

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

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.05
Трудоемкость в зачетных единицах:	1 семестр - 5;
Часов (всего) по учебному плану:	180 часов
Лекции	1 семестр - 32 часа;
Практические занятия	1 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	1 семестр - 16 часов;
Консультации	1 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	1 семестр - 97,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Тестирование Контрольная работа Лабораторная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	1 семестр - 0,5 часа;

Москва 2021

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

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
режимов работы		- - оформлять, представлять и 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 5 зачетных единиц, 180 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	Процессы теплообмена и математическое моделирование	18	1	4	2	4	-	-	-	-	-	8	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [11], 3-90 [13], 123-261 [14], 5-50 [15], 51-70 [16], 205-250 [17], 1-30 [18], 5-50	
1.1	Математическое моделирование - метод теоретического исследования тепло- и массообменных процессов	18		4	2	4	-	-	-	-	-	8	-		
2	Повышение эффективности теплообменных поверхностей при использовании ребер	18		4	2	4	-	-	-	-	-	8	-		<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [6], 150-230 [11], 3-90
2.1	Поверхностные интенсификаторы теплообмена	18		4	2	4	-	-	-	-	-	8	-		
3	Численные методы решения тепловых задач	18		4	2	4	-	-	-	-	-	8	-		<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [5], 126-250 [16], 125-150
3.1	Метод контрольного объема и его реализация в среде Mathcad	18		4	2	4	-	-	-	-	-	8	-		
4	Программный комплекс PHOENICS.	18		4	2	4	-	-	-	-	-	8	-		<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 10-40
4.1	CFD-технология	18		4	2	4	-	-	-	-	-	8	-		

	(Вычислительная гидродинамика) в программе PHOENICS												[3], 3-55
5	Конвекция. Ламинарное обтекание плоской пластины	18	4	2	4	-	-	-	-	-	8	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 5-30
5.1	Ламинарный режим течения при внешнем обтекании пластины	18	4	2	4	-	-	-	-	-	8	-	
6	Турбулентное обтекание плоской пластины	18	4	2	4	-	-	-	-	-	8	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], 6-75
6.1	Турбулентный режим течения при внешнем обтекании пластины	18	4	2	4	-	-	-	-	-	8	-	
7	Гидродинамика и теплообмен в канале	18	4	2	4	-	-	-	-	-	8	-	
7.1	Особенности течения и теплообмена в каналах с разным поперечным сечением	18	4	2	4	-	-	-	-	-	8	-	
8	Различные способы расчета теплообменных аппаратов	18	4	2	4	-	-	-	-	-	8	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [7], 200-230 [8], 5-123
8.1	Способы расчета теплообменных аппаратов	18	4	2	4	-	-	-	-	-	8	-	[9], 10-50, 66-105 [10], 9-76 [12], 3-90
	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		

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. 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 ребренную стенку..

3. Численные методы решения тепловых задач

3.1. Метод контрольного объема и его реализация в среде Mathcad

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. Программный комплекс PHOENICS.

4.1. CFD-технология (Вычислительная гидродинамика) в программе PHOENICS

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 - ϵ 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 ξ 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 ϵ - N , эффективность, число единиц переноса. Метод вычисления поля давления.. Методы оптимизации теплообмена. Выбор критериев оптимизации теплообменного аппарата. Расчет теплообмена в программном комплексе PHOENICS..

3.3. Темы практических занятий

1. 13. Математическая модель расчета регенеративного вращающегося теплообменника (2 часа);
2. 12. Математическая модель расчета тепло и массообмена при взаимодействии воздуха с водой. Общий принцип построения камер увлажнения воздуха (2 часа);
3. 11. Ламинарное и турбулентное течение и теплообмен в каналах разной формы поперечного сечения. Контрольная работа № 2. (2 часа);
4. 10. Модель пути смешения Прандтля. Модели турбулентности. Применение модели турбулентности для расчета охлаждения плоской поверхности;
5. 9. Поверочный расчет пластинчатого воздухоподогревателя с интенсификаторами в виде шаровых сегментов. (2 часа);
6. 8. Ламинарное течение жидкости вдоль плоской пластины. Переходный пограничный слой. Факторы, влияющие на переход. Турбулентное течение жидкости вдоль плоской пластины. (2 часа);
7. 7. Неопределенность в результатах измерений и в вычислительных процедурах. Контрольная работа № 1. (2 часа);
8. 6. Расчет задачи стационарного охлаждения ребра методом контрольного объема (нестационарная задача). Явная и неявная схема. (2 часа);
9. 5. Особенности метода контрольного объема. Линеаризация источника. Правила для дискретного аналога. Метод прогонки. Способы разбиения. (2 часа);
10. 4. Расчет задачи стационарного охлаждения ребра численными методами. Аналитическое решение. Граничные условия. (2 часа);
11. 3. Электротепловая аналогия при расчете сложного теплообмена (2 часа);

12. 2. Теория подобия и её приложения (2 часа);
13. 1. Основные способы передачи тепла (2 часа);
14. 14. Математическая модель автоматической регулировки расхода воздуха в системе воздуховодов (2 часа);
15. 15. Математическая модель задачи оптимизации (4 часа).

