Введение в конвективный теплообмен

Математическое описание процесса конвективного теплообмена: дифференциальные уравнения энергии, движения, неразрывности, обобщенное дифференциальное уравнение. Условия однозначности, уравнение теплоотдачи. Понятие пограничного слоя. Гидродинамический и тепловой пограничный слой. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена в приближении пограничного слоя. Качественный анализ характеристик пограничного слоя. Безразмерный вид математического описания конвективного теплообмена. Безразмерные комплексы: число Рейнольдса, число Грасгофа, число Релея, число Нуссельта. Физические свойства жидкостей и газов, существенные для процесса конвективного теплообмена. Классификация теплоносителей по числу Прандтля. Экспериментальное изучение процессов конвективного теплообмена. Применение методов теории подобия и размерности для теплового моделирования. Пи – теорема. Уравнения подобия. Турбулентность. Рейнольдсовы преобразования дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Турбулентная теплопроводность. Турбулентная вязкость. Турбулентное число Прандтля..

### 2.2. Внешняя задача конвективного теплообмена

Теплообмен и сопротивление при ламинарном и турбулентном пограничном слое на пластине. Задачи Блазиуса и Польгаузена. Аналогия Рейнольдса. Теплообмен при вынужденном внешнем обтекании трубы и пучка труб. Теплоотдача при свободном движении жидкости около тел (пластина, труба), находящихся в неограниченном объёме жидкости. Свободная конвекция в ограниченном объёме (щели, зазоры)..

### 2.3. Конвективная теплоотдача при течении жидкости в трубах (каналах)

Теплообмен при движении теплоносителей в трубах и каналах. Первое начало термодинамики для течения в трубах. Местный и средний коэффициенты теплоотдачи. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении в трубе. Вязкостный и вязкостно-гравитационный режимы. Учет начального участка, граничных условий. Число Пекле. Задача Гретца-Нуссельта. Интеграл Лайона. Турбулентное движение в трубах. Применение аналогии Рейнольдса для получения расчетных соотношений. Число Стантона. Формулы Диттуса-Белтера, Михеева, Петухова, Пуазейля, Блазиуса и Филоненко. Диаграмма Моуди. Расчет коэффициента теплопередачи. Формула Шухова. Особенности теплообмена при течении жидких металлов, сжимаемого газа, сверхкритического флюида. Интенсификация конвективного теплообмена при течении теплоносителя в трубах и каналах..

### 2.4. Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя

Теплообмен при кипении жидкости. Кривая кипения. Пузырьковое и плёночное кипение на поверхности. Критический радиус пузырька. Расчёт коэффициента теплоотдачи при пузырьковом кипении на поверхности в большом объёме. Формулы Лабунцова, Розенау. Критические тепловые нагрузки при кипении. Формулы Кутателадзе, Зубера. Теплоотдача при плёночном кипении. Формула Бромли. Кипение в трубах. Режим течения парожидкостной смеси. Гидродинамика и теплообмен при кипении в трубах. Кризисы теплоотдачи первого и второго рода. Расчёт коэффициентов запаса до кризиса. Теплообмен при конденсации пара. Плёночная и капельная конденсация. Теория Нуссельта. Поправочные коэффициенты к теории Нуссельта по Д.А. Лабунцову (на волновое течение и

переменность физических свойств конденсата). Турбулентное течение плёнки конденсата – расчёт коэффициента теплоотдачи (размерная и безразмерная формулировка). Влияние влажности и перегрева пара, примесей воздуха в паре..

### 2.5. Теплообменные аппараты

Классификация теплообменных аппаратов. Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Среднеарифметический температурный напор. Прямоток, противоток, сложные схемы движения теплоносителей. Конструкторский и поверочный тепловые расчеты рекуперативного теплообменника. Метод среднеарифметического температурного напора расчета теплообменных аппаратов. Понятие эффективности ( $\epsilon$ ) теплообменного аппарата и числа единиц переноса (NTU). Метод  $\epsilon - NTU$  расчета теплообменного аппарата. Оценка максимальной теплопроизводительности теплообменного аппарата. Сравнение прямого и противотока, предельные случаи. Теплогидравлический расчет теплообменника типа «труба в трубе» и пластинчатого теплообменника. Понятие о расчёте смешительных теплообменников и о расчёте регенеративных теплообменных аппаратов..

