

**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: Теплоэнергетика и теплотехника

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.22
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: Контрольная работа Лабораторная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	4 семестр - 0,5 часа;
Экзамен	5 семестр - 0,5 часа;
	всего - 1,0 час

Москва 2022

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Шевченко И.В.
	Идентификатор	R0722806b-ShevchenkoIv-73cb47

И.В. Шевченко

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b

А.Н. Рогалев

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b

А.Н. Рогалев

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение закономерностей переноса теплоты для процессов теплопроводности, конвекции, теплового излучения, теплообмена при фазовых переходах и массообмена

Задачи дисциплины

- изучение методов исследования процессов теплообмена;
- получение информации о методах расчета количественных характеристик процессов теплообмена для основных видов переноса теплоты (теплопроводность, конвекция, излучение), а также при наличии фазовых переходов и массообмена;
- приобретение навыков применения этих методов для решения различных прикладных задач, возникающих в инженерной практике.

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 теплообмена и применяет их для расчетов элементов теплотехнических установок и систем	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none">- основные механизмы переноса теплоты и их особенности в различных системах;- способы расчета температурного поля при теплопроводности в твердых телах и передаваемого теплового потока;- способы расчета теплового потока между телами различной формы при теплообмене излучением;- особенности процессов переноса тепла и массы в многокомпонентных системах. <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none">- вычислять коэффициент теплоотдачи при пленочной конденсации на различных поверхностях;- вычислять коэффициент теплоотдачи при вынужденной и естественной конвекции;- участвовать в экспериментальных исследованиях процессов теплообмена и обработке результатов экспериментов;- вычислять коэффициент теплоотдачи при кипении в большом объеме и при движении кипящей жидкости.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Теплоэнергетика и теплотехника (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	Основы теории теплообмена	144	4	32	16	32	-	-	-	-	-	64	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Основы теории теплообмена"</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основы теории теплообмена"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 319-512 [2], 33-256 [3], 56-78 [4], 99-191 [5], 158-498</p>	
1.1	Введение.	36		8	4	8	-	-	-	-	-	16	-		
1.2	Теплопроводность	36		8	4	8	-	-	-	-	-	16	-		
1.3	Конвективный теплообмен	36		8	4	8	-	-	-	-	-	16	-		
1.4	Теплообмен излучением	36		8	4	8	-	-	-	-	-	16	-		
	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				
2	Основы переноса тепла и массы	144	5	32	16	32	-	-	-	-	-	64	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основы переноса тепла и массы"</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Основы переноса тепла и массы"</p> <p><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы</p>	
2.1	Массообмен	36		8	4	8	-	-	-	-	-	16	-		
2.2	Теплообмен при конденсации	36		8	4	8	-	-	-	-	-	16	-		
2.3	Теплообмен при кипении	36		8	4	8	-	-	-	-	-	16	-		
2.4	Изучение теплоотдачи при кипении	36		8	4	8	-	-	-	-	-	16	-		

													<i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i> [1], 25-318 [2], 33-256 [3], 3-55 [4], 5-98 [5], 13-157
	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; 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. Основы теории теплообмена

1.1. Введение.

Основные способы переноса теплоты..

1.2. Теплопроводность

Основные положения теории теплопроводности. Температурное поле, изотермические поверхности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Закон Фурье. Теплопроводность различных веществ. Условия однозначности.. Стационарная теплопроводность одно- и многослойной стенок простейшей геометрии. Интенсификация теплопередачи. Эффективность оребрения. Теплопроводность ребер. Теплопроводность при наличии внутренних источников теплоты.. Нестационарная теплопроводность. Нестационарный перенос тепла теплопроводностью в полубесконечном теле. Особенности многомерных задач теплопроводности..

1.3. Конвективный теплообмен

Основные понятия и определения. Классификация процессов. Дифференциальное уравнение энергии. Система уравнений конвективного теплообмена. Теплообмен при вынужденном внешнем обтекании тел. Особенности конвективного теплообмена при течении в каналах. Теплообмен при естественной конвекции около вертикальной пластины и горизонтальной трубы при ламинарном и турбулентном пограничном слое..

1.4. Теплообмен излучением

Основные понятия. Законы излучения черного тела. Особенности реальных поверхностей. Лучистый теплообмен в диатермической среде. Общий метод расчета для серых поверхностей и диффузного излучения..

2. Основы переноса тепла и массы

2.1. Массообмен

Совместные процессы тепло- и массообмена. Характеристики переноса массы и энергии в бинарной системе. Диффузия, закон Фика. Система дифференциальных уравнений для тепло- и массообмена. Аналогия процессов тепло- и массообмена при низкой интенсивности массообмена. Тройная аналогия. Особенности тепло- и массообмена при значительном поперечном потоке массы..

2.2. Теплообмен при конденсации

Классификация процессов, возможные режимы конденсации пара. Система уравнений для движения жидкости со свободной поверхностью при фазовом переходе I рода. Решение Нуссельта для пленочной конденсации на вертикальной стенке и его последующие уточнения. Конденсация на горизонтальной трубе. Числа подобия. Турбулентное течение конденсированной пленки. Особенности пленочной конденсации внутри труб. Механизм и теплообмен при капельной конденсации..

2.3. Теплообмен при кипении

Классификация процессов. Модели элементарных процессов. Режимы кипения в большом объеме. Теплоотдача в различных режимах, кризисы кипения. Теоретические модели теплообмена при кипении в большом объеме. Устойчивость процесса с точки зрения

теплового баланса греющей стенки. Кипение при вынужденном течении жидкости. Теплообмен при движении фронта фазового перехода..

2.4. Изучение теплоотдачи при кипении

Определение теплоемкости и температуропроводности твердых материалов методом регулярного режима. Опытное изучение теплоотдачи при свободной и вынужденной конвекции воздуха около тел различной геометрии. Изучение теплоотдачи при кипении азота в большом объеме..

