

**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: Теплоэнергетика и теплотехника**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Тепломассообмен**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Зеодинов М.Г.
	Идентификатор	Rb20bbf78-ZeodinovMG-fa0d2620

(подпись)

М.Г.

Зеодинов

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28B

(подпись)

А.Н. Рогалев

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28B

(подпись)

А.Н. Рогалев

(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. 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: Обмен электронными документами

1. Задача на расчет температурного поля в процессе нагрева или охлаждения (Контрольная работа)
2. Определение коэффициента теплоотдачи при фазовых превращениях (Контрольная работа)
3. Стационарная теплопроводность, внутренние источники, обребнение (Контрольная работа)
4. Теплоотдача при внешнем обтекании пластины и цилиндра. Теплоотдача при вынужденном течении жидкости внутри трубы (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Введение в конвективный теплообмен. Числа подобия (Тестирование)
2. Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки (Тестирование)

Форма реализации: Проверка задания

1. Типовой расчет по конвективному теплообмену, массообмену, фазовым превращениям и теплообменным аппаратам (Домашнее задание)
2. Типовой расчет по теплообмену теплопроводностью и излучением (Домашнее задание)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита цикла лабораторных работ "Теплообмен при конвективном теплообмене. Кипение. Теплообменные аппараты" (Лабораторная работа)
2. Защита цикла лабораторных работ "Теплообмен теплопроводностью и излучением" (Лабораторная работа)

## БРС дисциплины

4 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	Срок КМ:	4	8	12	15	16

Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки					
Дифференциальное уравнение теплопроводности. Закон Фурье. Закон Ньютона-Рихмана.	+				
Температурное поле при наличии внутренних источников теплоты					
Плоская пластина. Цилиндрическое тело. Полный цилиндр.		+			
Интенсификация теплообмена					
Уравнение теплопередачи и выбор коэффициента теплоотдачи. Оребрение плоской поверхности. Оребрение цилиндрической поверхности. Функции Бесселя.			+		
Температурное поле при нестационарном тепловом режиме					
Метод разделения переменных и числа подобия. Нестационарный тепловой режим для одномерной плоской пластины. Нестационарный тепловой режим для бесконечно длинного цилиндра. Температурное поле в теле конечных размеров.				+	
Теплообмен излучением					
Законы излучения. Теплообмен в прозрачной среде. Угловые коэффициенты. Теплообмен в поглощающей и излучающей средах.					+
Вес КМ:	10	30	20	30	10

#### 5 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-6	КМ-7	КМ-8	КМ-9	КМ-10
	Срок КМ:	4	8	12	15	16
Конвективный теплообмен						
Дифференциальные уравнения (ДУ) конвективного теплообмена. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Свободная и вынужденная конвекция.	+					
Конвективный теплообмен при вынужденном течении жидкости в трубах						
Вязкостный и вязкостно-гравитационный режимы. Участок стабилизированного теплообмена. Способы повышения коэффициента теплоотдачи.			+			
Массообмен						
Закон Фика. Диффузионный пограничный слой. Аналогия Рейнольдса. Стефанов поток. Адиабатическая температура.					+	
Теплообмен при фазовых превращениях						
Пузырьковое и пленочное кипение. Кризисы кипения. Коэффициент запаса до кризиса.				+		

Теплоотдача при конденсации. Определение коэффициента теплоотдачи через безразмерные комплексы.			+		
Теплообменные аппараты					
Классификация теплообменных аппаратов. Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи. Тепловой и гидродинамический расчеты. Метод NTU.					+
Вес КМ:	10	30	20	30	10