### 2.6. Основные понятия массообмена

Концентрационная диффузия (массы). Вектор плотности потока массы. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Термо и бародиффузия. Дифференциальные уравнения совместных процессов массо- и теплообмена. Диффузионный пограничный слой. Аналогия процессов массо- и теплообмена. Диффузионные аналоги чисел Нуссельта и Прандтля. Соотношения материального и энергетического баланса для межфазной границы. Случай полупроницаемой межфазной границы. Формула Стефана. Стефанов поток. Массо- и теплообмен при испарении в парогазовую среду. Адиабатное испарение. Массо- и теплообмен при конденсации пара из парогазовой смеси..

## 3.3. Темы практических занятий

1. 8.Расчет теплоотдачи (теплопередачи) оребренной поверхности теплообмена (плоская стенка, цилиндрическая поверхность). (5 семестр);
2. 5.Расчет тепловых потерь теплоизолированного трубопровода. Критический диаметр тепловой изоляции. Выбор тепловой изоляции цилиндра. (5 семестр);
3. 4.Теплопередача через цилиндрическую и шаровую стенку. (5 семестр);
4. 3.Теплопередача через однослойную и многослойную стенку. (5 семестр);
5. 2.Теплопроводность плоского слоя при переменном коэффициенте теплопроводности. Многослойная стенка (5 семестр);
6. 13.Регулярный режим охлаждения (нагрева) тел. (5 семестр);
7. 13.Теплоотдача при плёночной конденсации пара на вертикальной поверхности. Смешанный режим течения пленки конденсата. Учет дополнительных факторов при расчете теплоотдачи при конденсации. (6 семестр);
8. 14.Законы теплового излучения абсолютно черного тела. Излучение (и поглощение) серых тел, реальных тел. (5 семестр);
9. 14.Тепло- и массообмен при испарении (и конденсации пара) в (из) парогазовую среду. (6 семестр);
10. 9.Нестационарные задачи теплопроводности. Метод Фурье применительно к телам простой геометрии. (5 семестр);
11. 5.Расчет теплоотдачи при течении жидкостей в каналах. (6 семестр);
12. 12.Расчет температурного поля в трехмерных телах простой геометрии. Количество теплоты, отданной телом в процессе охлаждения (нагрева) (5 семестр);
13. 1.Теплопроводность плоского слоя при постоянном коэффициенте теплопроводности. (5 семестр);
14. 10.Методы подобия и размерностей в задачах теплопроводности. Числа подобия. (5

- семестр);
15. 6. Особые случаи расчета теплоотдачи (теплоотдача жидких металлов, учет сжимаемости газа, сверхкритического состояния вещества). (6 семестр);
  16. 11. Расчет температурного поля в бесконечной пластине и цилиндре. (5 семестр);
  17. 8. Применение  $\varepsilon - NTU$  метода для проектного и поверочного расчета рекуперативных теплообменников, поинтервальный расчет теплообменника. Теплогидравлический расчет теплообменников различных типов. (6 семестр);
  18. 15. Расчет теплообмена излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой. Угловые коэффициенты излучения. Зональный метод расчета излучения в замкнутой системе тел. (5 семестр);
  19. 7. Температурное поле в ребре. Коэффициент эффективности ребра. (5 семестр);
  20. 11. Расчет теплоотдачи при течении и кипении в трубах (каналах). Кризисы кипения первого и второго рода. Расчет коэффициента запаса до кризиса. (6 семестр);
  21. 10. Расчет теплоотдачи при развитом пузырьковом и пленочном кипении в большом объеме. Кризис кипения первого рода. (6 семестр);
  22. 7. Основы расчета теплообменных аппаратов. Проектный и поверочный расчеты рекуперативных теплообменников. Метод среднелогарифмического температурного напора. (6 семестр);
  23. 16. Определение степени черноты и поглощательной способности газового объема. Расчет лучистого теплообмена в системе тело-оболочка в «сером» и «не сером» приближении. (5 семестр);
  24. 12. Теплоотдача при плёночной конденсации пара на вертикальной поверхности и горизонтальной трубе. Ламинарное течение пленки конденсата (6 семестр);
  25. 4. Концентрационная диффузия. Закон Фика. Расчет коэффициента массоотдачи и потока массы компонента на основе аналогии процессов тепло- и массообмена. (6 семестр);
  26. 3. Расчет теплоотдачи при свободном движении жидкости. (6 семестр);
  27. 2. Расчет теплоотдачи при внешнем обтекании тел (труба и пучки труб) (6 семестр);
  28. 9. Механизм кипения жидкостей. Расчет основных параметров кипящей жидкости. (6 семестр);
  29. 6. Температурное поле в телах с внутренними источниками теплоты. (5 семестр);
  30. 1. Расчет теплоотдачи при внешнем обтекании тел (пластина). Числа подобия. Уравнения подобия. (6 семестр).

