

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

**Направление подготовки/специальность: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

**Наименование образовательной программы: Цифровизация в тепловой и возобновляемой энергетике**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Тепломассообмен**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Шацких Ю.В.
	Идентификатор	R6ca75b8e-ShatskikhYV-f045f12f

Ю.В.  
Шацких

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рыженков А.В.
	Идентификатор	R97ba085e-RyzenkovAV-e7929df

А.В.  
Рыженков

Заведующий  
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рыженков А.В.
	Идентификатор	R97ba085e-RyzenkovAV-e7929df

А.В.  
Рыженков

## 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. ОПК-4 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

ИД-3 Демонстрирует понимание основных законов тепломассообмена и применяет их для расчетов элементов теплотехнических установок и систем

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Контрольная работа № 1. «Построение дискретного аналога краевой задачи» (Контрольная работа)
2. Тест № 1 «Введение в тепломассообмен» «Введение в ТМО» (Тестирование)
3. Тест № 3 «Излучение» (Тестирование)
4. Тест № 4 «Теплообменники» (Тестирование)
5. Тест № 5 «Конвективный теплообмен» (Тестирование)
6. Тест № 6 «Фазовые переходы» (Тестирование)
7. Тест №2 «Типовые задачи теплопроводности» (Решение задач)

Форма реализации: Защита задания

1. Защита расчётного задания № 1 (Расчетно-графическая работа)
2. Защита расчётного задания № 2 (Расчетно-графическая работа)
3. Защита расчётного задания № 3 (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита лабораторных работ № 1-4 (Лабораторная работа)
2. Защита лабораторных работ № 5-8 (Лабораторная работа)

## БРС дисциплины

4 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %							
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
	Срок КМ:	4	7	10	12	14	15	16
Введение в тепломассообмен. Способы переноса теплоты. Основные определения, терминология								
Способы переноса теплоты. Основные определения, терминология		+						

Элементы теории теплопроводности. Одномерные стационарные задачи теплопроводности							
Элементы теории теплопроводности. Одномерные стационарные задачи теплопроводности		+			+	+	
Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности							
Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности					+	+	
Введение в численные методы решения задач теплопроводности							
Введение в численные методы решения задач теплопроводности			+				
Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой							
Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой				+	+		+
Основы расчета теплообмена излучением между излучающе-поглощающей средой и поверхностями нагрева теплообменных устройств							
Основы расчета теплообмена излучением между излучающе-поглощающей средой и поверхностями нагрева теплообменных устройств							+
Вес КМ:	10	20	20	20	10	10	10

#### 5 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ- 1	КМ- 2	КМ- 3	КМ- 4	КМ- 5
	Срок КМ:	5	11	14	15	16
Введение в конвективный теплообмен						
Введение в конвективный теплообмен		+			+	
Внешняя задача конвективного теплообмена. Свободная и вынужденная конвекция						
Внешняя задача конвективного теплообмена. Свободная и вынужденная конвекция		+			+	+
Конвективная теплоотдача при течении жидкости в трубах (каналах)						
Конвективная теплоотдача при течении жидкости в трубах (каналах)					+	+
Теплообменные аппараты						
Теплообменные аппараты			+		+	+
Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя						
Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя				+	+	+

Основные понятия массообмена					
Основные понятия массообмена			+		
Вес КМ:	20	20	20	10	30

\$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
ОПК-4	ИД-3оПК-4 Демонстрирует понимание основных законов теплообмена и применяет их для расчетов элементов теплотехнических установок и систем	Знать: основные положения теории теплопроводности, теплопроводность при стационарном режиме переноса теплоты в жидких и газообразных телах, законы сохранения и превращения энергии, законы и основные физико-математические модели процессов переноса теплоты и массы применительно к процессам передачи и трансформации теплоты основные законы теплового излучения, теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой, теплообмен излучением в поглощающих и излучающих средах	Тест № 1 «Введение в теплообмен» «Введение в ТМО» (Тестирование) Тест №2 «Типовые задачи теплопроводности» (Решение задач) Контрольная работа № 1. «Построение дискретного аналога краевой задачи» (Контрольная работа) Тест № 3 «Излучение» (Тестирование) Защита лабораторных работ № 1-4 (Лабораторная работа) Защита расчётного задания № 1 (Расчетно-графическая работа) Защита расчётного задания № 2 (Расчетно-графическая работа) Тест № 4 «Теплообменники» (Тестирование) Тест № 5 «Конвективный теплообмен» (Тестирование) Тест № 6 «Фазовые переходы» (Тестирование) Защита лабораторных работ № 5-8 (Лабораторная работа) Защита расчётного задания № 3 (Расчетно-графическая работа)

		<p>терминологию теплообмена, физический смысл и размерности основных величин, используемых в теплообмене основные положения и уравнения теплового расчета теплообменных аппаратов закономерности теплообмена при фазовых превращениях Уметь: проводить теплотехнические эксперименты с целью изучения процессов переноса теплоты в энергетических и теплотехнологических установках рассчитывать теплообмен излучением в системе тел, заполненных излучающей и поглощающей средой экспериментального определения коэффициентов переноса теплоты (массы) в жидкостях и газах решать задачи</p>	
--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

