

**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**  
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

<b>Блок:</b>	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
<b>Часть образовательной программы:</b>	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.Ч.04
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	1 семестр - 4;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	144 часа
<b>Лекции</b>	1 семестр - 16 часов;
<b>Практические занятия</b>	1 семестр - 32 часа;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	1 семестр - 2 часа;
<b>Самостоятельная работа</b>	1 семестр - 93,5 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 Расчетное задание	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	1 семестр - 0,5 часа;

**Москва 2022**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Глазов В.С.
	Идентификатор	R781d247d-GlazovVS-1e208dd2

(подпись)

В.С. Глазов

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	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)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	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 и использование совокупности последовательных процедур, применение которых в научных исследованиях приводит к пониманию того, как функционирует исследуемый объект или явление и как использовать это понимание при разработке методов и технологий, технических устройств и систем в теплоэнергетике, а также при решении задач, натурализация которых не возможна или экономически не выгодна

### Задачи дисциплины

- •Изучение основных понятий, определений, методов и законов, применяемых в области математического моделирования течения и теплообмена жидкостных и газовых теплоносителей с поверхностями разной геометрии;;
- •Изучение и применение компьютерных программ, использующих CFD технологию, для решения практических задач, связанных с расчетом, проектированием и моделированием теплоэнергетических и теплотехнологических объектов.

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-1 <sub>ПК-3</sub> Применяет методы оптимизации и современные компьютерные программы при проектировании оборудования и выборе оптимальных режимов его работы	знать: - – основные термины, определения, понятия и законы, используемые при моделировании процессов тепло- и массообмена;; - – критерии и методы оптимизации теплообменных аппаратов..  уметь: - – разработать математическую модель задачи оптимизации теплообменного аппарата и решить её, используя современные критерии и методы расчета (аналитические и численные).; - – работать с приближенными числами и правильно определять неопределенность (погрешность) исходных данных и искомых величин;.
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	ИД-2 <sub>ПК-3</sub> Применяет методы математического моделирования и современные компьютерные программы при расчете и выборе конструкций и режимов работы оборудования	знать: - – смысл и цели моделирования, виды моделей и их свойства, теорию подобия и основные этапы моделирования.; - – аналитические, численные и аналоговые методы, используемые для расчета тепло- и массопереноса в твердых, жидких и газообразных телах;.  уметь: - – самостоятельно ставить и решать задачи, связанные с расчетом тепло- и массообменных процессов в вычислительных комплексах CFD;; - - оформлять, представлять и

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
режимов работы		докладывать результаты выполненной работы..

## 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	Процессы теплообмена и математическое моделирование	16	1	2	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Процессы теплообмена и математическое моделирование"</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 "Процессы теплообмена и математическое моделирование" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Процессы теплообмена и математическое моделирование и подготовка к контрольной работе</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Процессы теплообмена и математическое моделирование" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение</p>
1.1	Математическое моделирование - метод теоретического исследования тепло- и массообменных процессов	16		2	-	4	-	-	-	-	-	10	-	

														дополнительного материала по разделу "Процессы теплообмена и математическое моделирование" <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения мини-задач по разделу "Процессы теплообмена и математическое моделирование". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 3-90
2	Повышение эффективности теплообменных поверхностей при использовании ребер	14	2	-	4	-	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Повышение эффективности теплообменных поверхностей при использовании ребер" <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения мини-задач по разделу "Повышение эффективности теплообменных поверхностей при использовании ребер". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы.
2.1	Поверхностные интенсификаторы теплообмена	14	2	-	4	-	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции и семинарских задач <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 "Повышение эффективности теплообменных поверхностей при использовании ребер" материалу. Дополнительно студенту

													необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Повышение эффективности теплообменных поверхностей при использовании ребер и подготовка к контрольной работе <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Повышение эффективности теплообменных поверхностей при использовании ребер" <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Повышение эффективности теплообменных поверхностей при использовании ребер" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 3-90
3	Численные методы решения тепловых задач	14	2	-	4	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции и семинарских задач <b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b>
3.1	Метод контрольного объема и его реализация в среде Mathcad/SMATHStudio	14	2	-	4	-	-	-	-	-	8	-	Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Численные методы решения тепловых задач" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Численные методы решения тепловых задач" подготовка