### 3.4. Темы лабораторных работ

1. № 3. Исследование теплообмена излучением; (5 семестр);
2. №2. Методы нестационарной теплопроводности; (5 семестр);
3. № 4 Исследование теплообмена излучением; (5 семестр);
4. №1. Теплоотдача при вынужденной конвекции жидкости; (6 семестр);
5. №4. Теплоотдача при конденсации водяного пара; Испытание рекуперативного теплообменника (6 семестр);
6. №2. Теплоотдача при свободной конвекции жидкости; (6 семестр);
7. №3 Теплоотдача при кипении жидкости в большом объеме; ; (6 семестр);
8. №1. Методы стационарной теплопроводности; (5 семестр).

### 3.5 Консультации

#### Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "семестр №5"

2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "семестр №6"

### **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	
<b>Знать:</b>				
методики расчета теплообменных аппаратов энергетических установок и принципы и методы интенсификации теплопередачи (6)	ИД-2ПК-1		+	Отчет/Защита цикла лабораторных работ «Вынужденная и свободная конвекция» Творческая задача/Расчетное задание «Инженерные методы расчета теплообмена»
основные принципы теплообмена и методы математического моделирования теплообменных процессов и установок (6)	ИД-2ПК-1		+	Контрольная работа/Контрольная работа «Теплоотдача при свободной конвекции и массообмен при испарении»
методики расчета процессов теплообмена при свободной и вынужденной конвекции, двухфазного теплообмена (6)	ИД-2ПК-1		+	Контрольная работа/Контрольная работа «Теплоотдача и сопротивление при вынужденном обтекании пластины, трубы, пучка труб» Тестирование/Терминологический тест «Система дифференциальных уравнений сохранения конвективного теплообмена»
методики расчета и принципы и методы интенсификации теплопередачи (5)	ИД-2ПК-1	+		Тестирование/Терминологический тест «Введение в теплообмен»
методики расчета процессов теплопроводности в элементах конструкций, теплообмена излучением (5)	ИД-2ПК-1	+		Контрольная работа/Контрольная работа «Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки»
основные принципы теплообмена и методы математического моделирования теплообменных процессов и установок (5)	ИД-2ПК-1	+		Отчет/Защита цикла лабораторных работ «Теплопроводность» Творческая задача/Расчетное задание «Нестационарная теплопроводность и излучение»
<b>Уметь:</b>				
разрабатывать компьютерные модели	ИД-2ПК-1	+		Контрольная работа/Контрольная работа

теплогидравлических процессов и выполнять численные эксперименты (5)				«Внутренние источники. Интенсификация теплообмена (оребрение)»
самостоятельно анализировать процессы теплообмена и принимать оптимальные решения при конструировании и эксплуатации теплообменного оборудования энергетических установок (6)	ИД-2ПК-1		+	Отчет/Защита цикла лабораторных работ «Теплообмен при кипении/конденсации. Теплообменные аппараты»
разрабатывать компьютерные модели теплогидравлических процессов и выполнять численные эксперименты (6)	ИД-2ПК-1		+	Творческая задача/Расчетное задание «Инженерные методы расчета теплообмена»
самостоятельно анализировать процессы теплообмена и принимать оптимальные решения при конструировании и эксплуатации теплообменного оборудования энергетических установок (5)	ИД-2ПК-1		+	Отчет/Защита цикла лабораторных работ «Тепловое излучение» Творческая задача/Расчетное задание «Нестационарная теплопроводность и излучение»