		стационарной теплопроводности численными методами выполнять тепловые конструкторские и поверочные расчёты теплообменных аппаратов рассчитывать температурные поля и тепловые потоки в элементах конструкции тепловых и тепло-технологических установок с целью обеспечения нормального температурного режима работы элементов оборудования и минимизации потерь теплоты с использованием справочной литературы по теплофизическим свойствам твердых тел, жидкостей и газов	
--	--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--



## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### 4 семестр

#### КМ-1. Тест № 1 «Введение в теплообмен» «Введение в ТМО»

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводятся на практическом занятии, продолжительность работы 1 час. На всю группу дается 3 варианта

#### **Краткое содержание задания:**

В работе проверяется знание терминологии теплообмена: определения процессов передачи теплоты и массы, физический смысл и размерности основных величин, используемых в теплообмене

#### **Контрольные вопросы/задания:**

Знать: терминологию теплообмена, физический смысл и размерности основных величин, используемых в теплообмене	1. Размерность плотности теплового потока 2. Дифференциальное уравнение стационарной теплопроводности
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*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: 70*

*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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

#### КМ-2. Тест №2 «Типовые задачи теплопроводности»

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Решение задач

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка правильности решения задач. Проводятся на практическом занятии, продолжительность работы 1 час. На всю

группу выдается одна задача с индивидуальными исходными данными для каждого студента. Ошибки разбираются в группе

**Краткое содержание задания:**

Контрольная точка направлена на выявления навыков решения типовых задач теплопроводности

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные положения теории теплопроводности, теплопроводность при стационарном режиме	1.Определение плотности теплового потока для плоской и цилиндрической стенки 2.Закон Ньютона-Рихмана 3.Применение граничных условий
---------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*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: 70*

*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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

**КМ-3. Контрольная работа № 1. «Построение дискретного аналога краевой задачи»**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводятся на практическом занятии, продолжительность работы 1 час. На всю группу выдается 3 варианта

**Краткое содержание задания:**

В работе проверяется знание основ применения численных методов решения дифференциальных уравнений теплопроводности

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: решать задачи стационарной теплопроводности численными методами	1.
------------------------------------------------------------------------	----

**Задание:** По заданному эскизу: 1. словесно сформулировать решаемую задачу;  
 2. записать дифференциальное уравнение теплопроводности и условия однозначности применительно к задаче;  
 3. на сетке в 5 - 6 контрольных объемов численно методом контрольного объема рассчитать температурное поле в заштрихованной области;  
 4. рассчитать плотность теплового потока в области;  
 5. Вывести результаты в виде таблицы и графика;  
 6. Сравнить результаты с аналитическим решением (если оно существует) в виде таблицы и нанеся их на график численного решения.

**2.**

**Задание:** По заданному эскизу: 1. словесно сформулировать решаемую задачу;  
 2. записать дифференциальное уравнение теплопроводности и условия однозначности применительно к задаче;  
 3. на сетке в 5 - 6 контрольных объемов численно методом контрольного объема рассчитать температурное поле в заштрихованной области;  
 4. рассчитать плотность теплового потока в области;  
 5. Вывести результаты в виде таблицы и графика;  
 6. Сравнить результаты с аналитическим решением (если оно существует) в виде таблицы и нанеся их на график численного решения.

**3.**

**Задание:** По заданному эскизу: 1. словесно сформулировать решаемую задачу;  
 2. записать дифференциальное уравнение теплопроводности и условия однозначности применительно к задаче;  
 3. на сетке в 5 - 6 контрольных объемов численно методом контрольного объема рассчитать температурное поле в заштрихованной области;  
 4. рассчитать плотность теплового потока в области;  
 5. Вывести результаты в виде таблицы и графика;  
 6. Сравнить результаты с аналитическим решением (если оно существует) в виде таблицы и нанеся их на график численного решения.

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*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: 70*

*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*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

**КМ-4. Тест № 3 «Излучение»**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводятся на практическом занятии, продолжительность работы 1 час. На всю группу дается 3 варианта

**Краткое содержание задания:**

В работе проверяется знание процессов и физическая природа теплового излучения; лучистый теплообмен в замкнутой системе серых тел

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные законы теплового излучения, теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой, теплообмен излучением в поглощающих и излучающих средах	1.Закон излучения абсолютно черного тела
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*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: 70*

*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: 55*

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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

**КМ-5. Защита лабораторных работ № 1-4**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Лабораторные работы выполняются на занятиях. Фиксируются основные результаты и параметры. Проводится устный опрос по результатам выполнения и подготовки отчета

**Краткое содержание задания:**

В рамках лабораторных работ рассматриваются вопросы связанные с определением коэффициентов теплопроводности при стационарной (л.р.№1) и нестационарной теплопроводности (л.р.№2); определение интегральной степени черноты твердых тел калориметрическим методом (л.р.№18); определение углового коэффициента излучения методом светового моделирования (л.р. №19).

