

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

---

Направление подготовки/специальность: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Энергообеспечение предприятий. Тепломассообменные процессы и установки

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС В ЭЛЕМЕНТАХ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО**  
**ОБОРУДОВАНИЯ**


Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.10
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	3 семестр - 16 часов;
Практические занятия	3 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	3 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	3 семестр - 93,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Тестирование	
Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	3 семестр - 0,5 часа;

**Москва 2023**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Валуева Е.П.
	Идентификатор	Ra19c063b-ValuevaEP-dec0a72f

(подпись)

Е.П. Валуева

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Горелов М.В.
	Идентификатор	Re923e979-GorelovMV-5a218dd2

(подпись)

М.В. Горелов

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Гаряев А.Б.
	Идентификатор	R75984319-GariayevAB-a6831ea7

(подпись)

А.Б. Гаряев

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение процессов тепломассообмена, протекающих в элементах современных теплоэнергетических аппаратов

### Задачи дисциплины

- умение анализировать процессы, протекающие в элементах теплотехнического оборудования;
- получение необходимой для практики информации в результате решения задач тепломассообмена;
- овладение проведением обоснованного выбора оптимальных режимов работы и конструкции теплотехнических 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
ПК-3 Способен использовать научные методы и современное программное обеспечение при расчете, проектировании и оптимизации оборудования систем энергообеспечения, обеспечения жизнедеятельности и технологических систем при проектировании и выборе оптимальных режимов работы	ИД-2 <sub>ПК-3</sub> Применяет методы математического моделирования и современные компьютерные программы при расчете и выборе конструкций и режимов работы оборудования	знать: - современные и перспективные пути оптимизации и усовершенствования теплотехнических процессов и аппаратов.  уметь: - определять оптимальные производственно-технологические режимы работы тепломассообменных аппаратов.
ПК-4 Способен рассчитывать и проектировать системы обеспечения тепловых режимов работы оборудования и приборов для обеспечения их эффективной, надежной и безопасной работы	ИД-2 <sub>ПК-4</sub> Проводит тепловые и гидравлические расчеты объектов теплоэнергетики и теплотехники и систем обеспечения тепловых режимов работы оборудования	знать: - уравнения, описывающие процессы тепломассообмена, протекающие в элементах теплотехнического оборудования.  уметь: - планировать и проводить теоретические и экспериментальные научные исследования, направленные на совершенствование теплообменного оборудования.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Энергообеспечение предприятий. Тепломассообменные процессы и установки (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

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 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ 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	Подход к описанию процессов переноса тепла и массы в движущихся сплошных средах	26	3	4	-	10	-	-	-	-	-	12	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Подход к описанию процессов переноса тепла и массы в движущихся сплошных средах"</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Подход к описанию процессов переноса тепла и массы в движущихся сплошных средах" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Подход к описанию процессов переноса тепла и массы в движущихся сплошных средах"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], Разделы 1, 2 [3], Глава 2</p>	
1.1	Подход к описанию процессов переноса тепла и массы в движущихся сплошных средах	26		4	-	10	-	-	-	-	-	-	12		-
2	Основные понятия и законы, используемые при описании диффузии в смесях	27		4	-	6	-	-	-	-	-	-	17		-
2.1	Основные понятия и законы, используемые при описании диффузии в смесях	27		4	-	6	-	-	-	-	-	-	17		-

													выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Основные понятия и законы, используемые при описании диффузии в смесях" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], Глава 14 [3], Глава 2.1, 26
3	Задачи одномерной диффузии	31	4	-	10	-	-	-	-	-	17	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Задачи одномерной диффузии" <b><u>Проведение исследований:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы: <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Задачи одномерной диффузии" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Задачи одномерной диффузии" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], Разделы 15.1, 15.3
3.1	Задачи одномерной диффузии	31	4	-	10	-	-	-	-	-	17	-	
4	Совместный конвективный перенос тепла и массы	24	4	-	6	-	-	-	-	-	14	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Совместный конвективный перенос тепла и массы" <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Совместный конвективный перенос тепла и массы"
4.1	Совместный конвективный перенос тепла и массы	24	4	-	6	-	-	-	-	-	14	-	

														<p><b><u>Проведение исследований:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы:</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Совместный конвективный перенос тепла и массы" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], Раздел 14.7</p>
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5		
	Всего за семестр	144.0	16	-	32	-	2	-	-	0.5	60	33.5		
	Итого за семестр	144.0	16	-	32		2		-	0.5		93.5		

**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. Подход к описанию процессов переноса тепла и массы в движущихся сплошных средах

1.1. Подход к описанию процессов переноса тепла и массы в движущихся сплошных средах

Гипотеза сплошности. Уравнения сохранения - неразрывности, движения, энергии и диффузии. Замыкающие соотношения - законы Ньютона, Фурье, Фика. Граничные условия. Упрощения основных уравнений. Одномерные уравнения. Балансовые соотношения.

#### 2. Основные понятия и законы, используемые при описании диффузии в смесях

2.1. Основные понятия и законы, используемые при описании диффузии в смесях

Концентрации, скорости диффузии, диффузионные потоки. Связи между различными диффузионными потоками. Виды диффузии - концентрационная, термо-, бародиффузия, диффузия в поле массовых сил. Различные формы записи закона Фика. Диффузия в многокомпонентной смеси. Уравнения Стефана-Максвелла. Приближенный метод расчета диффузии в многокомпонентной смеси. Описание переноса тепла в смесях. Эффект Дюфо.