\$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 тепломассообмена и применяет их для расчетов элементов теплотехнических установок и систем	<p>Знать:</p> <p>Классификация теплообменных аппаратов.</p> <p>Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи.</p> <p>Теплообмен излучением</p> <p>Уметь:</p> <p>Толщина диффузионного пограничного слоя.</p> <p>Стефанов поток.</p> <p>Адиабатическая температура.</p> <p>Учет внутренних источников теплоты</p> <p>Применять функции Бесселя при решении дифференциального уравнения в цилиндрических координатах</p> <p>Применять внутренние функции пакета Mathcad для решения систем уравнений</p>	<p>Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки (Тестирование)</p> <p>Стационарная теплопроводность, внутренние источники, оребрение (Контрольная работа)</p> <p>Задача на расчет температурного поля в процессе нагрева или охлаждения (Контрольная работа)</p> <p>Типовой расчет по теплообмену теплопроводностью и излучением (Домашнее задание)</p> <p>Защита цикла лабораторных работ "Теплообмен теплопроводностью и излучением" (Лабораторная работа)</p> <p>Введение в конвективный теплообмен. Числа подобия (Тестирование)</p> <p>Теплоотдача при внешнем обтекании пластины и цилиндра.</p> <p>Теплоотдача при вынужденном течении жидкости внутри трубы (Контрольная работа)</p> <p>Определение коэффициента теплоотдачи при фазовых превращениях (Контрольная работа)</p> <p>Типовой расчет по конвективному теплообмену, массообмену, фазовым превращениям и теплообменным аппаратам (Домашнее задание)</p> <p>Защита цикла лабораторных работ "Теплообмен при конвективном теплообмене. Кипение. Теплообменные аппараты" (Лабораторная работа)</p>

		<p>Решать дифференциальные уравнения аналитически Расчет чисел подобия, определение режима течения. Критические точки кривой кипения. Коэффициент теплоотдачи при докризисном и кризисном кипении жидкости текущей в трубе Гидродинамический и тепловой пограничные слои</p>	
--	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

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

4 семестр

### КМ-1. Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** 5 вопросов за 15 минут

**Краткое содержание задания:**

Терминологический тест

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: дифференциальные аналитически	Решать уравнения	1.Определение теплового сопротивления многослойной стенки при граничных условиях 1 рода 2.Определение теплового сопротивления однослойной стенки при граничных условиях 3 рода 3.Определение критического диаметра 4.Сравнение коэффициентов теплопроводности различным материалов 5.Определение теплового сопротивления однослойной стенки при граничных условиях 3 рода
--------------------------------------------	---------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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*

### КМ-2. Стационарная теплопроводность, внутренние источники, обребнение

**Формы реализации:** Обмен электронными документами

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Самостоятельное решение задачи за время не более 30 минут

**Краткое содержание задания:**

Решение задачи



**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: Учет внутренних источников теплоты</p>	<p>1. Плотность теплового потока через плоскую кварцевую стенку (<math>\lambda=3 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}</math>), <math>\delta=10 \text{ мм}</math>) составляет <math>q=3\cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2</math>. Со стороны одной из ее поверхностей заданы температура жидкости <math>t_{ж}=30^\circ\text{C}</math> и коэффициент теплоотдачи <math>\alpha=100 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}</math>. Найти температуры на обеих поверхностях стенки.</p> <p>2. Плоскую поверхность с <math>t_c=250^\circ\text{C}</math> решено изолировать листовым асбестом, у которого <math>\lambda=0,157 + (0,14\cdot 10^{-3})\cdot t \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}</math>. Какой толщины должен быть слой изоляции, если допустимая температура наружной ее поверхности <math>50^\circ\text{C}</math>, а тепловые потери не должны превышать <math>500 \text{ Вт/м}^2</math> ?</p> <p>3. Температура на поверхности охлаждаемого цилиндрического уранового стержня [<math>\lambda=30 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}</math>] не должна превышать <math>650^\circ\text{C}</math>. Определить допустимый диаметр и перепад температур в стержне при мощности внутренних источников <math>q_v=8\cdot 10^7 \text{ Вт/м}^3</math>, если температура охлаждающего теплоносителя <math>t_{ж}=370^\circ\text{C}</math>, а коэффициент теплоотдачи <math>\alpha=650 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}</math>.</p> <p>4. Размеры холодильника <math>1200\times 800\times 800 \text{ мм}</math>. Температура его наружной поверхности <math>30^\circ\text{C}</math>, температура окружающей среды <math>20^\circ\text{C}</math>. Определить тепловой поток, снимаемый с поверхности холодильника, если коэффициент теплоотдачи <math>7 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}</math>. Для более эффективного охлаждения поверхности решено оребрить боковые поверхности. Коэффициент теплопроводности ребер <math>\lambda=202 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}</math>, толщина ребер <math>3 \text{ мм}</math>, длина <math>30 \text{ мм}</math>, на каждой стороне расположено по <math>40</math> ребер. Определить температуру на конце ребра, тепловой поток, снимаемый с поверхности оребренного холодильника.</p> <p>5. Размеры холодильника <math>1200\times 800\times 800 \text{ мм}</math>. Температура его наружной поверхности <math>30^\circ\text{C}</math>, температура окружающей среды <math>20^\circ\text{C}</math>. Определить тепловой поток, снимаемый с поверхности холодильника, если коэффициент теплоотдачи <math>7 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}</math>. Для более эффективного охлаждения поверхности решено оребрить боковые поверхности. Коэффициент теплопроводности ребер <math>\lambda=202 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}</math>, толщина ребер <math>3 \text{ мм}</math>, длина <math>30 \text{ мм}</math>, на каждой стороне расположено по <math>40</math> ребер. Определить эффективность оребрения и коэффициент оребрения.</p>
--------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