													<p>к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Численные методы решения тепловых задач"</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Численные методы решения тепловых задач и подготовка к контрольной работе</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения мини задач по разделу "Численные методы решения тепловых задач". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы.</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Численные методы решения тепловых задач"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], 27-65 [2], 3-16</p>
4	Программные комплексы с технологией CFD	14	2	-	4	-	-	-	-	-	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 материалу, представленному в разделе "Программный комплекс, использующий CFD технологию" . Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по, представленным студентами, письменным</p>
4.1	CFD-технология (Вычислительная гидродинамика) в программах PHOENICS, Fluent, Comsol, Open Foam и другие.	14	2	-	4	-	-	-	-	-	8	-	<p>профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному материалу, представленному в разделе "Программный комплекс, использующий CFD технологию" . Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по, представленным студентами, письменным</p>



															<p>работам.</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Программный комплекс, использующий CFD технологию, и подготовка к контрольной работе</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Программный комплекс, использующий CFD технологию" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции и семинарских задач</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Программный комплекс, использующий CFD технологию"</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения задач по разделу "Программный комплекс, использующий CFD технологию". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются библиотечные примеры из Программного комплекса с технологией CFD</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Программный комплекс, использующий CFD технологию"</p>
5	Конвекция. Ламинарное обтекание плоской пластины	14		2	-	4	-	-	-	-	-	8	-	<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Конвекция. Ламинарное обтекание плоской пластины и подготовка к контрольной работе</p>	
5.1	Ламинарный режим течения при внешнем	14		2	-	4	-	-	-	-	-	8	-	<p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Конвекция.</p>	

	обтекании пластины												<p>Ламинарное обтекание плоской пластины" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Конвекция. Ламинарное обтекание плоской пластины". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач, провести расчеты по варианту задания и сделать выводы.</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Конвекция. Ламинарное обтекание плоской пластины"</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Конвекция. Ламинарное обтекание плоской пластины"</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции и семинарских задач</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 "Конвекция. Ламинарное обтекание плоской пластины" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 174-191</p>
6	Турбулентное обтекание плоской	14		2	-	4	-	-	-	-	8	-	<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу</p>

6.1	пластины Турбулентный режим течения при внешнем обтекании пластины	14		2	-	4	-	-	-	-	-	8	-		<p>Турбулентное обтекание плоской пластины и подготовка к контрольной работе</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 "Турбулентное обтекание плоской пластины" 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 "Турбулентное обтекание плоской пластины"</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Турбулентное обтекание плоской пластины" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения мини задач по разделу "Турбулентное обтекание плоской пластины". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач, провести расчеты по варианту задания и сделать выводы.</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Турбулентное обтекание плоской пластины"</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции и семинарских задач</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p>
-----	---	----	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	---

														[1], 174-191
7	Гидродинамика и теплообмен в канале	11	2	-	4	-	-	-	-	-	-	5	-	<p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Гидродинамика и теплообмен в канале". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач, провести расчеты по варианту задания и сделать выводы.</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Гидродинамика и теплообмен в канале"</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции и семинарских задач</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 "Гидродинамика и теплообмен в канале" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Гидродинамика и теплообмен в канале и подготовка к контрольной работе</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Гидродинамика и теплообмен в канале" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Гидродинамика и теплообмен в канале"</p>
7.1	Особенности течения и теплообмена в каналах с разным поперечным сечением	11	2	-	4	-	-	-	-	-	-	5	-	
8	Различные способы	11	2	-	4	-	-	-	-	-	-	5	-	

	расчета теплообменных аппаратов													ориентированы на решения мини задач по разделу "Различные способы расчета теплообменных аппаратов". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Различные способы расчета теплообменных аппаратов" <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции и семинарских задач <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 "Различные способы расчета теплообменных аппаратов" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Различные способы расчета теплообменных аппаратов и подготовка к контрольной работе <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Различные способы расчета теплообменных аппаратов" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Различные способы расчета теплообменных аппаратов" <b><u>Изучение материалов литературных</u></b>
8.1	Способы расчета теплообменных аппаратов	11		2	-	4	-	-	-	-	-	5	-	

													<u>источников:</u> [4], 35-82
	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. Процессы теплообмена и математическое моделирование

1.1. Математическое моделирование - метод теоретического исследования тепло- и массообменных процессов

Основы передачи тепла и способы передачи тепла.. Использование теории подобия для переноса единичного опыта на большую группу случаев данного явления.. Использование таких понятий как модель, математическое моделирование и математическая модель.. Два метода выбора системы координат и общая формулировка законов сохранения.. Вывод уравнения неразрывности и уравнения энергии в одномерной постановке задачи..