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: проводить теплотехнические эксперименты с целью изучения процессов переноса теплоты в	1.практика применения расчетных соотношений для теплового потока через цилиндрический слой 2.освоение методики компьютерной обработки экспериментальных данных
----------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

энергетических теплотехнологических установках	и	3. освоение и применение методов экспериментального определения степени черноты твёрдых тел 4. изучение и освоение методов экспериментального определения коэффициента теплопроводности газов и жидкостей; ознакомление с методами экспериментального определения теплофизических свойств материалов; изучение теории лучистого теплообмена (его законов), факторов, влияющих на интенсивность процесса теплового излучения
------------------------------------------------------	---	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*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: 70*

*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: 55*

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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

**КМ-6. Защита расчётного задания № 1**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** По результатам выполненной РГР на занятии отводится время для проверки результатов. Как правило, студент комментирует принятые решения при выполнении работы. На защиту работы отводится не более 10 минут.

**Краткое содержание задания:**

1. Определение конечной температуры и тепловых потерь теплоносителя, движущегося в длинном теплоизолированном трубопроводе и охлаждающегося в процессе стационарной теплопередачи. Вывод расчётной формулы, выбор оптимальной теплоизоляции. 2. Определение теплового потока и тепловых потерь простейшего теплообменного аппарата. Сравнение результатов расчета с учётом и без учёта переменности теплопроводности теплоизоляции от температуры. 3. Нестационарное охлаждение (нагревание) трёхмерного тела простой геометрии от начальной температуры в течение заданного промежутка времени. Расчёт температурного поля, моделирование регулярного режима охлаждения (нагревания), определение количества теплоты, отведённой от (подведённой к) тела за заданный временной промежуток

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь:	рассчитывать	1.рассчитывать температурные поля и тепловые
--------	--------------	----------------------------------------------

температурные поля и тепловые потоки в элементах конструкции тепловых и тепло-технологических установок с целью обеспечения нормального температурного режима работы элементов оборудования и минимизации потерь теплоты с использованием справочной литературы по теплофизическим свойствам твердых тел, жидкостей и газов	потоки в элементах конструкции тепловых и тепло-технологических установок с целью обеспечения нормального температурного режима работы элементов оборудования и минимизации потерь теплоты с использованием справочной литературы по теплофизическим свойствам твердых тел, жидкостей и газов
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*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: 70*

*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: 55*

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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

**КМ-7. Защита расчётного задания № 2**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** По результатам выполненной РГР на занятии отводится время для проверки результатов. Как правило, студент комментирует принятые решения при выполнении работы. На защиту работы отводится не более 10 минут.

**Краткое содержание задания:**

Расчёт тепловых потоков излучения и температуры поверхностей в замкнутой системе простой геометрии

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: рассчитывать теплообмен излучением в системе тел, заполненных излучающей и поглощающей средой	1.рассчитывать температурные поля и тепловые потоки в элементах конструкции тепловых и тепло-технологических установок
------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

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: 70

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: 55

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

## 5 семестр

### КМ-1. Тест № 5 «Конвективный теплообмен»

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводятся на практическом занятии, продолжительность работы 1 час. На всю группу дается 3 варианта

#### Краткое содержание задания:

В работе проверяется знание терминологии конвективного теплообмена: определения процессов передачи теплоты за счет конвекции, физический смысл и размерности основных величин, используемых в конвективном теплообмене

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: перенос теплоты в жидких и газообразных телах, законы сохранения и превращения энергии, законы и основные физико-математические модели процессов переноса теплоты и массы применительно к процессам передачи и трансформации теплоты	1.Что такое вынужденная и свободная конвекция
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

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: 70

*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:* 55

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

*Оценка:* 2

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

### **КМ-2. Тест № 4 «Теплообменники»**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводятся на практическом занятии, продолжительность работы 1 час. На всю группу дается 3 варианта

**Краткое содержание задания:**

В работе проверяются знание классификации теплообменных аппаратов, уравнения теплового баланса и теплопередачи, среднелогарифмического температурного напора; схем движения теплоносителей

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные положения и уравнения теплового расчета теплообменных аппаратов	1.Какие бывают виды теплообменных аппаратов
---------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* 5

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 85

*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:* 70

*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:* 55

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

*Оценка:* 2

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

### **КМ-3. Тест № 6 «Фазовые переходы»**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20



**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводятся на практическом занятии, продолжительность работы 1 час. На всю группу дается 3 варианта

**Краткое содержание задания:**

Теплоотдача при плёночной конденсации пара на вертикальной поверхности; расчет теплоотдачи при развитом пузырьковом и пленочном кипении в большом объеме