#### 3. Задачи одномерной диффузии

3.1. Задачи одномерной диффузии

Диффузия через одномерный слой газа: расчет распределения по толщине слоя концентраций в бинарной смеси, конвективные потоки Стефана. Испарение и конденсация на поверхности бинарной смеси: характерные режимы, расчет распределения по толщине слоя температуры бинарной смеси. Психрометр.

#### 4. Совместный конвективный перенос тепла и массы

4.1. Совместный конвективный перенос тепла и массы

Уравнение конвективной диффузии, различные формы его записи. Уравнение энергии для смесей, различные формы его записи. Ламинарный пограничный слой на плоской поверхности при одновременном протекании процессов тепло- и массообмена. Автомодельное решение задачи о сопротивлении трения, теплоотдаче и массоотдаче в пограничном слое. Абсорбционная колонна. Законы Рауля, Генри. Расчет изменения температуры и концентрации примесей по длине насадочной колонны.

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Совместный конвективный перенос тепла и массы;
2. Задачи одномерной диффузии;
3. Основные понятия и законы, используемые при описании диффузии в смесях;
4. Подход к описанию процессов переноса тепла и массы в движущихся сплошных средах.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

Текущий контроль (ТК)



1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Подход к описанию процессов переноса тепла и массы в движущихся сплошных средах"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Основные понятия и законы, используемые при описании диффузии в смесях"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Задачи одномерной диффузии"
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Совместный конвективный перенос 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	3	4	
<b>Знать:</b>						
современные и перспективные пути оптимизации и усовершенствования теплотехнических процессов и аппаратов	ИД-2ПК-3	+	+			Тестирование/Подход к описанию процессов переноса тепла и массы в движущихся средах. Основные понятия и законы, используемые при описании диффузии в смесях
уравнения, описывающие процессы тепломассообмена, протекающие в элементах теплотехнического оборудования	ИД-2ПК-4			+	+	Тестирование/Задачи одномерной диффузии Тестирование/Конвективный тепломассообмен
<b>Уметь:</b>						
определять оптимальные производственно-технологические режимы работы тепломассообменных аппаратов	ИД-2ПК-3	+			+	Контрольная работа/Вычисление физических свойств газов и газовых смесей
планировать и проводить теоретические и экспериментальные научные исследования, направленные на совершенствование теплообменного оборудования	ИД-2ПК-4			+	+	Контрольная работа/Вычисление поправки к теплоотдаче и сопротивлению с учетом массообмена при движении в пограничном слое на поверхности

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

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

**3 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Вычисление поправки к теплоотдаче и сопротивлению с учетом массообмена при движении в пограничном слое на поверхности (Контрольная работа)
2. Вычисление физических свойств газов и газовых смесей (Контрольная работа)
3. Задачи одномерной диффузии (Тестирование)
4. Конвективный теплообмен (Тестирование)
5. Подход к описанию процессов переноса тепла и массы в движущихся средах. Основные понятия и законы, используемые при описании диффузии в смесях (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

Экзамен (Семестр №3)

В диплом выставляется оценка за 3 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. Теплообмен : учебник для вузов по направлению "Теплоэнергетика" / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев . – М. : Издательский дом МЭИ, 2011 . – 562 с. - ISBN 978-5-383-00563-7 .

[http://elibr.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4233;](http://elibr.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4233)

2. Валуева, Е. П. Численные решение автомодельных задач теплообмена : учебное пособие по курсам "Численные методы решения технических задач", "Тепломассоперенос в элементах теплотехнического оборудования" по направлению "Теплоэнергетика" / Е. П. Валуева, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2009 . – 24 с. - ISBN 978-5-383-00434-0 .

[http://elibr.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=3140;](http://elibr.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=3140)

3. Ягов В. В.- "Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2014 - (542 с.)

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72295.](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72295)

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

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

4. Майнд Видеоконференции;
5. SmathStudio.

### 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](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
5. 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	В-104-3, Учебная аудитория каф. "ТМПУ"	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	В-104-3, Учебная аудитория каф. "ТМПУ"	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Г-409, Учебная аудитория	парта, 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-104-5, Преподавательская каф. "ТМПУ"	стол, стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, документы, журналы, книги, учебники, пособия
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	В-02, Архив	стеллаж для хранения книг, стол для работы с документами, стул

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Тепломассоперенос в элементах теплотехнического оборудования

(название дисциплины)

#### 3 семестр

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

- КМ-1 Подход к описанию процессов переноса тепла и массы в движущихся средах. Основные понятия и законы, используемые при описании диффузии в смесях (Тестирование)
- КМ-2 Вычисление физических свойств газов и газовых смесей (Контрольная работа)
- КМ-3 Конвективный теплообмен (Тестирование)
- КМ-4 Задачи одномерной диффузии (Тестирование)
- КМ-5 Вычисление поправки к теплоотдаче и сопротивлению с учетом массообмена при движении в пограничном слое на поверхности (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	6	8	12	15
1	Подход к описанию процессов переноса тепла и массы в движущихся сплошных средах						
1.1	Подход к описанию процессов переноса тепла и массы в движущихся сплошных средах		+	+			
2	Основные понятия и законы, используемые при описании диффузии в смесях						
2.1	Основные понятия и законы, используемые при описании диффузии в смесях		+				
3	Задачи одномерной диффузии						
3.1	Задачи одномерной диффузии				+	+	+
4	Совместный конвективный перенос тепла и массы						
4.1	Совместный конвективный перенос тепла и массы			+	+	+	+
Вес КМ, %:			20	20	20	20	20