3.4. Темы лабораторных работ

1. № 4. Расчет трехканального теплообменника и оптимизация параметров интенсификатора теплообмена (4 часа):

- моделирование турбулентного течения и теплообмена в трехканальном теплообменнике посредством программы PHOENICS/FLUENT (2 часа);
- оптимизация параметров прямоугольного ребра, с точки зрения максимальной теплоотдачи, в программе Mathcad. (2 часа);

2. № 3. Моделирование течения и теплообмена в канале круглого / прямоугольного сечения при помощи программы PHOENICS/FLUENT. (4 часа).;

3. № 2. Течение и теплообмен на пластине. Решение с использованием программы PHOENICS/FLUENT и с использованием полуэмпирических соотношений (4 часа).;

4. № 1. Охлаждение одиночного ребра. Аналитическое решение, численное решение методом контрольного объема, и расчет в пакете численного моделирования PHOENICS/ FLUENT (4 часа)..

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		
Знать:											
– основные термины, определения, понятия и законы, используемые при моделировании процессов тепло- и массообмена;	ИД-1пк-3					+	+				Лабораторная работа/Ламинарное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале Контрольная работа/Структура пограничного слоя при турбулентном течении Лабораторная работа/Турбулентное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале
– критерии и методы оптимизации теплообменных аппаратов.	ИД-1пк-3									+	Тестирование/Модель-Задача-Метод. Основные операции моделирования в средах PHOENICS и Mathcad
– 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
– аналитические, численные и аналоговые методы, используемые для расчета тепло- и массопереноса в твердых, жидких и газообразных телах;	ИД-2пк-3	+		+							Лабораторная работа/Стационарное и нестационарное охлаждение ребра
Уметь:											
– разработать математическую модель задачи оптимизации теплообменного аппарата и решить её, используя современные критерии и методы расчета (аналитические и численные).	ИД-1пк-3									+	Лабораторная работа/Расчет трехканального теплообменника и оптимизация параметров интенсификатора теплообмена
– работать с приближенными числами и правильно определять	ИД-1пк-3	+									Тестирование/Термины и определения, используемые при моделировании тепло- и

неопределенность (погрешность) исходных данных и искомых величин;									массообмена (ТМО). Погрешность при работе с приближенными числами Лабораторная работа/Турбулентное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале
- оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы.	ИД-2ПК-3							+	Лабораторная работа/Ламинарное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале Лабораторная работа/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 (Mathcad и PHOENICS);	ИД-2ПК-3		+		+			+	Контрольная работа/Модели и методы решения задачи об охлаждении одиночного ребра Лабораторная работа/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 PHOENICS и Mathcad (Тестирование)
2. Термины и определения, используемые при моделировании тепло- и массообмена (ТМО). Погрешность при работе с приближенными числами (Тестирование)

Форма реализации: Допуск к лабораторной работе

1. Ламинарное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале (Лабораторная работа)
2. Стационарное и нестационарное охлаждение ребра (Лабораторная работа)
3. Турбулентное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале (Лабораторная работа)

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. Расчет трехканального теплообменника и оптимизация параметров интенсификатора теплообмена (Лабораторная работа)

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. Сергиевский, Э. Д. Применение комплекса численного моделирования Fluent для задач промышленной теплоэнергетики : учебное пособие по курсу "Математическое моделирование и оптимизация систем теплоснабжения и кондиционирования" по направлению "Теплоэнергетика" / Э. Д. Сергиевский, Е. В. Овчинников, А. Н. Крылов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2006 . – 80 с. - ISBN 5-903072-89-5 .;

