

**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: Технология воды и топлива на ТЭС и АЭС

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины
ТЕПЛОМАССООБМЕН**

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Обязательная
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.О.21
Трудоемкость в зачетных единицах:	4 семестр - 5; 5 семестр - 5; всего - 10
Часов (всего) по учебному плану:	360 часов
Лекции	4 семестр - 32 часа; 5 семестр - 32 часа; всего - 64 часа
Практические занятия	4 семестр - 32 часа; 5 семестр - 32 часа; всего - 64 часа
Лабораторные работы	4 семестр - 16 часов; 5 семестр - 16 часов; всего - 32 часа
Консультации	4 семестр - 2 часа; 5 семестр - 2 часа; всего - 4 часа
Самостоятельная работа	4 семестр - 97,5 часа; 5 семестр - 97,5 часа; всего - 195,0 часа
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Тестирование Решение задач Контрольная работа Лабораторная работа Расчетно-графическая работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	4 семестр - 0,5 часа;
Экзамен	5 семестр - 0,5 часа;
	всего - 1,0 час

Москва 2018

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Демьяненко В.Ю.
	Идентификатор	R3644612c-DemyanenkoVY-f130e2

(подпись)

В.Ю.

Демьяненко

(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 основ теории тепло- и массообмена как базовой дисциплины для освоения большинства дисциплин блока Б1; основ научно-технического подхода к процессам переноса теплоты и массы, протекающим в природе и технологических установках, привитие научно-технического взгляда на окружающий мир, развитие технического образа мышления

Задачи дисциплины

- овладеть основными научно-техническими идеями и физико-математическими моделями основных процессов тепло- и массообмена, базовыми методами расчета тепловых режимов элементов энергетических объектов;

- развить техническое мышление и закрепить практические навыки, приобретенные при изучении дисциплин математического и естественнонаучного циклов, с ориентацией на профессию.

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
ОПК-4 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	ИД-3 _{ОПК-4} Демонстрирует понимание основных законов тепломассообмена и применяет их для расчетов элементов теплотехнических установок и систем	знать: - основные положения теории теплопроводности, теплопроводность при стационарном режиме; - основные законы теплового излучения, теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой, теплообмен излучением в поглощающих и излучающих средах; - основные положения и уравнения теплового расчета тепломассообменных аппаратов; - закономерности теплообмена при фазовых превращениях; - терминологию тепломассообмена, физический смысл и размерности основных величин, используемых в тепломассообмене; - перенос теплоты в жидких и газообразных телах, законы сохранения и превращения энергии, законы и основные физико-математические модели процессов переноса теплоты и массы применительно к процессам передачи и трансформации теплоты. уметь: - решать задачи стационарной теплопроводности численными методами; - рассчитывать теплообмен излучением в системе тел, заполненных

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		<p>излучающей и поглощающей средой;</p> <ul style="list-style-type: none"> - экспериментального определения коэффициентов переноса теплоты (массы) в жидкостях и газах; - выполнять тепловые конструкторские и поверочные расчёты теплообменных аппаратов; - рассчитывать температурные поля и тепловые потоки в элементах конструкции тепловых и теплотехнологических установок с целью обеспечения нормального температурного режима работы элементов оборудования и минимизации потерь теплоты с использованием справочной литературы по теплофизическим свойствам твердых тел, жидкостей и газов; - проводить теплотехнические эксперименты с целью изучения процессов переноса теплоты в энергетических и теплотехнологических установках.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Технология воды и топлива на ТЭС и АЭС (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Базируется на уровне среднего общего образования.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 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	Введение в тепломассообмен. Способы переноса теплоты. Основные определения, терминология	8	4	2	-	2	-	-	-	-	-	4	-	<p><u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Введение в тепломассообмен. Способы переноса теплоты. Основные определения, терминология" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Введение в тепломассообмен. Способы переноса теплоты. Основные определения, терминология" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Для подготовки и освоения материала необходимо выучить термины и определения в рамках теплопроводности</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр.11-16 [2], стр.5-21</p>
1.1	Способы переноса теплоты. Основные определения, терминология	8		2	-	2	-	-	-	-	-	4	-	

													теплопроводности" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр.17-36 [2], стр.24-73 [3], п.1 [6], п.1	
3	Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности	30		6	4	6	-	-	-	-	-	14	-	<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности" материалу.
3.1	Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности	30		6	4	6	-	-	-	-	-	14	-	<u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности"

