

**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

**Оценочные материалы
по дисциплине
Математическое моделирование**

**Москва
2023**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

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)

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. 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 Применяет методы оптимизации и современные компьютерные программы при проектировании оборудования и выборе оптимальных режимов его работы

ИД-2 Применяет методы математического моделирования и современные компьютерные программы при расчете и выборе конструкций и режимов работы оборудования

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

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)

БРС дисциплины

1 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %								
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
	Срок КМ:	4	7	9	11	12	13	14	16
Процессы тепломассообмена и математическое моделирование									

Математическое моделирование - метод теоретического исследования тепло- и массообменных процессов	+				+		+	
Повышение эффективности теплообменных поверхностей при использовании ребер								
Поверхностные интенсификаторы теплообмена			+					+
Численные методы решения тепловых задач								
Метод контрольного объема и его реализация в среде Mathcad/SMATHStudio					+			
Программные комплексы с технологией CFD								
CFD-технология (Вычислительная гидродинамика) в программах PHOENICS, Fluent, Comsol, Open Foam и другие.				+	+			+
Конвекция. Ламинарное обтекание плоской пластины								
Ламинарный режим течения при внешнем обтекании пластины		+		+		+	+	
Турбулентное обтекание плоской пластины								
Турбулентный режим течения при внешнем обтекании пластины		+		+		+	+	
Гидродинамика и теплообмен в канале								
Особенности течения и теплообмена в каналах с разным поперечным сечением						+	+	+
Различные способы расчета теплообменных аппаратов								
Способы расчета теплообменных аппаратов			+					+
Вес КМ:	10	10	10	10	10	15	15	20

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-3	ИД-1 _{ПК-3} 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	Термины и определения, используемые при моделировании тепло- и массообмена (ТМО). Погрешность при работе с приближенными числами (Тестирование) Модель-Задача-Метод. Основные операции моделирования в средах, использующих CFD технологию (Тестирование) Модели и методы решения задачи об охлаждении одиночного ребра (Контрольная работа) Структура пограничного слоя при турбулентном течении (Контрольная работа) Ламинарное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале (Расчетное задание) Турбулентное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале (Расчетное задание) Расчет трехканального теплообменника и оптимизация параметров интенсификатора теплообмена (Расчетное задание)

		величин;	
ПК-3	ИД-2 _{ПК-3} 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 докладывать результаты выполненной работы.	Термины и определения, используемые при моделировании тепло- и массообмена (ТМО). Погрешность при работе с приближенными числами (Тестирование) Структура пограничного слоя при турбулентном течении (Контрольная работа) Стационарное и нестационарное охлаждение ребра (Расчетное задание) Ламинарное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале (Расчетное задание) Турбулентное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале (Расчетное задание) Расчет трехканального теплообменника и оптимизация параметров интенсификатора теплообмена (Расчетное задание)

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Термины и определения, используемые при моделировании тепло- и массообмена (ТМО). Погрешность при работе с приближенными числами

Формы реализации: Билеты (письменный опрос)

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

Вес контрольного мероприятия в БРС: 10

Процедура проведения контрольного мероприятия: Процедура проводится в форме самостоятельной работы. Студенты разбиваются на группы. Каждая группа получает свой вариант задания, который содержит 3 вопроса (2 на знание и 1 на умение). На подготовку письменных ответов отводится не более 20 мин.

Краткое содержание задания:

Дать письменный ответ на вопросы, касающиеся основных понятий и определений, используемых при математическом моделировании, а также с погрешностями, возникающих при операциях с приближенными числами

Контрольные вопросы/задания:

