

**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: ЭТАЛОН: Теплоэнергетика и теплотехника

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины  
ТЕПЛОМАССООБМЕН**

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

**Москва 2020**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Зеодинов М.Г.
	Идентификатор	Rb20bbf78-ZeodinovMG-fa0d262c

(подпись)

М.Г. Зеодинов

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

А.Н. Рогалев

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

А.Н. Рогалев

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Расчет температурного поля в телах произвольной формы. Определение теплового сопротивления. Тепловой и конструкторский расчет теплообменных аппаратов.

### Задачи дисциплины

- Оценка энергоэффективности выбранных материалов;
- Расчет тепловых потерь с учетом всех видов теплообмена;
- Обеспечение режимов работы в докритических зонах;
- Выбор режимов работы теплообменных аппаратов.

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-3опк-4 Демонстрирует понимание основных законов теплообмена и применяет их для расчетов элементов теплотехнических установок и систем	знать: - Теплообмен излучением; - Классификация теплообменных аппаратов. Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи..  уметь: - Гидродинамический и тепловой пограничные слои; - Критические точки кривой кипения. Коэффициент теплоотдачи при докритическом и кризисном кипении жидкости текущей в трубе; - Расчет чисел подобия, определение режима течения.; - Решать дифференциальные уравнения аналитически; - Применять внутренние функции пакета Mathcad для решения систем уравнений; - Применять функции Бесселя при решении дифференциального уравнения в цилиндрических координатах; - Учет внутренних источников теплоты; - Толщина диффузионного пограничного слоя. Стефанов поток. Адиабатическая температура..

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе ЭТАЛОН: Теплоэнергетика и теплотехника (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Компьютерная грамотность.
- уметь Использование MS Excel.

- уметь Применение основных функций пакета Mathcad

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	Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки	24	4	4	4	4	-	-	-	-	-	12	-	<p><b><u>Проведение исследований:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы: Лабораторные работы на кафедре</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизадч по разделу "Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: решение типовых задач с помощью пакета Mathcad</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], 5-7 [3], 35-50 [4], 6-7</p>	
1.1	Дифференциальное уравнение теплопроводности. Закон Фурье. Закон Ньютона-Рихмана.	24		4	4	4	-	-	-	-	-	12	-		
2	Температурное поле при наличии внутренних источников теплоты	16		2	-	2	-	-	-	-	-	-	12		-
2.1	Плоская пластина. Цилиндрическое тело. Полый цилиндр.	16		2	-	2	-	-	-	-	-	-	12		-

														Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Температурное поле при наличии внутренних источников теплоты" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 65-73 [3], 54-59 [4], 8
3	Интенсификация теплообмена	16	2	-	2	-	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Интенсификация теплообмена" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Интенсификация теплообмена" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 59-70 [4], 8
3.1	Уравнение теплопередачи и выбор коэффициента теплоотдачи. Оребрение плоской поверхности. Оребрение цилиндрической поверхности. Функции Бесселя.	16	2	-	2	-	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Температурное поле при нестационарном тепловом режиме" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 59-70 [4], 8
4	Температурное поле при нестационарном тепловом режиме	42.2	12	4	12	-	-	-	-	-	-	14.2	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Температурное поле при нестационарном тепловом режиме"
4.1	Метод разделения переменных и числа	42.2	12	4	12	-	-	-	-	-	-	14.2	-	

	<p>подобия. Нестационарный тепловой режим для одномерной плоской пластины. Нестационарный тепловой режим для бесконечно длинного цилиндра. Температурное поле в теле конечных размеров.</p>												<p><b><u>Проведение эксперимента:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: Лабораторная работа на кафедре <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Температурное поле при нестационарном тепловом режиме". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: решение типовой задачи с помощью пакета Mathcad <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 101-106 [3], 91-114 [4], 23-26</p>	
5	Теплообмен излучением	45.8		12	8	12	-	-	-	-	-	13.8	-	<p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Теплообмен излучением" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <b><u>Проведение эксперимента:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: Лабораторная работа на кафедре <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по</p>
5.1	<p>Законы излучения. Теплообмен в прозрачной среде. Угловые коэффициенты. Теплообмен в поглощающей и излучающей средах.</p>	45.8		12	8	12	-	-	-	-	-	13.8	-	<p>Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <b><u>Проведение эксперимента:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: Лабораторная работа на кафедре <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по</p>