														<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр.90-106 [2], стр.74-105 [3], п.2 [6], п.6
4	Введение в численные методы решения задач теплопроводности	16	4	-	4	-	-	-	-	-	8	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Введение в численные методы решения задач теплопроводности"	
4.1	Введение в численные методы решения задач теплопроводности	16	4	-	4	-	-	-	-	-	8	-	<u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Введение в численные методы решения задач теплопроводности" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <u>Подготовка курсовой работы:</u> Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Пример задания: <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Введение в численные методы решения задач теплопроводности" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Введение в численные методы решения задач теплопроводности"	

														<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр.70-82 [2], стр.107-117 [6], п.10
5	Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой	34	6	8	6	-	-	-	-	-	14	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой"	
5.1	Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой	34	6	8	6	-	-	-	-	-	14	-	<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой" материалу. <u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу	

														"Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр.438-455 [2], стр.361-419 [3], п.10
6	Основы расчета теплообмена излучением между излучающе-поглощающей средой и поверхностями нагрева теплообменных устройств	28	8	-	8	-	-	-	-	-	12	-	-	<u>Подготовка расчетных заданий:</u> Расчёт тепловых потоков излучения и температуры поверхностей в замкнутой системе простой геометрии. <u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Основы расчета теплообмена излучением между излучающе-поглощающей средой и поверхностями нагрева теплообменных устройств" материалу.
6.1	Основы расчета теплообмена излучением между излучающе-поглощающей средой и поверхностями нагрева теплообменных устройств	28	8	-	8	-	-	-	-	-	12	-	-	<u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Основы расчета теплообмена излучением между излучающе-поглощающей средой и поверхностями нагрева теплообменных устройств" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Основы расчета теплообмена излучением между

													излучающе-поглощающей средой и поверхностями нагрева теплообменных устройств" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основы расчета теплообмена излучением между излучающе-поглощающей средой и поверхностями нагрева теплообменных устройств" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр.464-482 [2], стр.420-440 [3], п.11	
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	180.0		32	16	32	-	2	-	-	0.5	64	33.5	
	Итого за семестр	180.0		32	16	32	2		-		0.5	97.5		
7	Введение в конвективный теплообмен	16	5	6	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Введение в конвективный теплообмен" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.
7.1	Введение в конвективный теплообмен	16		6	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Введение в конвективный теплообмен" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Введение в конвективный теплообмен"

													дополнительного материала по разделу "Конвективная теплоотдача при течении жидкости в трубах (каналах)" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр.235-281 [2], стр.200-221 [3], п.5
10	Теплообменные аппараты	26	4	4	6	-	-	-	-	-	12	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Теплообменные аппараты"
10.1	Теплообменные аппараты	26	4	4	6	-	-	-	-	-	12	-	<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Теплообменные аппараты" материалу. <u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Теплообменные аппараты" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Теплообменные аппараты" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Теплообменные аппараты"

														<p><u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Теплообменные аппараты". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач, провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения:</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p> <p>[1], стр.502-519 [2], стр.441-464 [3], п.12</p>
11	Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя	34	8	4	8	-	-	-	-	-	14	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя"</p>	
11.1	Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя	34	8	4	8	-	-	-	-	-	14	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя"</p> <p><u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя" материалу.</p> <p><u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и</p>	

	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	180.0		32	16	32	-	2	-	-	0.5	64	33.5	
	Итого за семестр	180.0		32	16	32	2		-		0.5		97.5	
	ИТОГО	360.0	-	64	32	64	4		-		1.0		195.0	

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. Введение в теплообмен. Способы переноса теплоты. Основные определения, терминология

1.1. 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 (теплоотдача). Теплопередача.

2. Элементы теории теплопроводности. Одномерные стационарные задачи теплопроводности

2.1. Элементы теории теплопроводности. Одномерные стационарные задачи теплопроводности

Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности. Коэффициент температуропроводности. Перенос теплоты в плоской стенке при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности. Теплопередача через однослойную и многослойную плоскую стенку. Термические сопротивления. Коэффициент теплопередачи. Перенос теплоты в цилиндрической стенке при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности. Теплопередача через однослойную и многослойную цилиндрическую стенку. Критический диаметр тепловой изоляции. Выбор эффективной изоляции по её критическому диаметру. Температурное поле при наличии в теле источников теплоты (пластина, цилиндрический стержень). Оребрение поверхности нагрева как способ интенсификации процесса теплопередачи. Теплопередача через оребренную стенку. Коэффициент эффективности ребра. Перенос теплоты по стержню (ребру). Тепловой поток с поверхности стержня (ребра).

3. Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности

3.1. Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности

Нестационарные задачи теплопроводности. Метод разделения переменных решения линейного уравнения теплопроводности (Фурье). Безразмерная форма и решение задачи о нестационарном температурном поле в охлаждаемой пластине. Число Био. Безразмерное время (число Фурье). Анализ решения. Температурное поле в процессе охлаждения (нагревания) бесконечно длинного цилиндра и некоторых тел конечных размеров. Задача об охлаждении (нагревании) полуограниченного тела как модель начального периода нестационарной теплопроводности тела произвольной формы. Регулярный режим охлаждения. Экспериментальное определение теплофизических свойств материалов методом регулярного режима. Теоремы Кондратьева.

4. Введение в численные методы решения задач теплопроводности

4.1. Введение в численные методы решения задач теплопроводности

Итеративные и вариативные методы решения дифференциальных уравнений математической физики. Метод контрольного объёма (Патанкар) применительно к решению одномерных стационарных и нестационарных задач теплопроводности.

5. Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой

5.1. 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.

6. Основы расчета теплообмена излучением между излучающе-поглощающей средой и поверхностями нагрева теплообменных устройств

6.1. Основы расчета теплообмена 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).

7. Введение в конвективный теплообмен

7.1. Введение в конвективный теплообмен

Математическое описание процесса конвективного теплообмена: дифференциальные уравнения энергии, движения, неразрывности. Условия однозначности, уравнение теплоотдачи. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена в приближении 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. Тепловое моделирование. Элементы теории подобия и размерности. Пи – теорема. Турбулентность. Рейнольдсовы преобразования дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Турбулентная теплопроводность. Турбулентная вязкость. Турбулентное число Прандтля.

8. Внешняя задача конвективного теплообмена. Свободная и вынужденная конвекция

8.1. Внешняя задача конвективного теплообмена. Свободная и вынужденная конвекция

Теплообмен и сопротивление при ламинарном и турбулентном пограничном слое на пластине. Задачи Блазиуса и Польгаузена. Аналогия Рейнольдса. Теплообмен при вынужденном внешнем поперечном 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).

9. Конвективная теплоотдача при течении жидкости в трубах (каналах)

9.1. 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. Турбулентное движение в трубах. Формулы Михеева и Петухова. Интеграл Лайона. Теплоотдача при течении жидких металлов. Интенсификация конвективного теплообмена при течении теплоносителя в трубах и каналах.

10. Теплообменные аппараты

10.1. Теплообменные аппараты

Классификация теплообменных аппаратов. Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Среднелогарифмический температурный напор. Прямоток, противоток, сложные схемы движения теплоносителей. Конструкторский и поверочный тепловые расчеты рекуперативного теплообменника. Сравнение прямотока и противотока. Гидравлическое сопротивление теплообменных аппаратов. Понятие о расчёте смесительных теплообменников и о расчёте регенеративных теплообменных аппаратов.

11. Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя

11.1. Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя

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 (формула Лабунцова). Влияние скорости пара, состояния поверхности, влажности и перегрева пара, примесей воздуха в паре. Теплообмен при кипении жидкостей. Кривая кипения. Пузырьковое и плёночное кипение. Критический радиус пузырька. Скорость роста пузырька. Отрывной диаметр пузырька. Частота отрыва пузырьков. Расчёт коэффициента теплоотдачи при пузырьковом кипении в большом объёме. Критические тепловые нагрузки при кипении. Теплоотдача при плёночном кипении. 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.

12. Основные понятия массообмена

12.1. 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.