*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

### **КМ-3. Задача на расчет температурного поля в процессе нагрева или охлаждения**

**Формы реализации:** Обмен электронными документами

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Самостоятельное решение задачи за время не более 45 минут с применением пакета Mathcad

**Краткое содержание задания:**

Решение задачи

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: Применять внутренние функции пакета Mathcad для решения систем уравнений

1. Пластина толщиной  $2\delta=20$  мм находилась в печи с температурой  $t_0=140^\circ\text{C}$ . Для пластины известно:  $\lambda=0,175$  Вт/(м· К),  $a=0,833 \cdot 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с. Пластину вынули из печи в комнату с температурой  $t_{ж}=15^\circ\text{C}$ , при этом коэффициент теплоотдачи  $\alpha=65$  Вт/(м<sup>2</sup>· К). Определить температуру в центре пластины и на её краю через 20 минут.
2. Цилиндр наружным диаметром 100 мм помещен из комнаты с температурой  $t_0=25^\circ\text{C}$  в печь с температурой  $t_{ж}=820^\circ\text{C}$ . Через какое время температура в центре цилиндра станет  $800^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплопроводности  $\lambda=20$  Вт/(м· К), коэффициент температуропроводности  $a=6 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, коэффициент теплоотдачи  $\alpha=100$  Вт/(м<sup>2</sup>· К). Какая при этом будет температура поверхности цилиндра.
3. Параллелепипед размерами 300x400x500 мм с начальной температурой  $20^\circ\text{C}$  помещен в печь с температурой  $1300^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплопроводности  $\lambda=40$  Вт/(м· К), коэффициент температуропроводности  $a=7 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, коэффициент теплоотдачи  $\alpha=150$  Вт/(м<sup>2</sup>· К). Определить температуру в центре одной из граней (любой) через 1,5 часа.
4. Пластина толщиной 400 мм с начальной температурой  $30^\circ\text{C}$  помещена в печь с температурой  $800^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплопроводности  $\lambda=40$  Вт/(м· К), коэффициент температуропроводности  $a=7 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, коэффициент теплоотдачи  $\alpha=200$

	<p>Вт/(м<sup>2</sup>· К). Определить количество теплоты, полученное боковой поверхностью в течение первых 2 часов.</p> <p>5. Латунную пластину, имеющую толщину 100 мм и температуру 25°С нагревают в печи до 600°С. Коэффициент теплоотдачи 140 Вт/(м<sup>2</sup>· К). Определить восьмое и восемнадцатое собственное число и записать восьмую и восемнадцатую собственную функции.</p>
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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

**КМ-4. Типовой расчет по теплообмену теплопроводностью и излучением**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка расчетов и обсуждение полученных результатов

**Краткое содержание задания:**

Температурное поле в двух и трехмерных телах.