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

##### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

###### **5 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Расчетное задание «Нестационарная теплопроводность и излучение» (Творческая задача)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа «Внутренние источники. Интенсификация теплообмена (оребрение)» (Контрольная работа)
2. Контрольная работа «Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки» (Контрольная работа)
3. Терминологический тест «Введение в теплообмен» (Тестирование)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита цикла лабораторных работ «Тепловое излучение» (Отчет)
2. Защита цикла лабораторных работ «Теплопроводность» (Отчет)

###### **6 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Расчетное задание «Инженерные методы расчета тепломассообмена» (Творческая задача)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа «Теплоотдача и сопротивление при вынужденном обтекании пластины, трубы, пучка труб» (Контрольная работа)
2. Контрольная работа «Теплоотдача при свободной конвекции и массообмен при испарении» (Контрольная работа)
3. Терминологический тест «Система дифференциальных уравнений сохранения конвективного тепломассообмена» (Тестирование)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита цикла лабораторных работ «Вынужденная и свободная конвекция» (Отчет)
2. Защита цикла лабораторных работ «Теплообмен при кипении/конденсации. Теплообменные аппараты» (Отчет)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

###### Экзамен (Семестр №5)

Экзамен. Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих В приложение к диплому выносятся оценка за 6 семестр

###### Экзамен (Семестр №6)

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



приложение к диплому выносятся оценки за 6 семестр. Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

В диплом выставляется оценка за 6 семестр.

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

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1 Печатные и электронные издания:

1. 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>;

2. Цветков, Ф. Ф. Задачник по тепломассообмену : учебное пособие для вузов по направлению 140100 "Теплоэнергетика" / Ф. Ф. Цветков, Р. В. Керимов, В. И. Величко . – 3-е изд., стер . – М. : Издательский дом МЭИ, 2010 . – 196 с. - ISBN 978-5-383-00468-5 .;

3. Солодов, А. П. Принципы тепломассообмена : учебное пособие по курсам "Основы теплообмена", "Тепломассообмен", "Тепломассообмен в энергетическом оборудовании АЭС" по направлениям "Техническая физика" и "Теплоэнергетика" / А. П. Солодов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2002 . – 96 с. - ISBN 5-7046-0774-8 .

<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=4317>;

4. Солодов, А. П. Тепломассообмен в энергетических установках. Инженерные методы расчета. Электронный курс : учебное пособие по курсам "Тепломассообмен", "Тепломассообмен 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://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=6989>;

5. Солодов, А. П. Математические модели пленочной конденсации : учебное пособие по курсам "Тепломассообмен", "Тепломассообмен в энергетическом оборудовании АЭС" по направлениям "Техническая физика" и "Теплоэнергетика" / А. П. Солодов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2011 . – 120 с. - ISBN 978-5-383-00643-6 .

<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=2896>;

6. Солодов, А. П. Тепломассообмен в энергетических установках. Ч.2 : учебно-методический комплекс.-Электрон. текстовые, граф. дан / А. П. Солодов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : МЭИ (ТУ), 2008 . – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) . - Систем. требования: Microsoft Word, Internet, Adobe Acrobat . – Загл. с этикетки диска .

<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=1564>;

7. Ягов, В. В. Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях : учебное пособие для вузов по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / В. В. Ягов . – М. : Издательский дом МЭИ, 2014 . – 542 с. - ISBN 978-5-383-00854-6 .;

8. Теплотехника : учебник для вузов по направлению "Энергомашиностроение" / А. М. Архаров, и др. ; Ред. А. М. Архаров, В. Н. Афанасьев . – 3-е изд., перераб. и доп . – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011 . – 792 с. - ISBN 978-5-7038-3370-4 .;

9. Исаченко, В. П. Теплопередача : Учебник для энергетических вузов и факультетов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел . – 4-е изд., перераб. и доп . – М. : Энергоиздат, 1981 . – 416 с.;

10. Лабунцов, Д. А. Механика двухфазных систем : учебное пособие для вузов по направлению "Техническая физика" / Д. А. Лабунцов, В. В. Ягов . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Издательский дом МЭИ, 2007 . – 384 с. - ISBN 978-5-383-00036-6 .