Знать: – смысл и цели моделирования, виды моделей и их свойства, теорию подобия и основные этапы моделирования.	1.1. Что такое распределённые, структурные, сосредоточенные модели. Привести примеры. 2. Верные значащие цифры числа в узком и широком смысле. 2.1. Сформулировать три теоремы подобия 2. Как определить погрешность при извлечении m -ого корня из приближенного числа? 3.1. Каковы основные этапы моделирования? 2. Какие существуют варианты записи приближенных чисел? 4.1. Перечислите основные требования к точности модели и ее назначению 2. Как определяется предельная относительная погрешность? 5.1. Как проверить адекватность математической модели и возможные причины неадекватности результатов моделирования? 2. Как определяется предельная абсолютная погрешность? 6.1. Что означают верификация и валидация математической модели? 2. Виды погрешностей и пример их использования при математических операциях с приближенными числами.
Уметь: – работать с приближенными числами и правильно определять неопределенность (погрешность) исходных данных и искомых величин;	1. Какое равенство точнее $a=11/7 \approx 1.57$; $b=511/2 \approx 7.14$? 2. Как отличить приближенное число 12300 с двумя последними нулями от точного числа 12300? 3. Чему равна предельная относительная погрешность произведения двух чисел $a=0,531$; $b=0,23$; $a*b=?$ 4. Чему равна предельная абсолютная погрешность суммы двух чисел $a=0,531$; $b=0,23$; $a+b=?$

	5.Чему равна сумма следующих приближенных чисел $28,3+146,85+108$? 6.Чему равен квадратный корень из приближенного числа 0,638?
--	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

КМ-2. Модель-Задача-Метод. Основные операции моделирования в средах, использующих CFD технологию

Формы реализации: Билеты (письменный опрос)

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

Вес контрольного мероприятия в БРС: 10

Процедура проведения контрольного мероприятия: Процедура проводится в форме самостоятельной работы. Студенты разбиваются на группы. Каждая группа получает свой вариант задания, который содержит два вопроса. На подготовку письменных ответов отводится не более 20 мин.

Краткое содержание задания:

а) Опишите суть последовательности “Модель-Задача-Метод” и её элементов. б) Дайте ответ на вопрос, касающийся операций, которые необходимо выполнить при математическом моделировании процесса/объекта в программах, использующих CFD технологию

Контрольные вопросы/задания:

Знать: – основные термины, определения, понятия и законы, используемые при моделировании процессов тепло- и массообмена;	1.Что такое модель и чем она отличается от задачи? Как задать геометрические параметры рабочей области и моделируемого объекта в программах, использующих CFD технологию? 2.Как связан метод с моделью и задачей? Как комплектуется математическая модель в программах, использующих CFD технологию и Mathcad/SMATHStudio? 3.Приведите пример математической модели, описывающей теплообмен между прямоугольным ребром и внешней средой. Как задать граничные условия в программах, использующих CFD технологию? 4.Что представляет собой численный метод
---	---

	контрольного объема? - Каких проблем необходимо избегать при создании расчётной сетки в программах, использующих CFD технологию? 5. - Каковы основные правила, которым должны подчиняться дискретные аналоги уравнений для обеспечения физичности решения и сохранения полного баланса? - Как задаются количество и формат вывода результатов расчёта в программах, использующих CFD технологию? 6. - Суть метода E-N. - Какие приёмы визуализации результатов моделирования используются в программах, использующих CFD технологию и Mathcad/SMATHStudio? 7. - Какие способы экспортирования данных из программ, использующих CFD технологию, в Mathcad/SMATHStudio вам известны и как их реализовать на практике? - Имеют ли программы, использующих CFD технологию свой язык программирования?
--	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

Оценка: не зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

КМ-3. Модели и методы решения задачи об охлаждении одиночного ребра

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 10

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студенты разбиваются на 2 группы. Каждая группа получает свой вариант задания, по результату которого проверяется умение создания математической модели процесса, подбора метода решения, проведения анализа и вывода по его завершению.

Краткое содержание задания:

Определить тепловой поток от одиночного ребра при доминирующем влиянии конвекции/излучения. Письменное представление решения задач должно быть структурировано следующим образом: Условие задачи – Математическая модель процесса – Метод решения – Результат решения в цифровом и графическом виде – Анализ и Вывод.