3.3. Темы практических занятий

1. Зональный метод расчета излучения в замкнутой системе тел, разделённых изучающе-поглощающей средой;
2. Система уравнений конвективного теплообмена в приближении пограничного слоя;
3. Методы подобия и размерностей в задачах теплопроводности и конвективного теплообмена. Числа подобия. Критериальные уравнения;
4. Основы расчета теплообменных аппаратов. Уравнения теплового баланса, теплопередачи, среднего температурного напора применительно к рекуперативным теплообменным аппаратам. Методика расчета поверхности теплопередачи;
5. Проектный расчёт теплообменного аппарата по эффективности и числу единиц переноса теплоты. Основы методики гидравлического расчёта теплообменника;
6. Внешняя задача конвективного теплообмена. Вынужденная конвекция;
7. Внешняя задача конвективного теплообмена. Свободная конвекция;

8. Расчет теплоотдачи при кипении жидкости, движущейся в трубах. Кризис кипения второго рода. Граничное паросодержание. Расчет запаса до кризиса кипения;
9. Конвективная теплоотдача при турбулентном течении жидкости в трубах (каналах);
10. Особенности конвективной теплоотдачи при течении жидких металлов, сжимаемого газа;
11. Теплоотдача при плёночной конденсации пара на вертикальной поверхности (трубе). Ламинарное течение пленки конденсата, формула Нуссельта. Ламинарно-волновое течение, поправка Капицы. Безразмерные уравнения для расчёта КТО;
12. Теплоотдача при смешанном течении плёнки, учёт влияния переменности свойств, влажности, перегрева пара, ориентации поверхности;
13. Расчет теплоотдачи при развитом пузырьковом и пленочном кипении в большом объёме. Кризис кипения первого рода;
14. Определение степени черноты и поглощательной способности газового объёма с использованием номограмм Хоттеля;
15. Конвективная теплоотдача при ламинарном течении жидкости в трубах (каналах). Теплоотдача на начальном участке и участке стабилизированного теплообмена;
16. Расчет лучистого теплообмена в системе тело-оболочка в «сером» и «не сером» приближении;
17. Вводное занятие, определения, терминология;
18. Зональный метод расчета излучения в замкнутой системе N тел;
19. Основные понятия массообмена. Концентрационная диффузия. Закон Фика.;
20. Законы Фурье, Ньютона, Фика, Ньютона-Рихмана, Стефана-Больцмана;
21. Стационарная теплопередача через многослойную плоскую стенку при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности слоёв. Тепловой закон Ома, понятие о термическом сопротивлении теплопроводности, теплоотдачи, теплопередачи;
22. Стационарная теплопередача через многослойную цилиндрическую стенку при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности слоёв. Линейная плотность теплового потока, линейный коэффициент теплопередачи. Критический диаметр тепловой изоляции, выбор изоляции по критическому диаметру;
23. Температурные поля и тепловые потоки в телах с внутренними источниками теплоты;
24. Интенсификация теплоотдачи за счёт развития поверхности теплообмена;
25. Закон Бугера, расчет поглощательной способности и степени черноты серого газа, оптическая толщина слоя, понятие длины пути луча;
26. Метод Фурье расчёта нестационарного температурного поля в безграничной плоской пластине при симметричных граничных условиях третьего типа. Безразмерные обобщённые переменные, безразмерное время - число Фурье, параметр Био;
27. Расчёт температурного поля в телах простой геометрии, перемножение решений, расчет количества теплоты, отданной (полученной) телом за заданный промежуток времени;
28. Регулярный режим охлаждения тела;
29. Получение дискретного аналога стационарного дифференциального уравнения теплопроводности на примере задачи об охлаждении плоской стенки с внутренним источником теплоты;
30. Решение системы уравнений дискретного аналога для задачи об охлаждении плоской стенки с внутренним источником теплоты методом прогонки. Решение этой же задачи с помощью процедуры Pdsolve, сравнение результатов;
31. Законы теплового излучения абсолютно черного тела. Излучение (и поглощение) серых тел, реальных тел;
32. Расчет теплообмена излучением в замкнутой системе двух серых тел, разделенных лучепрозрачной средой. Угловые коэффициенты излучения, их свойства и вычисление;
33. Расчёт температурного поля в длинном цилиндре конечного радиуса при

симметричных граничных условиях третьего типа;

34. Расчет коэффициента массоотдачи и потока массы компонента на основе аналогии процессов тепло- и массообмена.

3.4. Темы лабораторных работ

1. Лабораторная работа № 8» Теплоотдача при кипении жидкостей в большом объеме». (4 часа);
2. Лабораторная работа № 7 «Теплоотдача при течении жидкости в трубах (каналах)». (4 часа);
3. Лабораторная работа № 6 «Теплоотдача при свободной и вынужденной конвекции жидкости» (4 часа);
4. Лабораторная работа № 5 «Испытание рекуперативного теплообменника» – 1 работа (4 часа);
5. Лабораторная работа № 4 «Определение средних угловых коэффициентов излучения» (4 часа);
6. Лабораторная работа № 3 «Определение степени черноты тела калориметрическим методом» (4 часа);
7. Лабораторная работа № 2 «Методы нестационарной теплопроводности» (4 часа);
8. Лабораторная работа № 1 «Методы стационарной теплопроводности» (4 часа).