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: закономерности теплообмена при фазовых превращениях	1. Расчет коэффициента теплоотдачи при конденсации и кипении 2. Кривая кипения
------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*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: 70*

*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: 55*

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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

**КМ-4. Защита лабораторных работ № 5-8**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Лабораторные работы выполняются на занятиях. Фиксируются основные результаты и параметры. Проводится устный опрос по результатам выполнения и подготовки отчета

**Краткое содержание задания:**

Выполнение лабораторных работ: Лабораторная работа № 5 «Испытание рекуперативного теплообменника» – 1 работа (4 часа). Лабораторная работа № 6 «Теплоотдача при свободной и вынужденной конвекции жидкости» (4 часа). Лабораторная работа № 7 «Теплоотдача при течении жидкости в трубах (каналах)» (4 часа). Лабораторная работа № 8» Теплоотдача при кипении жидкостей в большом объеме» (4 часа).

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: экспериментального определения коэффициентов переноса теплоты (массы) в жидкостях и газах	1. расчет местного и среднего коэффициента теплоотдачи при течении теплоносителя; обработка опытных данных в критериальном виде 2. свободное движение жидкости; плотность
--------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	теплового потока; коэффициент теплоотдачи; влияние скорости движения теплоносителя
--	---------------------------------------------------------------------------------------

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*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: 70*

*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: 55*

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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

**КМ-5. Защита расчётного задания № 3**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** По результатам выполненной РГР на занятии отводится время для проверки результатов. Как правило, студент комментирует принятые решения при выполнении работы. На защиту работы отводится не более 10 минут.

**Краткое содержание задания:**

Упрощённый тепловой конструкторский и гидравлический расчёты рекуперативного теплообменного аппарата с определением поверхности нагрева и гидравлического сопротивления по трактам теплоносителей

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: выполнять тепловые конструкторские и поверочные расчёты теплообменных аппаратов	1.Определение температурного напор теплообменного аппарата 2.Расчет гидравлического сопротивления теплоносителя по тракту
----------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*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: 70*

*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: 55*

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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется  
если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 4 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-3<sub>ОПК-4</sub> Демонстрирует понимание основных законов теплообмена и применяет их для расчетов элементов теплотехнических установок и систем

#### **Вопросы, задания**

- 1.1. Решение задачи об охлаждении (нагревании) безграничной пластины в среде с постоянной температурой: Метод Фурье. Собственные числа и собственные функции задачи Штурма-Лиувилля. Основные их свойства.
2. Основные законы излучения абсолютно черного тела: закон Планка, смещения Вина, Стефана-Больцмана.
3. Задача.

Для эффективного охлаждения процессора ПК применён алюминиевый ребристый радиатор с кулером (вентилятором). Размеры одного ребра длина  $\times$  ширину  $\times$  толщину 20  $\times$  50  $\times$  1 мм. Кулер поддерживает коэффициент теплоотдачи 100 Вт/(м<sup>2</sup> К). Определите температуру в корневой части ребра, если при температуре охлаждающего воздуха 30°C каждое ребро должно отводить тепловой поток не менее 12 Вт. Теплопроводность алюминия принять равной 240 Вт/(м К).

- 2.1. Стационарная теплопроводность в плоском слое при граничных условиях первого рода и при нелинейной зависимости коэффициента теплопроводности от температуры.
2. Система алгебраических уравнений лучистого теплообмена в замкнутой системе  $N$  тел, разделенных поглощающей средой: «серое» приближение.
3. Задача.

Цилиндрический латунный стержень (пруток) диаметром 8 мм и длиной 100 мм "зажат" с торцов между двумя стенками, имеющими одинаковую температуру, равную 20°C. В зазоре, образованном стенками, движется теплоноситель, имеющий температуру 100°C и омывающий стержень с коэффициентом теплоотдачи, равным 10 Вт/м<sup>2</sup>/К. Рассчитать изменение температуры по длине стержня. Теплопроводность латуни принять равной 100 Вт/м/К.

- 3.1. Распространение теплоты вдоль ребра (стержня) постоянного поперечного сечения. Вывод дифференциального уравнения и его решение для бесконечно длинного ребра.
2. Природа излучения. Тепловое излучение. Спектры излучения твердых тел, жидкостей и газов.
3. Задача.

Стена здания толщиной 420 мм выполнена из красного кирпича с теплопроводностью 0,7 Вт/м\*К. Температура в помещении +20 градусов по Цельсию, на улице минус 20°C. Коэффициенты теплоотдачи, соответственно, равны: со стороны улицы 40 Вт/м<sup>2</sup>К, со стороны помещения 10 Вт/м<sup>2</sup>К. На стену падает поток солнечного излучения плотностью 150 Вт/м<sup>2</sup>, полностью поглощаемый стеной. Определить плотность теплового потока потерь из помещения.

- 4.1. Стационарная теплопроводность в однослойной и многослойной цилиндрической стенке при граничных условиях первого рода, постоянной теплопроводности и

отсутствии внутренних источников теплоты. Вывод формул для температурного поля и теплового потока.