#### 2. Повышение эффективности теплообменных поверхностей при использовании ребер

2.1. Поверхностные интенсификаторы теплообмена

Различные способы интенсификации теплообменных поверхностей.. Применение ребер в качестве интенсификаторов процесса.. Стационарное и нестационарное охлаждение (нагрев) одиночного ребра.. Аналитическое решение уравнения энергии для нестационарного охлаждения ребра.. Явная и неявная схема.. Число Био и коэффициент эффективности ребра. Понятие идеального ребра.. Теплопроводность через оребренную стенку..

#### 3. Численные методы решения тепловых задач

3.1. Метод контрольного объема и его реализация в среде Mathcad/SMATHStudio

Решение тепловых задач методом контрольного объема. Использование граничных условий первого, второго и третьего рода.. Преобразование дифференциального уравнения в дискретный аналог и использование метода прогонки для решения системы линейных уравнений.. Основные правила, которые должны выполняться для обеспечения физичности решения и сохранения баланса..

#### 4. Программные комплексы с технологией CFD

4.1. CFD-технология (Вычислительная гидродинамика) в программах PHOENICS, Fluent, Comsol, Open Foam и другие.

Интерфейс. Пошаговая инструкция построения трехмерного объекта, формирование математической модели процесса, задание исходных данных, расчет и визуализация его результатов.. Пример численного моделирования процесса теплообмена для канала с постоянным тепловым потоком на нижней поверхности.

#### 5. Конвекция. Ламинарное обтекание плоской пластины

5.1. Ламинарный режим течения при внешнем обтекании пластины

Преобразование системы дифференциальных уравнений неразрывности, движения и энергии для модели пограничного слоя.. Определение толщины пограничного слоя и толщины вытеснения. Обтекание плоской пластины при ламинарном режиме течения.. Использование безразмерных координат. Определение местного и среднего коэффициента сопротивления трения на поверхности пластины. Образование гидродинамического пограничного слоя.. Соотношение между тепловыми и гидродинамическими слоями, аналогия Рейнольдса. Зависимости для чисел Нуссельта и для определения средней теплоотдачи..

#### 6. Турбулентное обтекание плоской пластины

### 6.1. Турбулентный режим течения при внешнем обтекании пластины

Образование турбулентного пограничного слоя. Области течения в турбулентном пограничном слое. Распределение скорости в различных областях течения, универсальный профиль скорости.. Модель пути смешения Прандтля.  $k$ - $\epsilon$  модель турбулентности, кинетическая энергия турбулентных пульсаций, скорость диссипации этой энергии.. Использование пристенных функций. Вычисление коэффициента трения и теплообмена по профилю скорости и температуры. Понятия SKAN и SKIN.. Переходный пограничный слой. Факторы, влияющие на поведение потока при естественном переходе..

## 7. Гидродинамика и теплообмен в канале

### 7.1. Особенности течения и теплообмена в каналах с разным поперечным сечением

Гидродинамика и теплообмен в плоском канале и трубе при ламинарном течении. Формула Пуазейля, вывод коэффициента сопротивления. Определение длины начального участка. Формула Дарси-Вейсбаха. Смыкание гидродинамических и тепловых пограничных слоев.. Гидродинамика и теплообмен в плоском канале и трубе при турбулентном течении. Выражение для  $\xi$  и  $Nu$  при турбулентном течении в канале.. Способы интенсификации теплообмена.

## 8. Различные способы расчета теплообменных аппаратов

### 8.1. Способы расчета теплообменных аппаратов

Численные модели для прямоточного и противоточного теплообмена.. Средний логарифмический напор. Метод  $\epsilon$ - $N$ , эффективность, число единиц переноса. Метод вычисления поля давления.. Методы оптимизации теплообмена. Выбор критериев оптимизации теплообменного аппарата. Пример расчета теплообмена в программном комплексе, который использует CFDтехнологию.