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Введение в тепломассообмен. Способы переноса теплоты. Основные определения, терминология"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Элементы теории теплопроводности. Одномерные стационарные задачи теплопроводности"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Введение в численные методы решения задач теплопроводности"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы расчета теплообмена излучением между излучающе-поглощающей средой и поверхностями нагрева теплообменных устройств"
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Введение в конвективный теплообмен"
8. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Внешняя задача конвективного теплообмена. Свободная и вынужденная конвекция"
9. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Конвективная теплоотдача при течении жидкости в трубах (каналах)"
10. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Теплообменные аппараты"
11. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя"
12. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основные понятия массообмена"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)												Оценочное средство (тип и наименование)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Знать:															
перенос теплоты в жидких и газообразных телах, законы сохранения и превращения энергии, законы и основные физико-математические модели процессов переноса теплоты и массы применительно к процессам передачи и трансформации теплоты	ИД-3ОПК-4								+	+					Тестирование/Тест № 5 «Конвективный теплообмен»
терминологию тепломассообмена, физический смысл и размерности основных величин, используемых в тепломассообмене	ИД-3ОПК-4	+													Тестирование/Тест № 1 «Введение в тепломассообмен» «Введение в ТМО»
закономерности теплообмена при фазовых превращениях	ИД-3ОПК-4											+	+		Тестирование/Тест № 6 «Фазовые переходы»
основные положения и уравнения теплового расчета тепломассообменных аппаратов	ИД-3ОПК-4										+				Тестирование/Тест № 4 «Теплообменники»
основные законы теплового излучения, теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой, теплообмен излучением в поглощающих и излучающих средах	ИД-3ОПК-4					+									Тестирование/Тест № 3 «Излучение»
основные положения теории теплопроводности, теплопроводность при стационарном режиме	ИД-3ОПК-4		+												Решение задач/Тест №2 «Типовые задачи теплопроводности»
Уметь:															
проводить теплотехнические эксперименты с целью изучения процессов переноса теплоты в энергетических и теплотехнологических установках	ИД-3ОПК-4		+	+		+									Лабораторная работа/Защита лабораторных работ № 1-4

рассчитывать температурные поля и тепловые потоки в элементах конструкции тепловых и тепло-технологических установок с целью обеспечения нормального температурного режима работы элементов оборудования и минимизации потерь теплоты с использованием справочной литературы по теплофизическим свойствам твердых тел, жидкостей и газов	ИД-3ОПК-4			+	+											Расчетно-графическая работа/Защита расчётного задания № 1
выполнять тепловые конструкторские и поверочные расчёты теплообменных аппаратов	ИД-3ОПК-4									+	+	+	+			Расчетно-графическая работа/Защита расчётного задания № 3
экспериментального определения коэффициентов переноса теплоты (массы) в жидкостях и газах	ИД-3ОПК-4								+	+	+	+	+			Лабораторная работа/Защита лабораторных работ № 5-8
рассчитывать теплообмен излучением в системе тел, заполненных излучающей и поглощающей средой	ИД-3ОПК-4					+	+									Расчетно-графическая работа/Защита расчётного задания № 2
решать задачи стационарной теплопроводности численными методами	ИД-3ОПК-4					+										Контрольная работа/Контрольная работа № 1. «Построение дискретного аналога краевой 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

4 семестр

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Контрольная работа № 1. «Построение дискретного аналога краевой задачи» (Контрольная работа)
2. Тест № 1 «Введение в тепломассообмен» «Введение в ТМО» (Тестирование)
3. Тест № 3 «Излучение» (Тестирование)
4. Тест №2 «Типовые задачи теплопроводности» (Решение задач)

Форма реализации: Защита задания

1. Защита расчётного задания № 1 (Расчетно-графическая работа)
2. Защита расчётного задания № 2 (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита лабораторных работ № 1-4 (Лабораторная работа)

5 семестр

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Тест № 4 «Теплообменники» (Тестирование)
2. Тест № 5 «Конвективный теплообмен» (Тестирование)
3. Тест № 6 «Фазовые переходы» (Тестирование)