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: – разработать математическую модель задачи оптимизации теплообменного аппарата и решить её, используя современные критерии и методы расчета (аналитические и численные).	1.Свести задачу по расчету конвективного теплового потока от одиночного прямоугольного ребра с не теплоизолированным торцом к задаче с теплоизолированным торцом. Определить погрешность полученного результата при следующих исходных данных: $h=0.01$ м, $\delta=0.001$ м, $l=0.1$ м, $t_0=300$ °С, $t_\infty=50$ °С, $\alpha=10$ Вт/(м².К), $\lambda=20$ Вт/(м.К). 2.Определить результирующий поток излучения от объекта, представляющего собой длинный цилиндр с двумя продольными ребрами, которые расположены симметрично относительно его оси. Расчет провести при следующих исходных данных: Диаметр цилиндра $d=40$ м, высота ребер $h=10$ м. Температура и степень черноты цилиндра и ребер соответственно равны $t=10$ °С и $\epsilon=0.95$. Температура окружающей среды -10 °С.
--	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

КМ-4. Структура пограничного слоя при турбулентном течении

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 10

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студенты разбиваются на 2 группы. Каждая группа получает свой вариант задания, по результату которого проверяется знание и умение определять основные тепло-гидравлические характеристики течений в задачах внешнего/внутреннего (пластина/канал) конвективного теплообмена при его моделировании.

Краткое содержание задания:

Определять тепло-гидравлические характеристики турбулентного течения на пластине/в канале при моделировании конвективного теплообмена

Контрольные вопросы/задания:

Знать: – основные термины, определения, понятия и законы, используемые при моделировании процессов тепло- и массообмена;	1.Как определяются динамические скорость и координата? 2.Как связан универсальный профиль скорости со структурой пограничного слоя и как определяется степень турбулентности?
---	---

Уметь: – самостоятельно ставить и решать задачи, связанные с расчетом тепло- и массообменных процессов в вычислительных комплексах CFD;	1.Определить коэффициент трения, напряжения, число Нуссельта, коэффициент теплоотдачи и тепловой поток на стенки при следующих условиях: · длина и температура пластины 1 м и 5 оС, · температура и скорость набегающего потока 20 оС и 40.0 м/с, · плотность, теплопроводность и вязкость теплоносителя 1 кг/м³, 3.10-2 Вт/м/К, 15.10-6 м²/с, · молекулярное и турбулентное числа Прандтля 0.7 и 0.86. 2.Рассчитать интенсивность турбулентности на входе в канал и высоту пристеночной ячейки, соответствующей значению динамической координаты $y^+ = 3$ при условии, что $\rho = 1000$ кг/м³, $\mu = 0.015$ м/с, $d = 0.329$ м, $\mu = 0.001520$ кг/с/м.
--	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

КМ-5. Стационарное и нестационарное охлаждение ребра

Формы реализации: Смешанная форма

Тип контрольного мероприятия: Расчетное задание

Вес контрольного мероприятия в БРС: 10

Процедура проведения контрольного мероприятия: Перед выполнением практического задания студент изучает учебное пособие "Численное моделирование в среде PHOENICS и Mathcad", авторов Глазов В.С., Хомченко Н.В. и Арбатский А.А., акцентируя свое внимание на страницы 4-51. Затем сдаёт допуск к этой работе, т.е. отвечает на 3-5 вопросов, касающиеся этой работы. При положительных ответах, студент получает индивидуальное задание и приступает к моделированию на компьютере. По завершению этого процесса студент оформляет отчет в среде Mathcad/SMATHStudio, в котором отображает название работы, её цель, исходные данные, результаты численного и аналитического расчетов, их анализ и заключение о проделанной работе. Работа засчитывается если её результаты подтверждают умение студента достичь поставленной в ней цели.