														разделу "Теплообмен излучением". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: решение типовой задачи с помощью пакета Mathcad <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 428-437 [4], 123-125, 135-139
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	180.0		32	16	32	-	2	-	-	0.5	64.0	33.5	
	Итого за семестр	180.0		32	16	32		2		-	0.5		97.5	
6	Конвективный теплообмен	24	5	4	4	4	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Конвективный теплообмен" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Конвективный теплообмен" <b><u>Проведение эксперимента:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: Лабораторная работа на кафедре <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Конвективный теплообмен". Студенты необходимо повторить
6.1	Дифференциальные уравнения (ДУ) конвективного теплообмена. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Свободная и вынужденная конвекция.	24		4	4	4	-	-	-	-	-	12	-	



													теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: решение типовой задачи с помощью пакета Mathcad <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 59-63 [2], 248-255 [3], 126-148 [4], 34-36, 45-49
7	Конвективный теплообмен при вынужденном течении жидкости в трубах	32	8	4	8	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Конвективный теплообмен при вынужденном течении жидкости в трубах" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.
7.1	Вязкостный и вязкостно-гравитационный режимы. Участок стабилизированного теплообмена. Способы повышения коэффициента теплоотдачи.	32	8	4	8	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Конвективный теплообмен при вынужденном течении жидкости в трубах" <b><u>Проведение эксперимента:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: Лабораторная работа на кафедре <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Конвективный теплообмен при вынужденном течении жидкости в трубах". Студенты необходимо повторить

														теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: решение типовой задачи с помощью пакета Mathcad <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 239-251 [4], 63-67
8	Массообмен	20	4	-	4	-	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b>
8.1	Закон Фика. Диффузионный пограничный слой. Аналогия Рейнольдса. Стефанов поток. Адиабатическая температура.	20	4	-	4	-	-	-	-	-	-	12	-	Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Массообмен" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Массообмен" <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Массообмен". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: решение типовой задачи с помощью пакета Mathcad <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 374-398 [4], 102-103

9	Теплообмен при фазовых превращениях	32	8	4	8	-	-	-	-	-	12	-	<p><b><u>Проведение эксперимента:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: Лабораторная работа на кафедре</p> <p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Теплообмен при фазовых превращениях" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Теплообмен при фазовых превращениях"</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизадч по разделу "Теплообмен при фазовых превращениях". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: решение типовой задачи с помощью пакета Mathcad</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], 169-174 [3], 301-327 [4], 80-81, 93-95</p>
9.1	Пузырьковое и пленочное кипение. Кризисы кипения. Коэффициент запаса до кризиса.	18	4	4	4	-	-	-	-	-	6	-	
9.2	Теплоотдача при конденсации. Определение коэффициента теплоотдачи через безразмерные комплексы.	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	
10	Теплообменные аппараты	36	8	4	8	-	-	-	-	-	16	-	<p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения</p>
10.1	Классификация	36	8	4	8	-	-	-	-	-	16	-	

	теплообменных аппаратов. Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи. Тепловой и гидродинамический расчеты. Метод NTU.	36.0												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><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b></u> Изучение дополнительного материала по разделу "Теплообменные аппараты" <u><b>Проведение эксперимента:</b></u> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: Лабораторная работа на кафедре <u><b>Подготовка расчетных заданий:</b></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: решение типовой задачи с помощью пакета Mathcad <u><b>Изучение материалов литературных источников:</b></u> [3], 512-537 [4], 145-147												
															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
	<b>ИТОГО</b>	<b>360.0</b>	-	<b>64</b>	<b>32</b>	<b>64</b>		<b>4</b>		<b>-</b>	<b>1.0</b>		<b>195.0</b>													

**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. Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки

1.1. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Закон Фурье. Закон Ньютона-Рихмана.

Вывод дифференциального уравнения (ДУ) теплопроводности на основании уравнения теплового баланса. Условия однозначности. Вид ДУ теплопроводности в декартовой системе координат и в цилиндрической системе координат. Частные случаи ДУ теплопроводности..

### 2. Температурное поле при наличии внутренних источников теплоты

2.1. Плоская пластина. Цилиндрическое тело. Полый цилиндр.