2. Спектральные и интегральные характеристики излучения тел: поглощательная, отражательная, пропускательная способности, степень черноты.

3. Задача.

Безграничная пластина толщиной 20 мм с начальной температурой 200°C охлаждается в среде с постоянной температурой 20°C при значении коэффициента теплоотдачи 100 Вт/(м<sup>2</sup>×К). Коэффициент теплопроводности пластины равен 40 Вт/(м×К). Изобразите (качественно) распределение температуры по толщине пластины в различные моменты времени охлаждения

5.1. Получение дискретного аналога для одномерного стационарного уравнения теплопроводности с внутренним источником теплоты методом контрольного объёма.

2. Классификация потоков излучения. Формула Поляка.

3. Задача.

Трансформаторное масло с входной скоростью 0,05 м/с и температурой 100°C протекает по алюминиевой трубке диаметром 7\*1 мм и длиной 1,5 м, внешняя стенка которой имеет среднюю температуру 50°C. Коэффициент теплоотдачи от масла к внутренней поверхности трубки равен 300 Вт/м<sup>2</sup>/К. Определить температуру масла на выходе из трубки. Теплофизические свойства масла и алюминия взять из таблиц по входной температуре и, приближённо, считать постоянными.

6.1. Вычисление количества теплоты, отданного телом за время  $\tau$  от начала охлаждения.

2. Расчет лучистого теплообмена в системе «не серый газ в черной оболочке».

3. Задача.

Стальная труба с окисленной поверхностью проходит в помещении вдали от стен, имеющих температуру поверхностей 20°C. Температура поверхности трубы равна 230°C. Длина трубы - 10 м, наружный диаметр - 70 мм. Определить поток результирующего излучения с поверхности трубы. Считать поверхность трубы диффузной.

7.1. Стационарная теплопроводность в плоской стенке при граничных условиях первого рода и  $\lambda = f(t)$ .

2. Расчет лучистого теплообмена в замкнутой системе двух «серых» плоскостей, разделенных «серым» газом.

3. Задача.

Определить минимальную мощность паяльника, предназначенного для пайки двух **длинных** проволок из меди диаметром 2 мм, если температура плавления припоя 250°C. Пайка производится при температуре воздуха 15°C, коэффициент теплоотдачи 20 Вт/(м<sup>2</sup>×К), теплопроводность меди принять равной 390 Вт/м/К.

8.1. Охлаждение (нагревание) безграничной пластины в среде с постоянной температурой. Математическая формулировка задачи.

2. Определение теплового потока, отдаваемого прямоугольным ребром в стационарном процессе охлаждения.

3. Задача.

Пластина с равномерно распределенными внутренними источниками теплоты мощностью  $q_v$  Вт/м<sup>3</sup>, симметрично охлаждается с обеих поверхностей жидкостью с постоянной температурой  $t_{ж}$ , и при постоянном КТО. В этих условиях температура на поверхностях пластины одинакова:  $t_{ст}$ , а температура на оси симметрии пластины максимальна:  $t_0$ . Какая установится температура на одной из поверхностей пластины, если другая поверхность будет теплоизолирована?

9.1. Метод контрольного объёма. Дискретный аналог одномерного стационарного уравнения теплопроводности.

2. Угловые коэффициенты излучения: дифференциальный, локальный, средний.

Основные свойства угловых коэффициентов излучения.

3. Задача.

Две безграничные пластины одинаковой толщины – 40 мм - охлаждаются в среде с постоянной температурой при коэффициенте теплоотдачи  $1000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$ . Коэффициенты теплопроводности пластин соответственно равны 40 и  $0.013 \text{ Вт}/(\text{м} \times \text{К})$ . Определить, поверхность какой из пластин раньше достигнет температуры охлаждающей среды.

10.1. Стационарная теплопроводность плоской стенки при наличии внутренних источников теплоты. Определение профиля температуры и плотности теплового потока при граничных условиях первого и третьего рода.

2. Закон Бугера. Поглощательная и пропускательная способности, степень черноты газового слоя.

3. Задача.

В опыте по определению температуропроводности и теплопроводности материала методом регулярного режима, проведённом в условиях  $Bi \rightarrow 0$ , определены темпы охлаждения основного и эталонного калориметров:  $m$  и  $m_э$ . Определите коэффициент теплопроводности материала  $\lambda$ , если коэффициент его температуропроводности  $a$  был определён ранее в опыте при  $Bi \rightarrow \infty$ .

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Процесс молекулярного переноса теплоты в неподвижной сплошной среде описывается законом:

Ответы:

а) Ньютона-Рихмана; б) Ньютона; в) Фика; г) Стефана-Больцмана; д) Фурье; е) Джоуля-Ленца; е) Томпсона.