Краткое содержание задания:

Выполнить численное и аналитическое моделирование охлаждения прямоугольного ребра при исходных данных, заданных преподавателем (материал ребра и коэффициент теплоотдачи). Сопоставить результаты расчета и сделать вывод о точности численного моделирования методом контрольного объема.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: — аналитические, численные и аналоговые методы, используемые для расчета тепло- и массопереноса в твердых, жидких и газообразных телах;	1.Какова цель и задачи работы “Стационарное и нестационарное охлаждение ребра” 2.Что представляет собой математическая модель стационарного/нестационарного охлаждения ребра? 3.Каковы выражения для расчета температуры, теплового потока и коэффициента эффективности ребра? 4.В чем суть метода контрольного объема? 5.Что подразумевается под дискретным аналогом уравнения, описывающего температурное поле ребра?
Уметь: — самостоятельно ставить и решать задачи, связанные с расчетом тепло- и массообменных процессов в вычислительных комплексах CFD;	1.Чем можно объяснить не совпадение результатов расчетов стационарного/нестационарного охлаждения ребра, выполненных в программе Mathcad/SMATHStudio и в комплексах, которые используют CFD технологию? 2.Сколько времени необходимо для выхода ребра на стационарный режим охлаждения и какие факторы влияют на длительность такого выхода? 3.На каком этапе расчета нестационарного охлаждения ребра проявляется высокая погрешность и почему? 4.Каков дискретный аналог стационарного/нестационарного охлаждения прямоугольного ребра? 5.Как корректно сравнить результаты расчетов по охлаждению прямоугольного ребра, выполненных численным и аналитическим способами?

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

КМ-6. Ламинарное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале

Формы реализации: Смешанная форма

Тип контрольного мероприятия: Расчетное задание

Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Перед выполнением лабораторной работы студент изучает учебное пособие "Введение в программный комплекс PHOENICS", авторов Глазов В.С., Хомченко Н.В. и Маскинская А.Ю., акцентируя свое внимание на страницы 42-59. Затем сдаёт допуск к этой работе, т.е. отвечает на 3-5 вопросов, касающиеся этой работы. При положительных ответах, студент получает индивидуальное задание и приступает к моделированию на компьютере. По завершению этого процесса студент оформляет отчет в среде Mathcad/SMATHStudio, в котором отображает своё ФИО, название работы, её цель, исходные данные, результаты моделирования в среде PHOENICS в сравнении с результатами расчетов по эмпирическим формулам, а также анализ и заключение о проделанной работе. Работа засчитывается если её результаты подтверждают умение студента достичь поставленной в ней цели.

Краткое содержание задания:

По исходным данным, заданных преподавателем, смоделировать в программе, которая использует CFD технологию, ламинарный тепло-аэро- или гидродинамический процесс, протекающий при внешнем обтекании пластины теплоносителем или при его движении в канале. Сопоставить результаты моделирования с результатами расчета по эмпирическим формулам и сделать вывод.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: – основные термины, определения, понятия и законы, используемые при моделировании процессов тепло- и массообмена;	1.Сформулировать цель и задачи работы “Ламинарное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале” 2.Каков алгоритм расчета искомых величин, основанный на полуэмпирических соотношениях? 3.Что представляет собой ламинарный режим течения на пластине/в канале и каковы его характеристики? 4.Что понимается под стабилизированным режимом течения и как определяется длина начального участка?
Уметь: – оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы.	1.Как изменяется профиль скорости вдоль пластины/канала при ламинарном режиме течения? 2.Отличается ли длина начального участка, полученная при моделировании, от расчетной по приближенной формуле? 3.Объясните не совпадение результатов расчетов чисел Нуссельта, выполненных по полуэмпирическим формулам и в программе, которая использует CFD технологию? 4.В чём не корректность профиля скоростей, представленный на рис. Б11 учебного пособия, и как её исправить?

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

КМ-7. Турбулентное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале

Формы реализации: Смешанная форма

Тип контрольного мероприятия: Расчетное задание

Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Перед выполнением лабораторной работы студент изучает учебное пособие "Введение в программный комплекс PHOENICS", авторов Глазов В.С., Хомченко Н.В. и Маскинская А.Ю., акцентируя свое внимание на страницы 10-41. Затем сдаёт допуск к этой работе, т.е. отвечает на 3-5 вопросов, касающиеся этой работы. При положительных ответах, студент получает индивидуальное задание и приступает к моделированию на компьютере. По завершению этого процесса студент оформляет отчет в среде Mathcad/SMATHStudio, в котором отображает своё ФИО, название работы, её цель, исходные данные, результаты моделирования в среде, которая использует CFD технологию, в сравнении с результатами расчетов по эмпирическим формулам, а также анализ и заключение о проделанной работе. Работа засчитывается если её результаты подтверждают умение студента достичь поставленной в ней цели.