3.3. Темы практических занятий

1. Стационарные задачи теплопроводности без внутренних источников тепла;
2. Теплообмен при кипении движущейся в канале жидкости;
3. Кризисы кипения, теплообмен при пленочном кипении в большом объеме;
4. Пленочная конденсация движущегося пара;
5. Теплообмен при пузырьковом кипении в большом объеме;
6. Теплообмен излучением;
7. Конвективный теплообмен при ламинарном течении в каналах;
8. Конвективный теплообмен при внешнем обтекании тел;
9. Нестационарные задачи теплопроводности;
10. Теплообмен при естественной конвекции около тел различной формы;
11. Конвективный теплообмен при турбулентном течении в каналах;
12. Стационарные задачи теплопроводности при наличии внутренних источников тепла (6 часов)..

3.4. Темы лабораторных работ

1. Теплоотдача при свободной и вынужденной конвекции;
2. Изучение теплоотдачи при кипении;
3. Теплоемкости и температуропроводность.

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы теории теплообмена"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы переноса тепла и массы"

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Основы переноса тепла и массы"

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	
Знать:				
особенности процессов переноса тепла и массы в многокомпонентных системах	ИД-3опк-4		+	Контрольная работа/Массообмен
способы расчета теплового потока между телами различной формы при теплообмене излучением	ИД-3опк-4	+		Контрольная работа/Теплообмен излучением
способы расчета температурного поля при теплопроводности в твердых телах и передаваемого теплового потока	ИД-3опк-4	+		Контрольная работа/Теплопроводность
основные механизмы переноса теплоты и их особенности в различных системах	ИД-3опк-4	+		Контрольная работа/Классификация процессов теплообмена
Уметь:				
вычислять коэффициент теплоотдачи при кипении в большом объеме и при движении кипящей жидкости	ИД-3опк-4		+	Лабораторная работа/Теплоотдачи при кипении
участвовать в экспериментальных исследованиях процессов теплообмена и обработке результатов экспериментов	ИД-3опк-4		+	Контрольная работа/Свободная и вынужденная конвекция Контрольная работа/Теплоемкость Контрольная работа/Теплообмен при кипении Лабораторная работа/Теплоотдачи при кипении
вычислять коэффициент теплоотдачи при вынужденной и естественной конвекции	ИД-3опк-4	+		Контрольная работа/Конвективный теплообмен
вычислять коэффициент теплоотдачи при пленочной конденсации на различных поверхностях	ИД-3опк-4		+	Контрольная работа/Теплообмен при конденсации

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: Письменная работа

1. Классификация процессов теплообмена (Контрольная работа)
2. Конвективный теплообмен (Контрольная работа)
3. Теплообмен излучением (Контрольная работа)
4. Теплопроводность (Контрольная работа)

5 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Массообмен (Контрольная работа)
2. Свободная и вынужденная конвекция (Контрольная работа)
3. Теплоемкость (Контрольная работа)
4. Теплообмен при кипении (Контрольная работа)
5. Теплообмен при конденсации (Контрольная работа)
6. Теплоотдачи при кипении (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №4)

Экзамен (Семестр №5)

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

В диплом выставляется оценка за 5 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 : учебное пособие для вузов по энергетическим специальностям / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев . – 2-е изд., испр. и доп . – М. : Изд-во МЭИ, 2005 . – 550 с. - ISBN 5-7046-1270-9 .;
2. 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 .;
3. Ястребов, А. К. Некоторые задачи теплообмена в однофазных и двухфазных системах : учебное пособие по курсу "Тепло- и массообмен" по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / А. К. Ястребов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2015 . – 80 с. - ISBN 978-5-7046-1564-4 .

<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=7266>;

4. Цветков, Ф. Ф. Задачник по тепломассообмену : учебное пособие для вузов по направлению 140100 "Теплоэнергетика" / Ф. Ф. Цветков, Р. В. Керимов, В. И. Величко . – 2-е изд., испр. и доп . – М. : Издательский дом МЭИ, 2008 . – 196 с. - ISBN 978-5-383-00259-9 .;
5. Григорьев Б.А.- "Тепломассообмен", Издательство: "МЭИ", Москва, 2011 - (562 с.)
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383005637.html>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux.

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

1. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
8. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
9. 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 тепломассообмена	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	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
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	В-209/2, Кабинет	кресло рабочее, рабочее место сотрудника,

консультирования	сотрудников каф. "ТОТ"	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

(название дисциплины)

4 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Классификация процессов теплообмена (Контрольная работа)
- КМ-2 Теплопроводность (Контрольная работа)
- КМ-3 Конвективный теплообмен (Контрольная работа)
- КМ-4 Теплообмен излучением (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	15
1	Основы теории теплообмена					
1.1	Введение.		+			
1.2	Теплопроводность			+		
1.3	Конвективный теплообмен				+	
1.4	Теплообмен излучением					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25

5 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-5 Массообмен (Контрольная работа)
- КМ-6 Теплообмен при конденсации (Контрольная работа)
- КМ-7 Теплообмен при кипении (Контрольная работа)
- КМ-8 Теплоемкость (Контрольная работа)
- КМ-9 Свободная и вынужденная конвекция (Контрольная работа)
- КМ-10 Теплоотдачи при кипении (Лабораторная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8	КМ-9	КМ-10
		Неделя КМ:	4	8	10	12	14	14
1	Основы переноса тепла и массы							

1.1	Массообмен	+					
1.2	Теплообмен при конденсации		+				
1.3	Теплообмен при кипении						+
1.4	Изучение теплоотдачи при кипении			+	+	+	+
Вес КМ, %:		10	10	20	20	20	20