Уравнение теплового баланса. Связь между поверхностной плотностью теплового потока и мощностью внутренних источников теплоты. Применение граничных условий первого и третьего рода.. Температурное поле в полом цилиндре в случае сброса теплоты с внутренней поверхности цилиндра, с внешней поверхности цилиндра и с обеих поверхностей цилиндра..

### 3. Интенсификация теплообмена

3.1. Уравнение теплопередачи и выбор коэффициента теплоотдачи. Оребрение плоской поверхности. Оребрение цилиндрической поверхности. Функции Бесселя.

Способы повышения теплообмена. Ограничения, связанные с коэффициентами теплоотдачи. Температурное поле бесконечно длинного стержня и стержня ограниченной длины. Тепловой поток, снимаемый с поверхности ребра.. Температурное поле цилиндрического ребра. Замена функций Бесселя в практических расчетах..

### 4. Температурное поле при нестационарном тепловом режиме

4.1. Метод разделения переменных и числа подобия. Нестационарный тепловой режим для одномерной плоской пластины. Нестационарный тепловой режим для бесконечно длинного цилиндра. Температурное поле в теле конечных размеров.

Решение ДУ теплопроводности методом разделения переменных (метод Фурье). Нерегулярный, регулярный и стационарный режимы. Числа подобия Био и Фурье, безразмерные координаты и безразмерная температура. Задача Штурма-Лиувилля.. Направляющие точки. Профили температур в телах простой геометрической формы. Теорема о перемножении решений.. Регулярный режим. Первая и вторая теоремы Кондратьева. Признаки регулярного режима. Численные методы решения ДУ теплопроводности..

### 5. Теплообмен излучением

5.1. Законы излучения. Теплообмен в прозрачной среде. Угловые коэффициенты. Теплообмен в поглощающей и излучающей средах.

Диатермическая среда. Абсолютно черное тело (АЧТ), абсолютно белое тело, серое тело. Законы излучения для АЧТ, серого и реального тела. Классификация потоков излучения. Результирующий и эффективный потоки в телах конечных размеров. Виды угловых коэффициентов.. Теплообмен в лучепоглощающей среде. Эффективная длина луча. Излучательная и поглощательная способность среды. Применение номограмм для расчета результирующих потоков. Коэффициент теплоотдачи излучением.. Оптическая пирометрия. Международная температурная шкала..

## 6. Конвективный теплообмен

6.1. Дифференциальные уравнения (ДУ) конвективного теплообмена.

Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Свободная и вынужденная конвекция.

ДУ энергии, движения и неразрывности. Числа и критерии подобия. Ламинарный и турбулентный режимы при обтекании плоской пластины. Вязкий подслой. Интеграл Лайона. Аналогия Рейнольдса.. Коэффициент теплоотдачи при обтекании цилиндрической поверхности и пучка труб.. Теплообмен при околосвуковых скоростях потоков.

## 7. Конвективный теплообмен при вынужденном течении жидкости в трубах

7.1. Вязкостный и вязкостно-гравитационный режимы. Участок стабилизированного теплообмена. Способы повышения коэффициента теплоотдачи.

Средний коэффициент теплоотдачи по сечению трубы и по длине трубы. Формулы Михеева и Петухова для турбулентного режима течения. Смешанный режим, коэффициент перемежаемости. Эквивалентный диаметр. Теплоотдача при течении жидкости в трубах некруглого сечения, в изогнутых и шероховатых трубах..

## 8. Массообмен

8.1. Закон Фика. Диффузионный пограничный слой. Аналогия Рейнольдса. Стефанов поток. Адиабатическая температура.

Бинарная смесь. Массовая концентрация смеси. Плотность диффузионного потока массы и плотность полного потока массы. Коэффициент диффузии. Число Льюиса. Дифференциальное уравнение массообмена. Диффузионные числа подобия. Скорость стефанова потока. Связь коэффициентов теплоотдачи и массоотдачи..

## 9. Теплообмен при фазовых превращениях

9.1. Пузырьковое и пленочное кипение. Кризисы кипения. Коэффициент запаса до кризиса.

Условия кипения. Паровой пузырёк. Критический радиус и отрывной диаметр. Смачивающая и не смачивающая жидкости. Число Якоба. Теория Лабунцова.. Кипение в открытом объеме и в трубах. Двухфазный поток..