2. Глазов, В. С. Введение в программный комплекс PHOENICS : учебное пособие по курсу "Математическое моделирование" по направлению "Теплоэнергетика и теплотехника" / В. С. Глазов, Н. В. Хомченко, А. Ю. Маскинская ; ред. В. С. Глазов ; Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2017 . – 60 с. - ISBN 978-5-7046-1784-6 .
http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=8973;
3. Глазов, В. С. Численное моделирование в среде PHOENICS и MATHCAD : учебное пособие по курсу "Математическое моделирование" / В. С. Глазов, Н. В. Хомченко, А. А. Арбатский ; ред. В. С. Глазов ; Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2017 . – 56 с. - ISBN 978-5-7046-1783-9 .
http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=8972;
4. Патанкар, С. В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости : пер. с англ. / С. В. Патанкар . – М. : Энергоатомиздат, 1984 . – 150 с.;
5. 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 .;
6. Амосов, А. А. Учебное пособие по курсу "Основы математического моделирования": Вычислительные методы решения инженерных задач. Нелинейные уравнения и системы. Задачи линейной алгебры / А. А. Амосов, Ю. А. Дубинский, Н. В. Копченова ; Ред. Ю. А. Дубинский ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ) . – М. – 1991 . – 234 с.;
7. Амосов, А. А. Вычислительные методы для инженеров : учебное пособие для вузов / А. А. Амосов, Ю. А. Дубинский, Н. В. Копченова . – 2-е изд., доп. – М. : Изд-во МЭИ, 2003 . – 596 с. - ISBN 5-7046-0919-8 .;
8. Амосов, А. А. Вычислительные методы решения инженерных задач. Обыкновенные дифференциальные уравнения : Учебное пособие по курсу "Основы математического моделирования" / А. А. Амосов, Ю. А. Дубинский, Н. В. Копченова ; Ред. Ю. А. Дубинский ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ) . – 1992 . – 128 с. : 3.50 .;
9. Амосов, А. А. Вычислительные методы : учебное пособие / А. А. Амосов, Ю. А. Дубинский, Н. В. Копченова . – 4-е изд., стер . – Санкт-Петербург : Лань, 2021 . – 672 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература) . - ISBN 978-5-8114-1623-3 .;
10. Мжельский, Б. И. Введение в теорию оптимизации : Учебное пособие по курсу "Оптимизация ЭВС и в САПР" по направлению "Информатика и вычислительная техника" / Б. И. Мжельский, Е. Б. Мжельская, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2001 . – 88 с. - ISBN 5-7046-0656-3 .;
11. Применение прикладных программных средств для решения задач промышленной теплоэнергетики : учебное пособие по курсам "Прикладные программные средства в теплоэнергетике", "Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических систем", "Численные методы моделирования" и др. по направлению "Теплоэнергетика и теплотехника" / А. В. Федюхин, И. А. Султангузин, С. Ю. Курзанов, и др., Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2016 . – 88 с. - ISBN 978-5-7046-1704-4 .
http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=8176;
12. 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;

13. 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 .;
14. Веткасов Н. И.- "Основы математического моделирования", Издательство: "УлГТУ", Ульяновск, 2017 - (144 с.)
<https://e.lanbook.com/book/165056>;
15. В. И. Ляшков- "Математическое моделирование и алгоритмизация задач теплоэнергетики", Издательство: "Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ)", Тамбов, 2012 - (139 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=277818>;
16. А. А. Самарский, А. П. Михайлов- "Математическое моделирование: идеи, методы, примеры", (2-е изд., испр.), Издательство: "Физматлит", Москва, 2005 - (320 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68976>;
17. В. М. Уздин- "Математическое моделирование: метод анализа размерности", Издательство: "Университет ИТМО", Санкт-Петербург, 2019 - (30 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=564012>;
18. Бугров А. Н., Кирпичева Е. Ю., Миловидова А. А., Махалкина Т. О.- "Математическое и компьютерное моделирование", Издательство: "Государственный университет «Дубна»", Дубна, 2019 - (71 с.)
<https://e.lanbook.com/book/154489>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. FlowVision;
3. Ansys / CAE Fidesys;
4. Scilab;
5. SimInTech;
6. SmathStudio;
7. OpenFOAM;
8. ParaView;
9. Логос.

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
8. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
9. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
10. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
---------------	-------------------------------	-----------

Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	В-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 лабораторных занятий	Ж-211, Компьютерный класс ИВЦ	стол, стул, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, компьютер персональный, кондиционер
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 PHOENICS и Mathcad (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 (Лабораторная работа)
- КМ-6 Ламинарное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале (Лабораторная работа)
- КМ-7 Турбулентное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале (Лабораторная работа)
- КМ-8 Расчет трехканального теплообменника и оптимизация параметров интенсификатора теплообмена (Лабораторная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
		Неделя КМ:	2	4	6	8	10	12	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						+			
4	Программный комплекс PHOENICS.									
4.1	CFD-технология (Вычислительная гидродинамика) в программе PHOENICS				+	+	+			

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, %:		5	5	15	20	20	15	15	5