Краткое содержание задания:

По исходным данным, заданных преподавателем, смоделировать в программе, которая использует CFD технологию, турбулентный тепло-аэро- или гидродинамический процесс, протекающий при внешнем обтекании пластины теплоносителем или при его движении в канале. Сопоставить результаты моделирования с результатами расчета по эмпирическим формулам и сделать вывод.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: – основные термины, определения, понятия и законы, используемые при моделировании процессов тепло- и массообмена;	1.Сформулировать цель и задачи работы “Турбулентное течение и теплообмен на пластине, в плоском/прямоугольном/кольцевом канале” 2.Каков алгоритм расчета искомых величин, основанный на полуэмпирических соотношениях? 3.Что представляют собой функции SKIN и STAN? 4.Как рассчитать коэффициенты трения и теплоотдачи с помощью функций SKIN и STAN при турбулентном обтекании пластины / в канале? 5.Модель пути смешения Прандтля?
Уметь: – работать с приближенными числами и правильно определять неопределенность (погрешность) исходных данных и искомых величин;	1.Чем можно объяснить не совпадение результатов расчетов, выполненных по эмпирическим формулам и в программе, которая использует CFD технологию?
Уметь: - оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной	1.Как задать расчет коэффициента теплоотдачи в программе, которая использует CFD технологию? 2.Какова величина u^+ в Вашем расчета и в чём её

работы.	важность? 3. Чем обусловлено изменение формы профиля и на каком расстоянии от входа влияние динамического пограничного слоя незначительно? 4. Каково основное допущение в k-ϵ модели турбулентности?
---------	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

КМ-8. Расчет трехканального теплообменника и оптимизация параметров интенсификатора теплообмена

Формы реализации: Смешанная форма

Тип контрольного мероприятия: Расчетное задание

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Процедура проводится в три этапа. 1-ый проходит в форме допуска к лабораторной работе, который включает два основных вопроса (цель и задачи работы) и три дополнительных вопроса, касающихся основных понятий, определений и методов, используемых при расчете теплообменных аппаратов и его элементов. 2-ой этап заключается в выполнении индивидуального задания, который заключается в тепло-гидравлическом расчете трехканального теплообменника и в определении параметров одиночного прямоугольного ребра (известной массы), обеспечивающих максимальную теплоотдачу. На 3-ем этап студент защищает результаты своей работы, которые представляет преподавателю на бумажном или электронном носителе.

Краткое содержание задания:

Выполнить в программе, которая использует CFD технологию, теплогидравлический расчет трехканального пластинчатого теплообменника при разных граничных условиях, а также определить оптимальные параметры интенсификатора (прямоугольного ребра заданной массы), при которых теплоотдача максимальна.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: — критерии и методы оптимизации теплообменных аппаратов.	1. Какова структура условной задачи оптимизации? 2. Укажите известные Вам методы оптимизации? 3. Приведите примеры задач условной и безусловной оптимизации. 4. Опишите графоаналитический метод решения задач оптимизации малой размерности.
---	---