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: Применять функции Бесселя при решении дифференциального уравнения в цилиндрических координатах</p>	<p>1. Цилиндрическую заготовку диаметром <math>d = 170</math> мм и длиной <math>L = 190</math> мм, с начальной температурой <math>t_0 = 650^\circ\text{C}</math> поместили в охлаждающий бассейн с температурой жидкости <math>t_{ж} = 25^\circ\text{C}</math>, в котором она начала охлаждаться при постоянном коэффициенте теплоотдачи <math>\alpha = 120</math> Вт/(м<sup>2</sup> К). Свойства материала заготовки: марка - Сталь 1В, плотность - 7913 кг/м<sup>3</sup>, удельная теплоёмкость - 448 Дж/(кг К), теплопроводность - 66 Вт/(м К) Рассчитать температурное поле в цилиндре как функцию радиуса <math>r</math> и линейной координаты <math>x</math> в момент времени <math>\tau_1 = 2.8</math> мин от начала охлаждения, результаты вычислений свести в таблицы, построить графики <math>t(x, 0, \tau_1)</math>, <math>t(x, r_0, \tau_1)</math>, <math>t(0, r, \tau_1)</math>, <math>t(L/2, r, \tau_1)</math>. Рассчитать температуру в центре цилиндра как</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

функцию времени; для стадии регулярного режима охлаждения вычислить, имитируя эксперимент, темп охлаждения цилиндра и температуропроводность материала заготовки. Вычислить количество теплоты, отданной цилиндром за время охлаждения от его начала, до момента  $\tau_1$ .

2. По трем стальным трубам  $d_2=100$  мм,  $d_1=95$  мм,  $L=2000$  м, расположенным на открытом воздухе  $t_{ж}=5^\circ\text{C}$  горячая вода, подогретая в теплообменнике до  $100^\circ\text{C}$  при давлении 4 бар, транспортируется к потребителю со скоростью  $w=1$  м/с в каждой. С какой температурой будет получать воду потребитель, если первая труба покрыта слоем минеральной ваты [ $\lambda_{mv}=0.05$  Вт/(м·К),  $\delta_{mv}=50$  мм], вторая — слоем бетона [ $\lambda_b=1.3$  Вт/(м·К),  $\delta_b=50$  мм], а третья труба не изолирована. Коэффициент теплоотдачи от горячей воды к внутренней поверхности труб принять  $\alpha_1=300$  Вт/(м·К), а с внешней поверхности каждой из трех труб к окружающему воздуху — одинаковым:  $\alpha_2=10$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). Учесть тепловое излучение поверхности трубопровода, имеющую степень черноты  $\epsilon=0.8$ , в окружающую среду при температуре отнесения равной температуре атмосферного воздуха. Расчет сделать по формуле Шухова.

3. Масло марки МС-20, протекая через бак с расходом  $G_2=0.1$  кг/с, нагревается в нём от температуры  $t_{ж1}=40^\circ\text{C}$  до температуры  $t_{ж2}=50^\circ\text{C}$ . Греющим теплоносителем является сухой насыщенный водяной пар, конденсирующийся в горизонтальных змеевиках при давлении  $P=2.4$  бар, смонтированных внутри бака. Для снижения тепловых потерь бак покрыт слоем тепловой изоляции. Требуется определить величину поверхности змеевиков  $F_1$ , м<sup>2</sup>, и расход греющего пара  $G_1$ , кг/с.