Верный ответ: д)

2. Предел отношения изменения температуры к расстоянию между изотермическими поверхностями, измеренному по нормали, называется:

Ответы:

а) скоростью изменения температуры б) градиентом поля температуры в) коэффициентом изменения температуры г) температурным полем д) плотностью теплового потока

Верный ответ: б)

3. Вектор градиента температурного поля направлен:

Ответы:

а) совпадает с направлением теплового потока б) в сторону уменьшения температуры в) в сторону увеличения температуры г) надо знать краевые условия задачи д) правильного ответа нет

Верный ответ: в)

4. Закон Стефана-Больцмана определяет:

Ответы:

а) Поток теплоты, уходящий от горячего источника к холодному; б) Конвективный поток теплоты между телом и жидкостью; в) Максимальную плотность потока излучения с поверхности тела; г) Плотность потока излучения абсолютно черного тела; д) Плотность молекулярного потока теплоты.

Верный ответ: г)

5. Величина с размерностью  $\text{Вт}/\text{м}^2/\text{К}$  может называться:

Ответы:

а) коэффициентом теплоотдачи; б) плотностью теплового потока; в) коэффициентом теплопередачи; г) тепловым потоком; д) удельной теплоёмкостью.

Верный ответ: а), в)

6. Отметьте правильные определения:

Ответы:

а) изотермические поверхности не пересекаются; б) вектор плотности теплового потока сонаправлен с вектором градиента температурного поля; в) коэффициент теплоотдачи численно равен количеству теплоты, проходящему через единичную поверхность в единицу времени при разности значений температуры поверхности и жидкости в один кельвин. г) при теплопередаче отсутствуют конвекция и теплопроводность; д) тепловой поток измеряется в джоулях; е) градиент температурного поля равен сумме произведений частных производных от температуры по направлениям осей системы координат на орты осей.

Верный ответ: а), в), е)

7. Количество теплоты, проходящее через единицу площади в единицу времени, называется:

Ответы:

а) тепловым потоком б) плотностью теплового потока в) коэффициентом эффективности поверхности г) градиентом поля температуры

Верный ответ: б)

8. Термическое сопротивление теплопередачи есть:

Ответы:

а) сумма термических сопротивлений теплоотдачи и теплопроводности; б) сумма термических сопротивлений теплоотдачи; в) сумма термических сопротивлений теплоотдачи минус термическое сопротивление теплопроводности; г) сумма термических сопротивлений теплопроводности; д) обратная величина суммы термических проводимостей слоёв.

Верный ответ: а)

9. Безразмерная температура  $\Theta$  в параллелепипеде с размерами  $b \times c \times d$  рассчитывается как:

Ответы:

а) температура бесконечного цилиндра радиуса  $\sqrt{cd}$ ; б) среднее арифметическое безразмерных температур пластин толщиной  $b$ ,  $c$  и  $d$ ; в) безразмерная температура куба равного объёма; г) правильного ответа нет; д) произведение безразмерных температур пластин, пересечением которых он образован; е) среднее арифметическое безразмерных температур пластин толщиной  $b/2$ ,  $c/2$  и  $d/2$ .

Верный ответ: д)

10. Регулярным режимом охлаждения называют:

Ответы:

а) режим, наступающий, когда безразмерное время охлаждения становится большим  $0,3$ ; б) скорость изменения безразмерной температуры в центре тела становится постоянной; в) режим, наступающий, когда темп охлаждения тела становится константой; г) режим теплового равновесия с охлаждающей средой; д) величину, определяющую длительность охлаждения тела во времени; е) режим, при котором скорость изменения безразмерной температуры в точках тела, поделённая на безразмерную температуру тела в этих точках не зависит от координат точек и времени.

Верный ответ: а), в), е)

11. Коэффициент температуропроводности  $a$  характеризует:

Ответы:

а) скорость распространения тепла в теле б) скорость изменения теплового потока в) скорость изменения плотности теплового потока г) это величина, эквивалентная градиенту температуры д) скорость изменения температуры в теле

Верный ответ: д)

12. Функция  $E(\lambda, T)$  называется

Ответы:

а) плотность теплового потока б) интегральная плотность потока излучения в) спектральная плотность потока излучения г) поток излучения е) мощность потока излучения

Верный ответ: в)

13. Распределение спектральной плотности потока излучения по длинам волн в зависимости от температуры устанавливает:

Ответы:

а) закон Планка б) закон Стефана-Больцмана в) закон Ламберта г) закон Кирхгофа д) закон Бугера

Верный ответ: а)

14. Лучистый поток, испускаемый с единицы поверхности реального тела в единицу времени называется:

Ответы:

а) плотность теплового потока собственного излучения; б) плотностью потока эффективного излучения; в) потоком отражённого излучения; г) мощность потока результирующего излучения

Верный ответ: б)

15. Все реальные тела обмениваются энергией излучения в форме:

Ответы:

а) результирующих потоков излучения; б) эффективных потоков излучения; в) отраженных потоков излучения; г) потоков пропущенного излучения; д) потоков поглощенного излучения;