## **3.3. Темы практических занятий**

1. Основные способы передачи тепла;
2. Теория подобия и её приложения;
3. Электротепловая аналогия при расчете сложного теплообмена;
4. Расчет задачи стационарного охлаждения ребра численными методами. Аналитическое решение. Граничные условия;
5. Особенности метода контрольного объема. Линеаризация источника. Правила для дискретного аналога. Метод прогонки. Способы разбиения;
6. Расчет задачи стационарного охлаждения ребра методом контрольного объема (нестационарная задача). Явная и неявная схема;
7. Неопределенность в результатах измерений и в вычислительных процедурах;
8. Ламинарное течение жидкости вдоль плоской пластины. Переходный пограничный слой. Факторы, влияющие на переход. Турбулентное течение жидкости вдоль плоской пластины;
9. Поверочный расчет пластинчатого воздухоподогревателя с интенсификаторами в виде шаровых сегментов;
10. Модель пути смешения Прандтля. Модели турбулентности. Применение модели турбулентности для расчета охлаждения плоской поверхности;
11. Ламинарное и турбулентное течение и теплообмен в каналах разной формы поперечного сечения;
12. Математическая модель задачи оптимизации.



**3.4. Темы лабораторных работ**  
не предусмотрено

**3.5 Консультации**

**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		
<b>Знать:</b>											
– критерии и методы оптимизации теплообменных аппаратов.	ИД-1пк-3		+							+	Расчетное задание/Расчет трехканального теплообменника и оптимизация параметров интенсификатора теплообмена
– основные термины, определения, понятия и законы, используемые при моделировании процессов тепло- и массообмена;	ИД-1пк-3							+	+		Расчетное задание/Ламинарное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале  Тестирование/Модель-Задача-Метод. Основные операции моделирования в средах, использующих CFD технологию  Контрольная работа/Структура пограничного слоя при турбулентном течении  Расчетное задание/Турбулентное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале
– аналитические, численные и аналоговые методы, используемые для расчета тепло- и массопереноса в твердых, жидких и газообразных телах;	ИД-2пк-3	+		+							Расчетное задание/Стационарное и нестационарное охлаждение ребра
– смысл и цели моделирования, виды моделей и их свойства, теорию подобия и основные этапы моделирования.	ИД-2пк-3	+									Тестирование/Термины и определения, используемые при моделировании тепло- и массообмена (ТМО). Погрешность при работе с приближенными числами
<b>Уметь:</b>											
– работать с приближенными числами и правильно определять неопределенность (погрешность)	ИД-1пк-3	+									Тестирование/Термины и определения, используемые при моделировании тепло- и массообмена (ТМО). Погрешность при работе с

исходных данных и искомых величин;										приближенными числами Расчетное задание/Турбулентное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале
– разработать математическую модель задачи оптимизации теплообменного аппарата и решить её, используя современные критерии и методы расчета (аналитические и численные).	ИД-1 <sub>ПК-3</sub>		+						+	Контрольная работа/Модели и методы решения задачи об охлаждении одиночного ребра Расчетное задание/Расчет трехканального теплообменника и оптимизация параметров интенсификатора теплообмена
- оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы.	ИД-2 <sub>ПК-3</sub>								+	Расчетное задание/Ламинарное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале Расчетное задание/Расчет трехканального теплообменника и оптимизация параметров интенсификатора теплообмена Расчетное задание/Турбулентное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале
– самостоятельно ставить и решать задачи, связанные с расчетом тепло- и массообменных процессов в вычислительных комплексах CFD;	ИД-2 <sub>ПК-3</sub>				+					Расчетное задание/Расчет трехканального теплообменника и оптимизация параметров интенсификатора теплообмена Расчетное задание/Стационарное и нестационарное охлаждение ребра Контрольная работа/Структура пограничного слоя при турбулентном течении

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

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

#### **1 семестр**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Модель-Задача-Метод. Основные операции моделирования в средах, использующих CFD технологию (Тестирование)
2. Термины и определения, используемые при моделировании тепло- и массообмена (ТМО). Погрешность при работе с приближенными числами (Тестирование)

Форма реализации: Письменная работа

1. Модели и методы решения задачи об охлаждении одиночного ребра (Контрольная работа)
2. Структура пограничного слоя при турбулентном течении (Контрольная работа)

Форма реализации: Смешанная форма

1. Ламинарное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале (Расчетное задание)
2. Расчет трехканального теплообменника и оптимизация параметров интенсификатора теплообмена (Расчетное задание)
3. Стационарное и нестационарное охлаждение ребра (Расчетное задание)
4. Турбулентное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале (Расчетное задание)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

#### Экзамен (Семестр №1)

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

В диплом выставляется оценка за 1 семестр.