Для расчёта заданы следующие величины:  
коэффициент теплоотдачи от пара к внутренней стенке поверхности змеевиков  $\alpha_1=5000$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
коэффициент теплоотдачи от наружной стенки поверхности змеевиков к маслу  $\alpha_2=100$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
коэффициент теплоотдачи от масла к стенкам бака  $\alpha_3=52$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
коэффициент теплоотдачи от изоляции бака к воздуху  $\alpha_4=8$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
температура окружающего воздуха  $t_{ж3}=25^\circ\text{C}$ ;

толщина стенки

бака  $\delta_1=5$  мм;

толщина изоляции

бака  $\delta_2=20$  мм;

поверхность

бака  $F_2=5$  м<sup>2</sup>.

	<p>Бак изготовлен из низкоуглеродистой стали, для тепловой изоляции использован поливинилхлорид. Тепловые потери определить при постоянной теплопроводности изоляции. Термическим сопротивлением стенки змеевиков пренебречь, изменением внешней поверхности бака из-за его изоляции пренебречь, применить формулы для теплопередачи через плоскую стенку.</p>
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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*

**КМ-5. Защита цикла лабораторных работ "Теплообмен теплопроводностью и излучением"**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Ответы на контрольные вопросы

**Краткое содержание задания:**

Объяснить процедуру расчетов на основании экспериментальных данных.

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: Теплообмен излучением	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Размерность основных физических величин.</li> <li>2.Расчет погрешностей</li> <li>3.Среднеинтегральный коэффициент теплопроводности</li> <li>4.Числа Био и Фурье, направляющие точки</li> <li>5.Законы излучения. Применение для абсолютно черных тел, серых тел, реальных тел.</li> </ol>
------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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

5 семестр

**КМ-6. Введение в конвективный теплообмен. Числа подобия**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** 5 вопросов за 15 минут

**Краткое содержание задания:**

Терминологический тест

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: Расчет чисел подобия, определение режима течения.</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Выберите из перечня объёмные силы, действующие на элемент движущейся жидкости:<ol style="list-style-type: none"><li>а) трения,</li><li>б) инерции,</li><li>в) давления,</li><li>г) центробежные,</li><li>д) Кориолиса,</li><li>е) электрические,</li><li>ж) магнитные,</li><li>з) Архимеда</li></ol></li><li>2. Укажите размерность температурного напора:<ol style="list-style-type: none"><li>а) <math>0C/m</math></li><li>б) <math>Вт/m^2</math></li><li>в) <math>Вт/(m \cdot C0)</math></li><li>г) <math>Вт/(m^2 \cdot C0)</math></li><li>д) <math>0C</math></li><li>е) <math>K</math></li></ol></li><li>3. Количество теплоты, отдаваемое потоком жидкости <math>1 m^2</math> поверхности в единицу времени при разности температур между ней и поверхностью в <math>10C</math> называется:<ol style="list-style-type: none"><li>а) коэффициентом теплопроводности</li><li>б) коэффициентом теплоотдачи</li><li>в) плотностью потока излучения</li><li>г) интегральной плотностью потока излучения</li><li>д) коэффициентом теплопередачи</li></ol></li><li>4. Какие из чисел подобия являются теплофизической характеристикой жидкости?<ol style="list-style-type: none"><li>а) число Рейнольдса</li><li>б) число Нуссельта</li><li>в) число Прандтля</li></ol></li></ol>
-----------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<p>г) число Грасгофа  е) число Фурье  ж) число Био</p> <p>5. Какие из чисел подобия характеризуют нестационарность процесса?  а) число Рейнольдса  б) число Нуссельта  в) число Прандтля  г) число Грасгофа  д) число Фурье  е) число Био</p>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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*

**КМ-7. Теплоотдача при внешнем обтекании пластины и цилиндра. Теплоотдача при вынужденном течении жидкости внутри трубы**

**Формы реализации:** Обмен электронными документами

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Самостоятельное решение трех задач за время не более 90 минут.