<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=5286>;

11. Петухов, Б. С. Теплообмен в ядерных энергетических установках : Учебное пособие для энергетических специальностей вузов / Б. С. Петухов, Л. Г. Генин, С. А. Ковалев . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Энергоатомиздат, 1986 . – 472 с.;
12. Практикум по теплопередаче : учебное пособие для теплоэнергетических специальностей вузов / Ред. А. П. Солодов . – М. : Энергоатомиздат, 1986 . – 296 с.;
13. 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 .;
14. Справочник по теплообменникам: В 2 т. Т.1. : пер. с англ. – М. : Энергоатомиздат, 1987 . – 560 с.;
15. 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 .;
16. 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 .;
17. 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).

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

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

## **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. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
9. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
10. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
11. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
12. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
13. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
14. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
15. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
16. 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
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	В-209/10, Учебная лаборатория теплообмена	рабочее место сотрудника, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, лабораторный стенд, компьютер персональный, принтер, инвентарь учебный, стенд информационный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	А-406, Учебная аудитория "А"	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-201, 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-209/2, Кабинет сотрудников каф. "ТОТ"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф для документов, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, многофункциональный центр, компьютер персональный, 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

### Тепломассообмен в оборудовании АЭС

(название дисциплины)

#### 5 семестр

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

- КМ-1 Терминологический тест «Введение в теплообмен» (Тестирование)
- КМ-2 Контрольная работа «Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки» (Контрольная работа)
- КМ-3 Защита цикла лабораторных работ «Теплопроводность» (Отчет)
- КМ-4 Контрольная работа «Внутренние источники. Интенсификация теплообмена (оребрение)» (Контрольная работа)
- КМ-5 Расчетное задание «Нестационарная теплопроводность и излучение» (Творческая задача)
- КМ-6 Защита цикла лабораторных работ «Тепловое излучение» (Отчет)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	4	8	9	12	15	16
1	Теплопроводность и тепловое излучение (семестр №5)							
1.1	Введение в тепломассообмен. Способы переноса теплоты. Основные определения, терминология		+	+	+	+	+	+
1.2	Одномерные стационарные задачи теплопроводности			+	+	+	+	
1.3	Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности				+		+	
1.4	Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой						+	+
1.5	Теплообмен излучением между излучающе-поглощающей средой и поверхностями нагрева теплообменных устройств						+	+
Вес КМ, %:			10	15	15	20	20	20

#### 6 семестр

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

- КМ-1 Терминологический тест «Система дифференциальных уравнений сохранения конвективного тепломассообмена» (Тестирование)
- КМ-2 Контрольная работа «Теплоотдача и сопротивление при вынужденном обтекании пластины, трубы, пучка труб» (Контрольная работа)
- КМ-3 Защита цикла лабораторных работ «Вынужденная и свободная конвекция» (Отчет)
- КМ-4 Контрольная работа «Теплоотдача при свободной конвекции и массообмен при испарении» (Контрольная работа)
- КМ-5 Расчетное задание «Инженерные методы расчета тепломассообмена» (Творческая задача)

КМ-6 Защита цикла лабораторных работ «Теплообмен при кипении/конденсации.  
Теплообменные аппараты» (Отчет)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	4	8	9	12	13	14
1	Конвективный теплообмен (семестр №6)							
1.1	Введение в конвективный теплообмен		+	+	+	+	+	
1.2	Внешняя задача конвективного теплообмена		+	+	+	+	+	
1.3	Конвективная теплоотдача при течении жидкости в трубах (каналах)				+		+	+
1.4	Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя						+	+
1.5	Теплообменные аппараты						+	+
1.6	Основные понятия массообмена					+	+	+
Вес КМ, %:			10	20	10	20	25	15