9.2. Теплоотдача при конденсации. Определение коэффициента теплоотдачи через безразмерные комплексы.

Капельная и пленочная конденсация. Угол смачиваемости. Кнудсеновский слой. Теория Нуссельта. Коэффициент теплоотдачи для вертикальной поверхности и для цилиндрической поверхности..

## 10. Теплообменные аппараты

10.1. Классификация теплообменных аппаратов. Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи. Тепловой и гидродинамический расчеты. Метод NTU.

Классификация теплообменных аппаратов по принципу действия, назначению, устройству. Конструкторский и поверочный расчеты. Однозонные и многозонные теплообменные аппараты. Прямоточная и противоточная схемы движения теплоносителей. Средний логарифмический температурный напор. Гидродинамическое сопротивление. Число единиц переноса..

### 3.3. Темы практических занятий

1. Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки;
2. Теплоотдача при конденсации. Определение коэффициента теплоотдачи через безразмерные комплексы.;
3. Кипение в трубах. Двухфазный поток.;
4. Пузырьковое и пленочное кипение. Кризисы кипения.;
5. Диффузионные числа подобия. Скорость стефанова потока. Связь коэффициентов теплоотдачи и массоотдачи.;
6. Бинарная смесь. Массовая концентрация смеси. Плотность диффузионного потока массы и плотность полного потока массы. Коэффициент диффузии. Число Льюиса.;
7. Смешанный режим, коэффициент перемежаемости. Эквивалентный диаметр. Теплоотдача при течении жидкости в трубах некруглого сечения, в изогнутых и шероховатых трубах.;
8. Средний коэффициент теплоотдачи по сечению трубы и по длине трубы. Формулы Михеева и Петухова для турбулентного режима течения.;
9. Теплообмен при свободной конвекции. Число Релея.;
10. Классификация теплообменных аппаратов по принципу действия, назначению, устройству. Конструкторский и поверочный расчеты. Прямоточная и противоточная схемы движения теплоносителей. Средний логарифмический температурный напор. Гидродинамическое сопротивление. Число единиц переноса.;
11. Числа и критерии подобия. Ламинарный и турбулентный режимы при обтекании плоской пластины.;
12. Теплообмен в поглощающей и излучающей средах.;
13. Угловые коэффициенты.;
14. Законы излучения. Теплообмен в прозрачной среде.;
15. Численные методы решения ДУ теплопроводности. Применение функций пакета Mathcad: `odesolve` и `pdesolve`. Использование программ пакета Ansys.;
16. Теорема о перемножении решений. Регулярный режим. Первая и вторая теоремы Кондратьева.;
17. Числа подобия Био и Фурье, безразмерные координаты и безразмерная температура. Задача Штурма-Лиувилля. Нестационарный тепловой режим для одномерной плоской пластины. Нестационарный тепловой режим для бесконечно длинного цилиндра.;
18. Способы повышения теплообмена. Ограничения, связанные с коэффициентами теплоотдачи. Температурное поле бесконечно длинного стержня и стержня ограниченной длины. Тепловой поток, снимаемый с поверхности ребра.;
19. Температурное поле при наличии внутренних источников теплоты. Формула Шухова.;
20. Оптическая пирометрия. Международная температурная шкала.;
21. Однозонные и многозонные теплообменные аппараты. Гидродинамическое сопротивление. Число единиц переноса, метод NTU..

### 3.4. Темы лабораторных работ

1. Теплопередача в пароводяном теплообменнике.;
2. Исследование теплоотдачи при кипении воды в условиях пузырькового режима.;
3. Теплоотдача пластины при продольном обтекании жидкости или цилиндра при поперечном обтекании жидкости.;
4. Теплоотдача горизонтальной трубы при свободном движении воздуха или воды.;
5. Определение углового коэффициента излучения методом светового моделирования.;
6. Определение интегральной степени черноты твердых тел.;
7. Определение тепловых свойств материалов методом регулярного режима.;
8. Определение теплопроводности теплоизоляционных материалов методами плоского



и цилиндрического слоя..