	5.Приведите пример прямой и двойственной задачи оптимизации. 6.Какие критерии и целевые функции оптимизации теплообменных аппаратов Вам известны? 7.Что такое эффективность ребра и при каких его параметрах она =1? 8.Какие методы расчета теплообменных аппаратов Вам известны? 9.Сформулировать цель и задачи работы “Расчет трехканального теплообменника и оптимизация параметров интенсификатора теплообмена”
Уметь: – разработать математическую модель задачи оптимизации теплообменного аппарата и решить её, используя современные критерии и методы расчета (аналитические и численные).	1.Чему равен критерий Кирпичева, если отношение мощности на прокачку теплоносителей к количеству теплоты переданной за единицу времени от одного теплоносителя к другому равно 0,8 2.Будут ли отличаться по массе и теплоотдаче кольцевые ребра прямоугольного и трапециевидного профиля, если толщина 1-го равна средней толщине 2-го, а все прочие условия одинаковы?
Уметь: - оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы.	1.На какой критерий оптимизации положительно влияет загрязнение в трубчатом теплообменнике? 2.Какой профиль ребра известной массы является предпочтительным с точки зрения его теплоотдачи? 3.Как задать граничные условия 1, 2 и 3 рода для трехканального теплообменника? 4.Отличаются ли коэффициенты теплоотдачи в центральном и боковых каналах и надо ли учитывать этот факт при большем количестве каналов и вида граничных условий? 5.Влияет ли ограничение на толщину ребра, известной массы, на его максимальную теплоотдачу (величину теплового потока)? 6.Показать, как влияет коэффициенты теплопроводности материала ребра и условия теплообмена на величину теплового потока, исходящего от ребра при его охлаждении
Уметь: – самостоятельно ставить и решать задачи, связанные с расчетом тепло- и массообменных процессов в вычислительных комплексах CFD;	1.Как можно объяснить не совпадение результатов расчетов, выполненных по инженерной методике и программе, которая использует CFD технологию?

Описание шкалы оценивания:

Оценка: зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Не менее 50% правильных ответов

Оценка: не зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Менее 50% правильных ответов

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

1 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

1. Основные различия между термодинамикой и теплопередачей.
2. Модели (абстрактная и конкретная, с распределенными и сосредоточенными параметрами, статистическая и регрессионная). Примеры.
3. Какое из чисел определено точнее: $a = 11/13 = 0.846$ или $b = 511/2 = 7.14$?

Процедура проведения

Экзаменатор раскладывает на столе билеты так, чтобы их содержание не было видно студенту. Студент предъявляет свою зачетку, произвольно выбирает билет и озвучивает его номер. Экзаменатор фиксирует ФИО студента, время и номер билета. На подготовку ответа по билету отводится не более 45 мин. По истечению указанного времени или готовности студента, экзаменатор выслушивает ответы и задает дополнительные вопросы, ответы на которые могут дать представление о глубине знаний студента. Результат сдачи экзамена фиксируется в зачетной ведомости и в зачетке студента.

1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

1. Компетенция/Индикатор: ИД-1_{ПК-3} Применяет методы оптимизации и современные компьютерные программы при проектировании оборудования и выборе оптимальных режимов его работы

Вопросы, задания

- 1.
1. Математическая модель оптимизации прямоугольного ребра.
2. Три теоремы подобия и их роль в создании математических и физических моделей.
3. Верно ли утверждение, что, если к основанию цилиндров, отличающихся только материалом, подвести одинаковый тепловой поток, то тот цилиндр, на вершине которого начнет раньше испаряться капля жидкости, будет обладать большим коэффициентом теплопроводности. Ответ необходимо обосновать.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Что такое CFD и какие программы используют эту технологию?

Ответы:

1. CFD - Это вычислительная гидродинамика. Она реализована в программах AnSys Fluent, Comsol, PHOENICS и др.
2. CFD - Computational Fluid Dynamics, реализованная в программах Maple, Scilab, MatLab и др.

Верный ответ: 1

2. Зачем теплопроводы изолируют, если коэффициент теплопроводности воздуха меньше коэффициента теплопроводности любого теплоизоляционного материала?

Ответы:

1. Для того, чтобы увеличить теплоотдачу.
2. Для того, чтобы снизить тепловые потери.

Верный ответ: 1&2 - Если целью является увеличение теплоотдачи, например для теплого пола, то радиус/диаметр тепловой изоляции должны соответствовать их критическому значению. Если же целью является снижение тепловых потерь, то её достижение зависит не только от теплопроводности, окружающего теплопровод материала, а еще и от его свойств по отношению к конвекции и излучению, которые являются составляющими теплоотдачи.

3. Чем отличается задача условной оптимизации от без условной?

Ответы:

1. Условная задача оптимизации отличается от безусловной наличием ограничений в виде равенств и/или неравенств, а также область допустимых значений используемых величин.
2. Обе задачи имеют разные целевые функции.