Форма реализации: Защита задания

1. Защита расчётного задания № 3 (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита лабораторных работ № 5-8 (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №4)

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

Экзамен (Семестр №5)

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

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. Теплообмен : Учебное пособие для вузов по энергетическим специальностям / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев . – М. : Изд-во МЭИ, 2001 . – 550 с. - ISBN 5-7046-0569-9 .;
2. 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.;
3. Цветков, Ф. Ф. Задачник по теплообмену : 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 .;
4. Практикум по теплопередаче : учебное пособие для теплоэнергетических специальностей вузов / Ред. А. П. Солодов . – М. : Энергоатомиздат, 1986 . – 296 с.;
5. Александров, А. А. Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики : справочник / А. А. Александров, К. А. Орлов, В. Ф. Очков . – М. : Издательский дом МЭИ, 2009 . – 224 с. - ISBN 978-5-383-00405-0 .;
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/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=6989.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office;
3. Windows;
4. MathCad.

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных 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. 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-308, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, трибуна, доска меловая, микрофон, экран, доска маркерная, техническая аппаратура, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения	А-302, Учебная аудитория "А"	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая

практических занятий, КР и КП		
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	В-209/11, Учебная лаборатория теплообмена	рабочее место сотрудника, стол преподавателя, стул, шкаф для хранения инвентаря, лабораторный стенд, компьютер персональный, инвентарь специализированный, стенд информационный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	А-302, Учебная аудитория "А"	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
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

Тепломассообмен

(название дисциплины)

4 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Тест № 1 «Введение в тепломассообмен» «Введение в ТМО» (Тестирование)
- КМ-2 Тест №2 «Типовые задачи теплопроводности» (Решение задач)
- КМ-3 Контрольная работа № 1. «Построение дискретного аналога краевой задачи» (Контрольная работа)
- КМ-4 Тест № 3 «Излучение» (Тестирование)
- КМ-5 Защита лабораторных работ № 1-4 (Лабораторная работа)
- КМ-6 Защита расчётного задания № 1 (Расчетно-графическая работа)
- КМ-7 Защита расчётного задания № 2 (Расчетно-графическая работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
		Неделя КМ:	4	7	10	12	14	15	16
1	Введение в тепломассообмен. Способы переноса теплоты. Основные определения, терминология								
1.1	Способы переноса теплоты. Основные определения, терминология		+						
2	Элементы теории теплопроводности. Одномерные стационарные задачи теплопроводности								
2.1	Элементы теории теплопроводности. Одномерные стационарные задачи теплопроводности			+			+	+	
3	Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности								
3.1	Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности						+	+	
4	Введение в численные методы решения задач теплопроводности								
4.1	Введение в численные методы решения задач теплопроводности				+				
5	Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой								
5.1	Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой					+	+		+

6	Основы расчета теплообмена излучением между излучающе-поглощающей средой и поверхностями нагрева теплообменных устройств							
6.1	Основы расчета теплообмена излучением между излучающе-поглощающей средой и поверхностями нагрева теплообменных устройств							+
Вес КМ, %:		10	20	20	20	10	10	10

5 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Тест № 5 «Конвективный теплообмен» (Тестирование)
 КМ-2 Тест № 4 «Теплообменники» (Тестирование)
 КМ-3 Тест № 6 «Фазовые переходы» (Тестирование)
 КМ-4 Защита лабораторных работ № 5-8 (Лабораторная работа)
 КМ-5 Защита расчётного задания № 3 (Расчетно-графическая работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	5	11	14	15	16
1	Введение в конвективный теплообмен						
1.1	Введение в конвективный теплообмен		+			+	
2	Внешняя задача конвективного теплообмена. Свободная и вынужденная конвекция						
2.1	Внешняя задача конвективного теплообмена. Свободная и вынужденная конвекция		+			+	+
3	Конвективная теплоотдача при течении жидкости в трубах (каналах)						
3.1	Конвективная теплоотдача при течении жидкости в трубах (каналах)					+	+
4	Теплообменные аппараты						
4.1	Теплообменные аппараты			+		+	+
5	Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя						
5.1	Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя				+	+	+
6	Основные понятия массообмена						
6.1	Основные понятия массообмена				+		

Bec KM, %:	20	20	20	10	30
------------	----	----	----	----	----