### 3.5 Консультации

#### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Температурное поле при наличии внутренних источников теплоты"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Интенсификация теплообмена"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Температурное поле при нестационарном тепловом режиме"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Теплообмен излучением"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Конвективный теплообмен"
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Конвективный теплообмен при вынужденном течении жидкости в трубах"
8. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Массообмен"
9. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Теплообмен при фазовых превращениях"
10. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Теплообменные аппараты"

#### Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания студента по разделу "Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания студента по разделу "Температурное поле при наличии внутренних источников теплоты"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания студента по разделу "Интенсификация теплообмена"
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания студента по разделу "Температурное поле при нестационарном тепловом режиме"
5. Консультации направлены на получение индивидуального задания студента по разделу "Теплообмен излучением"
6. Консультации направлены на получение индивидуального задания студента по разделу "Конвективный теплообмен"
7. Консультации направлены на получение индивидуального задания студента по разделу "Конвективный теплообмен при вынужденном течении жидкости в трубах"
8. Консультации направлены на получение индивидуального задания студента по разделу "Массообмен"
9. Консультации направлены на получение индивидуального задания студента по разделу "Теплообмен при фазовых превращениях"
10. Консультации направлены на получение индивидуального задания студента по разделу "Теплообменные аппараты"

### 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		
<b>Знать:</b>													
Классификация теплообменных аппаратов. Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи.	ИД-3ОПК-4											+	Лабораторная работа/Защита цикла лабораторных работ "Теплообмен при конвективном теплообмене. Кипение. Теплообменные аппараты"
Теплообмен излучением	ИД-3ОПК-4					+							Лабораторная работа/Защита цикла лабораторных работ "Теплообмен теплопроводностью и излучением"
<b>Уметь:</b>													
Толщина диффузионного пограничного слоя. Стефанов поток. Адиабатическая температура.	ИД-3ОПК-4											+	Домашнее задание/Типовой расчет по конвективному теплообмену, массообмену, фазовым превращениям и теплообменным аппаратам
Учет внутренних источников теплоты	ИД-3ОПК-4		+										Контрольная работа/Стационарная теплопроводность, внутренние источники, оребрение
Применять функции Бесселя при решении дифференциального уравнения в цилиндрических координатах	ИД-3ОПК-4				+								Домашнее задание/Типовой расчет по теплообмену теплопроводностью и излучением
Применять внутренние функции пакета Mathcad для решения систем уравнений	ИД-3ОПК-4			+									Контрольная работа/Задача на расчет температурного поля в процессе нагрева или охлаждения
Решать дифференциальные уравнения аналитически	ИД-3ОПК-4	+											Тестирование/Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки
Расчет чисел подобия, определение режима течения.	ИД-3ОПК-4						+						Тестирование/Введение в конвективный теплообмен. Числа подобия

Критические точки кривой кипения. Коэффициент теплоотдачи при докризисном и кризисном кипении жидкости текущей в трубе	ИД-3 <sub>ОПК-4</sub>									+		Контрольная работа/Определение коэффициента теплоотдачи при фазовых превращениях
Гидродинамический и тепловой пограничные слои	ИД-3 <sub>ОПК-4</sub>									+		Контрольная работа/Теплоотдача при внешнем обтекании пластины и цилиндра. Теплоотдача при вынужденном течении жидкости внутри трубы

## **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: Обмен электронными документами

1. Задача на расчет температурного поля в процессе нагрева или охлаждения (Контрольная работа)
2. Стационарная теплопроводность, внутренние источники, оребрение (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки (Тестирование)

Форма реализации: Проверка задания

1. Типовой расчет по теплообмену теплопроводностью и излучением (Домашнее задание)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита цикла лабораторных работ "Теплообмен теплопроводностью и излучением" (Лабораторная работа)

#### **5 семестр**

Форма реализации: Обмен электронными документами

1. Определение коэффициента теплоотдачи при фазовых превращениях (Контрольная работа)
2. Теплоотдача при внешнем обтекании пластины и цилиндра. Теплоотдача при вынужденном течении жидкости внутри трубы (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Введение в конвективный теплообмен. Числа подобия (Тестирование)

Форма реализации: Проверка задания

1. Типовой расчет по конвективному теплообмену, массообмену, фазовым превращениям и теплообменным аппаратам (Домашнее задание)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита цикла лабораторных работ "Теплообмен при конвективном теплообмене. Кипение. Теплообменные аппараты" (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. Краснощеков, Е. А. Задачник по теплопередаче : Учебное пособие для теплоэнергетических специальностей вузов / Е. А. Краснощеков, А. С. Сукомел . – 4-е изд., перераб . – М. : Энергия, 1980 . – 288 с.;
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. Тепломассообмен : учебник для вузов по направлению "Теплоэнергетика" / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев . – М. : Издательский дом МЭИ, 2011 . – 562 с. - ISBN 978-5-383-00563-7 .  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4233](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4233);
4. 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 .;
5. Григорьев Б.А.- "Тепломассообмен", Издательство: "МЭИ", Москва, 2017  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011720.html>.