Верный ответ: 1

2. Компетенция/Индикатор: ИД-2ПК-3 Применяет методы математического моделирования и современные компьютерные программы при расчете и выборе конструкций и режимов работы оборудования

Вопросы, задания

1. 1. Суть метода контрольного объема. Правила, которым должны подчиняться дискретные аналоги уравнений для обеспечения физичности решения и сохранения полного баланса.
2. 2. Критерии оптимизации теплообменных аппаратов.
3. 3. Определить средние угловые коэффициенты излучения между плоскими бесконечно протяженными поверхностями, образующих систему, в поперечном сечении которой образуется треугольник со сторонами 3, 4 и 5.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Как отличить приближенное целое число 1200 с двумя сомнительными нулями от точного целого числа 1200?

Ответы:

1. 1. Если словами не указано, что число приближенное или точное, то никак!
2. 2. Форма записи приближенного числа такая: $M \cdot 10^p$, где M - мантисса (верные значащие числа), p - порядок, 10^p - характеристика. В заданном примере пишется так: $1.2 \cdot 10^3$.
3. 3. Если не указана погрешность числа, то, по умолчанию, все цифры, представленные в его записи, являются верными значащими цифрами.

Верный ответ: 2

2. Какое из следующих обобщений некорректно и почему?

1. Все нечетные числа простые. Пример: 1, 3, 11, 13 и т.д.
2. Согласно учебнику Михеев М.А. Основы теплопередачи (см. стр. 96) при $Gr_{hj} \cdot Pr_j > 10^9$ среднее число Нуссельта при свободной конвекции для вертикальных поверхностей следует определять по эмпирической формуле $Nu_{hd} = 0,15 \cdot (Gr_{hj} \cdot Pr_j)^{0,33} \cdot (Pr_j / Pr_{ст})^{0,25}$.

Ответы:

1. Корректны оба обобщения. Действительно, если для 1-го обобщения взять наугад нечетные числа 17, 37, 57 и даже 111, то получим, что все они являются простыми числами. Второе обобщение тоже верно, поскольку взято из известного учебника, проверенного временем.
2. Некорректно 2-ое обобщение, т.к. неравенство содержит опечатку.

3. Некорректно 1-ое обобщение поскольку числа 9, 15, 21 и т.д. нечетные, но делятся на 3.

Верный ответ: 2&3 - Оба обобщения некорректны. Примеры опровергающий 1-ое обобщение: 9, 15 и т.д. Некорректность 2-го обобщения заключается в отсутствии ограничения сверху для произведения Gr на Pr. Эмпирика основывается на эксперименте, в котором задействованы конечные величины. Кроме того, если следовать правилу записи приближенных чисел, то в численном значении произведения GrPr отсутствуют верные значащие цифры числа, т.е. указаны только сомнительные цифры.

3. Сформулируйте две разные задачи оптимизации ребра, в которых целевая функция и ограничения меняются местами.

Ответы:

1.1. Определить минимальное сопротивление изоляции трубы известного диаметра, при котором тепловой поток будет не более заданной величины.

1.2. Определить сопротивление изоляции трубы известного диаметра, при которой тепловой поток будет максимальным.

2.1. Определить максимальный тепловой поток от ребра минимальной массы.

2.2. Определить минимальную массу, при которой тепловой поток будет максимальным.

Верный ответ: 1.1 и 1.2

4. Критерии / целевые функции оптимизации теплообменных аппаратов

Ответы:

1. Количество передаваемого тепла при заданных массогабаритных характеристиках, мощность на прокачку при заданной тепловой нагрузке, а также комбинация (отношение) этих критериев, называемой критерием Кирпичёва.

2. Массогабаритные характеристики или количество передаваемого тепла при заданном перепаде давлений по тракту теплообменника.

3. Критерий Кирпичёва, отнесённый к единице теплообменной поверхности аппарата, затраты первичного топлива на изготовление и эксплуатацию теплообменника, суммарные дисконтированные затраты на приобретение и эксплуатацию аппарата за заданный срок его службы, а также комбинированные критерии.

Верный ответ: 1, 3

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

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