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

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Патанкар, С. В. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах : пер. с англ. / С. В. Патанкар . – М. : Изд-во МЭИ, 2003 . – 312 с. - ISBN 5-7046-0898-1 .;
2. А. В. Диков, С. В. Степанова- "Математическое моделирование и численные методы", Издательство: "Пензенский государственный педагогический университет (ПГПУ)", Пенза, 2000 - (162 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=96973>;

3. Султангузин, И. А. Математическое моделирование и оптимизация промышленных теплоэнергетических систем : учебное пособие по курсу "Алгоритмизация, моделирование и оптимизация теплоэнергетических систем промышленных предприятий" по направлению "Теплоэнергетика" / И. А. Султангузин, Ю. В. Яворовский, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2009 . – 92 с. - ISBN 978-5-383-00295-7 .  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=782;](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=782)

4. Введение в математическое моделирование : учебное пособие для вузов по направлению 511200 "Математика. Прикладная математика" / В. Н. Ашихмин, и др. – М. : Логос, 2007 . – 440 с. – (Новая унив. б-ка) . - ISBN 978-5-9870403-7-0 ..

### **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. SimInTech;
6. SmathStudio;
7. OpenFOAM.

### **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. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
5. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>

### **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

<b>Тип помещения</b>	<b>Номер аудитории, наименование</b>	<b>Оснащение</b>
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-104-1, Кабинет сотрудников каф. "ТМПУ"	стол, стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, колонки, многофункциональный центр,

		компьютер персональный
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	В-02, Архив	стеллаж для хранения книг, стол для работы с документами, стул

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Математическое моделирование

(название дисциплины)

#### 1 семестр

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

- КМ-1 Термины и определения, используемые при моделировании тепло- и массообмена (ТМО). Погрешность при работе с приближенными числами (Тестирование)
- КМ-2 Модель-Задача-Метод. Основные операции моделирования в средах, использующих CFD технологию (Тестирование)
- КМ-3 Модели и методы решения задачи об охлаждении одиночного ребра (Контрольная работа)
- КМ-4 Структура пограничного слоя при турбулентном течении (Контрольная работа)
- КМ-5 Стационарное и нестационарное охлаждение ребра (Расчетное задание)
- КМ-6 Ламинарное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале (Расчетное задание)
- КМ-7 Турбулентное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале (Расчетное задание)
- КМ-8 Расчет трехканального теплообменника и оптимизация параметров интенсификатора теплообмена (Расчетное задание)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
		Неделя КМ:	4	7	9	11	12	13	14	16
1	Процессы тепломассообмена и математическое моделирование									
1.1	Математическое моделирование - метод теоретического исследования тепло- и массообменных процессов		+				+		+	
2	Повышение эффективности теплообменных поверхностей при использовании ребер									
2.1	Поверхностные интенсификаторы теплообмена				+					+
3	Численные методы решения тепловых задач									
3.1	Метод контрольного объема и его реализация в среде Mathcad/SMATHStudio						+			
4	Программные комплексы с технологией CFD									
4.1	CFD-технология (Вычислительная гидродинамика) в программах					+	+			+

	PHOENICS, Fluent, Comsol, Open Foam и другие.								
5	Конвекция. Ламинарное обтекание плоской пластины								
5.1	Ламинарный режим течения при внешнем обтекании пластины		+		+		+	+	
6	Турбулентное обтекание плоской пластины								
6.1	Турбулентный режим течения при внешнем обтекании пластины		+		+		+	+	
7	Гидродинамика и теплообмен в канале								
7.1	Особенности течения и теплообмена в каналах с разным поперечным сечением						+	+	+
8	Различные способы расчета теплообменных аппаратов								
8.1	Способы расчета теплообменных аппаратов			+					+
Вес КМ, %:		10	10	10	10	10	15	15	20