### 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office;
2. Windows;
3. MathCad;
4. Ansys;
5. Расписание учебных занятий;
6. Acrobat Reader.

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

1. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
2. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
3. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
4. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

## 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	В-209/10, Учебная лаборатория	рабочее место сотрудника, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет,

лабораторных занятий	теплообмен	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 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

(название дисциплины)

#### 4 семестр

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

- КМ-1 Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки (Тестирование)
- КМ-2 Стационарная теплопроводность, внутренние источники, оребрение (Контрольная работа)
- КМ-3 Задача на расчет температурного поля в процессе нагрева или охлаждения (Контрольная работа)
- КМ-4 Типовой расчет по теплообмену теплопроводностью и излучением (Домашнее задание)
- КМ-5 Защита цикла лабораторных работ "Теплообмен теплопроводностью и излучением" (Лабораторная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	8	12	15	16
1	Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки						
1.1	Дифференциальное уравнение теплопроводности. Закон Фурье. Закон Ньютона-Рихмана.		+				
2	Температурное поле при наличии внутренних источников теплоты						
2.1	Плоская пластина. Цилиндрическое тело. Полый цилиндр.			+			
3	Интенсификация теплообмена						
3.1	Уравнение теплопередачи и выбор коэффициента теплоотдачи. Оребрение плоской поверхности. Оребрение цилиндрической поверхности. Функции Бесселя.				+		
4	Температурное поле при нестационарном тепловом режиме						
4.1	Метод разделения переменных и числа подобия. Нестационарный тепловой режим для одномерной плоской пластины. Нестационарный тепловой режим для бесконечно длинного цилиндра. Температурное поле в теле конечных размеров.					+	
5	Теплообмен излучением						
5.1	Законы излучения. Теплообмен в прозрачной среде. Угловые коэффициенты. Теплообмен в поглощающей и излучающей средах.						+
Вес КМ, %:			10	30	20	30	10

## 5 семестр

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

- КМ-6 Введение в конвективный теплообмен. Числа подобия (Тестирование)
- КМ-7 Теплоотдача при внешнем обтекании пластины и цилиндра. Теплоотдача при вынужденном течении жидкости внутри трубы (Контрольная работа)
- КМ-8 Определение коэффициента теплоотдачи при фазовых превращениях (Контрольная работа)
- КМ-9 Типовой расчет по конвективному теплообмену, массообмену, фазовым превращениям и теплообменным аппаратам (Домашнее задание)
- КМ-10 Защита цикла лабораторных работ "Теплообмен при конвективном теплообмене. Кипение. Теплообменные аппараты" (Лабораторная работа)

### Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-6	КМ-7	КМ-8	КМ-9	КМ-10
		Неделя КМ:	4	8	12	15	16
1	Конвективный теплообмен						
1.1	Дифференциальные уравнения (ДУ) конвективного теплообмена. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Свободная и вынужденная конвекция.		+				
2	Конвективный теплообмен при вынужденном течении жидкости в трубах						
2.1	Вязкостный и вязкостно-гравитационный режимы. Участок стабилизированного теплообмена. Способы повышения коэффициента теплоотдачи.			+			
3	Массообмен						
3.1	Закон Фика. Диффузионный пограничный слой. Аналогия Рейнольдса. Стефанов поток. Адиабатическая температура.					+	
4	Теплообмен при фазовых превращениях						
4.1	Пузырьковое и пленочное кипение. Кризисы кипения. Коэффициент запаса до кризиса.				+		
4.2	Теплоотдача при конденсации. Определение коэффициента теплоотдачи через безразмерные комплексы.				+		
5	Теплообменные аппараты						
5.1	Классификация теплообменных аппаратов. Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи. Тепловой и гидродинамический расчеты. Метод NTU.						+
Вес КМ, %:			10	30	20	30	10