Верный ответ: б)

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*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: 70*

*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: 55*

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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

## **III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**

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

### **5 семестр**

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен



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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-3опк-4 Демонстрирует понимание основных законов теплообмена и применяет их для расчетов элементов теплотехнических установок и систем

### **Вопросы, задания**

- 1.1. Режимы течения парожидкостной смеси в вертикальной парогенерирующей трубе.
  2. Порядок проектного теплового расчёта Т/А на базе средне-логарифмического температурного напора. Введение поправки к расчетной поверхности теплообмена при схеме движения теплоносителей, отличной от противотока.
  3. Задача. Теплоносителем с температурой на входе  $320^{\circ}\text{C}$  и на выходе  $200^{\circ}\text{C}$  нагревается нефть от  $20^{\circ}\text{C}$  до  $175^{\circ}\text{C}$ . Определить средние арифметический и логарифмический напоры для схем прямотока и противотока.
- 
- 2.1. Приведенная высота поверхности конденсации, ее связь с числом Рейнольдса пленки. Безразмерные формулы теплообмена при конденсации.
  2. Свободная конвекция жидкости у вертикальной стенки. Изменение коэффициента теплоотдачи по высоте.
  3. Задача. По трубке внутренним диаметром 20 мм движется вода, кипящая в условиях пузырькового режима кипения при давлении 2,32 МПа. Температура стенки трубы  $227^{\circ}\text{C}$ . Определить средний коэффициент теплоотдачи, если скорость воды  $w = 1.5$  м/с.
- 
- 3.1. Пленочная и капельная конденсация. Термические сопротивления при конденсации.
  2. Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Понятие массовой расходной теплоёмкости, температурного напора (локального, среднего, располагаемого).
  3. Задача. Как изменится (во сколько раз увеличится, не изменится, или уменьшится) мощность установки на перекачивание теплоносителя по длинной гладкой трубе, если за счет изменения скорости теплоносителя увеличить коэффициент теплоотдачи при турбулентном течении в трубе в 2 раза? Принять, что коэффициент сопротивления трения пропорционален  $Re^{(-0.25)}$ .
- 
- 4.1. Пленочная и капельная конденсация. Термические сопротивления при конденсации.
  2. Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Понятие массовой расходной теплоёмкости, температурного напора (локального, среднего, располагаемого).
  3. Задача. Как изменится (во сколько раз увеличится, не изменится, или уменьшится) мощность установки на перекачивание теплоносителя по длинной гладкой трубе, если за счет изменения скорости теплоносителя увеличить коэффициент теплоотдачи при турбулентном течении в трубе в 2 раза? Принять, что коэффициент сопротивления трения пропорционален  $Re^{(-0.25)}$ .
- 
- 5.1. Расчет теплоотдачи при турбулентном течении плёнки конденсата.
  2. Сравнение прямоточной и противоточной схем движения теплоносителей с точки зрения тепловой эффективности.
  3. Задача. В экранную трубу котельного агрегата  $d_2 * \delta = 38 * 5$  мм подается вода при температуре  $200^{\circ}\text{C}$  и давлении 3 МПа. Определить длину экономайзерного участка, если к внешней поверхности трубы подводится теплота с  $q = 0,2$  МВт/м<sup>2</sup>. Массовая скорость воды – 700 кг/(м<sup>2</sup>с)
- 
- 6.1. Критические тепловые нагрузки при кипении в большом объеме.

2. Тепловой расчет теплообменных аппаратов. Уравнения теплового баланса и теплопередачи.
3. Задача. Воздух, текущий в трубе из нержавеющей стали диаметром 20/10 мм, имеет в некотором сечении  $x$  среднюю температуру  $15^{\circ}\text{C}$ . Температура внутренней поверхности трубы в этом сечении  $98^{\circ}\text{C}$ , а внешней –  $100^{\circ}\text{C}$ . Вычислите местный коэффициент теплоотдачи в сечении  $x$ , а также градиент температурного поля для потока воздуха на стенке. Теплопроводность стали равна  $14,4+0,016t$  Вт/м/К. Дайте графическую интерпретацию задачи.

7.1. Расчет теплоотдачи при кипении жидкости, движущейся в трубе, в зоне перегрева пара.

2. Классификация теплообменных аппаратов.
3. Задача. Электронагреватель в форме трубки диаметром 20 мм и длиной 1 м обдувается поперечным потоком воздуха с температурой  $10^{\circ}\text{C}$ . Определить скорость обдува, если мощность нагревателя равна 500 Вт, а температура стенки  $300^{\circ}\text{C}$ .

8.1. Расчет коэффициента запаса до кризиса кипения воды, текущей в трубе, при заданной тепловой нагрузке  $q_{\text{ст}} = \text{const}$ .

2. Особенности расчета теплоотдачи при свободной конвекции в узких вертикальных и горизонтальных зазорах (щелях).
3. Задача. Как изменится коэффициент теплоотдачи при пленочной конденсации и ламинарном течении пленки конденсата, если поверхность конденсации, наклоненную под углом  $60^{\circ}$  к горизонту, установить вертикально?

9.1. Тепломеханические условия существования парового пузырька. Критический радиус пузырька.

2. Порядок конструкторского теплового расчета прямоточного теплообменного аппарата с использованием понятий тепловой эффективности  $\epsilon$  и NTU.
3. Задача. На наружной поверхности вертикально расположенной трубки ( $d_2 = 10$  мм,  $L = 1$  м) конденсируется сухой насыщенный водяной пар при атмосферном давлении. Как изменится тепловой поток, передаваемый от пара к охлаждающей воде, если трубку повернуть в горизонтальное положение?

10.1. Интенсификация теплоотдачи при пленочной конденсации.

2. Условия однозначности в задачах конвективного теплообмена. Уравнение теплоотдачи.
3. Задача. При переходе от пузырькового кипения воды в большом объеме к пленочному коэффициент теплоотдачи уменьшился в 30 раз. Определить температуру поверхности при пленочном кипении, если кипение происходит при атмосферном давлении, и в момент перехода к пленочному кипению температура стенки была равна  $135^{\circ}\text{C}$ .

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. При каких числах Рейнольдса имеет место ламинарный режим течения в круглой трубе?

Ответы:

- а)  $Re > 3900$  б)  $Re > 2300$  в)  $Re = 3900$  г)  $Re < 2300$

Верный ответ: г)

2. Критерий, определяющий отношение инерционных сил потока к силам вязкости?

Ответы:

- а) Nu б) Pr в) Pe г) Re д) Vi

Верный ответ: г) Re

3. Определяющими безразмерными критериями в условиях теплообмена при свободной конвекции являются числа?

Ответы:

1) Gr и Pr 2) Gr и Re 3) Re и Pr 4) Pe и Gr 5) Pe и Re

Верный ответ: 1)

4. Условие существования пузырька определяется уравнением:

Ответы:

а) Навье-Стокса б) Лапласа в) Рейнольдса г) Клапейрона-Клаузиуса д) Блазиуса

Верный ответ: б)

5. Пристенный слой жидкости, в котором происходит девятью девяти процентное изменение температурного напора жидкость-поверхность

Ответы:

а) ламинарный б) турбулентный в) динамический пограничный г) тепловой пограничный д) вязкий подслой

Верный ответ: г)

6. Процесс теплообмена при вынужденной конвекции описывается уравнением:

Ответы:

а)  $Nu = f(Re, Pr)$  б)  $Nu = f(Pe, Fo)$  в)  $Nu = f(Re, Gr)$  г)  $Nu = f(Re, Pr, Gr)$  д)  $Nu = f(Gr, Pr)$

Верный ответ: а)

7. Какое из перечисленных чисел подобия является определяемым числом конвективного теплообмена?

Ответы:

а) Nu б) Re в) Gr г) Fo д) Pr

Верный ответ: а)

8. В каком из перечисленных режимов кипения коэффициент теплоотдачи будет наибольшим?

Ответы:

а) пленочное кипение б) пузырьковое кипение в) поверхностное кипение г) одинаков на всех стадиях кипения д) зависит от шероховатости поверхности нагрева

Верный ответ: б)

9. Почему при переходе к пленочному кипению в условиях регулирования температурного напора с изменением  $q$  происходит резкое увеличение температуры стенки?

Ответы:

а) причина неизвестна б) резко увеличивается коэффициент теплоотдачи в) резко уменьшается коэффициент теплоотдачи г) увеличивается коэффициент теплопроводности д) возрастает температурный напор

Верный ответ: в)

10. При каком виде конденсации интенсивность теплообмена выше?

Ответы:

а) поверхностная б) капельная в) пленочная г) не зависит от вида конденсации д) зависит от температуры конденсации

Верный ответ: б)

11. Какие режимы отсутствуют на кривой кипения при регулируемой плотности теплового потока на стенке?

Ответы:

- а) развитое пузырьковое кипение б) режим свободной конвекции в) пленочное кипение  
г) переходная зона д) режим одиночных пузырей

Верный ответ: г)

12. Какое из чисел подобия характеризует интенсивность конвективного теплообмена?

Ответы:

- а) число Рейнольдса б) число Нуссельта в) число Прандтля г) число Грасгофа д) число Фурье

Верный ответ: б)

13. Пристенный слой жидкости, в котором происходит девятая до десяти процентное изменение скорости жидкости

Ответы:

- а) ламинарный б) турбулентный в) динамический пограничный г) тепловой пограничный  
д) вязкий подслой

Верный ответ: в)

14. Какое из чисел подобия является теплофизической характеристикой среды?

Ответы:

- а) число Рейнольдса б) число Нуссельта в) число Прандтля г) число Грасгофа д) число Фурье

Верный ответ: в)

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*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: 70*

*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: 55*

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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

## **III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**

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