**Краткое содержание задания:**

Решение задачи

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: Гидродинамический и тепловой пограничные слои</p>	<p>1. Плоская пластина размером <math>a \times b = 2 \times 1,5</math> м омывается поперечным потоком воздуха со скоростью <math>\omega = 10</math> м/с. Температура набегающего воздуха <math>t_{ж} = 20^\circ\text{C}</math>, температура пластины <math>t_c = 80^\circ\text{C}</math>. Определить средний по длине коэффициент теплоотдачи для пластины; локальный коэффициент теплоотдачи в координате 0,1 м.</p> <p>2. Внутри трубы с внутренним диаметром <math>d = 7</math> мм течет трансформаторное масло со скоростью <math>\omega = 0,6</math> м/с. Длина трубы <math>L = 1</math> м, температура поверхности <math>t_c = 20^\circ\text{C}</math>, средняя температура масла <math>t_{ж} = 80^\circ\text{C}</math>.</p>
-------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<p>Определить длину начального термического участка и средний коэффициент теплоотдачи в точке перехода от начального термического участка к окончанию трубы.</p> <p>3. Определить эквивалентный коэффициент теплопроводности и плотность теплового потока <math>q</math>, Вт/кв.м. через вертикальную щель толщиной <math>\delta=20</math> мм, заполненную водой. Температура горячей поверхности <math>200^{\circ}\text{C}</math>, температура холодной поверхности <math>80^{\circ}\text{C}</math>.</p> <p>4. Цилиндрический стержень диаметром <math>d=15</math> мм и температурой <math>t_c=80^{\circ}\text{C}</math> нагревается пропусканием электрического тока и омывается потоком воды со скоростью <math>\omega=2</math> м/с и температурой <math>t_{ж}=20^{\circ}\text{C}</math>. Поток воды направлен под углом <math>\varphi=60</math> градусов относительно оси стержня. Удельное электрическое сопротивление стержня <math>\rho_{эл}=0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}</math>. Определить средний коэффициент теплоотдачи и силу тока <math>I</math>, пропущенного через цилиндр.</p> <p>5. Трубы диаметром <math>d=80</math> мм расположены в шахматном порядке и омываются дымовыми газами со скоростью <math>\omega=10</math> м/с. Температура газов на входе <math>1100^{\circ}\text{C}</math>, на выходе <math>900^{\circ}\text{C}</math>. Поперечный шаг <math>s_1=2,5d</math>, продольный шаг <math>s_2=2d</math>, количество рядов <math>n=6</math>. Определить средний коэффициент теплоотдачи.</p>
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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*

#### **КМ-8. Определение коэффициента теплоотдачи при фазовых превращениях**

**Формы реализации:** Обмен электронными документами

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Самостоятельное решение задач: время на выполнение двух задачи 90 минут

#### **Краткое содержание задания:**

Решение задач с применением Mathcad



**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: Критические точки кривой кипения. Коэффициент теплоотдачи при докризисном и кризисном кипении жидкости текущей в трубе</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. По трубе с внутренним диаметром 18 мм течет кипящая при пузырьковом режиме вода под давлением <math>p=8</math> бар со скоростью 1 м/с. Температура внутренней поверхности трубы <math>t_c=175^\circ\text{C}</math>. Определить средний коэффициент теплоотдачи.</li><li>2. В большом объеме кипит вода при давлении 2 бар. Температура поверхности нагревателя <math>150^\circ\text{C}</math>. Определить минимальный (критический) радиус пузырька.</li><li>3. В большом объеме кипит вода при давлении 6,2 бар. Температура поверхности нагревателя <math>175^\circ\text{C}</math>. Определить режим кипения.</li><li>4. На пластине высотой 3 метра конденсируется водяной пар при давлении 2,5 бар. Температура пластины <math>120^\circ\text{C}</math>. Определить толщину пленки конденсата на расстоянии 0,1 м от верхнего края пластины и локальный коэффициент теплоотдачи в этом сечении.</li><li>5. На горизонтальной трубе диаметром 20 мм и длиной 2 м конденсируется водяной пар при атмосферном давлении. Температура поверхности трубы <math>90^\circ\text{C}</math>. Определить средний коэффициент теплоотдачи и количество конденсата, выпавшего на поверхности.</li></ol>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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*

**КМ-9. Типовой расчет по конвективному теплообмену, массообмену, фазовым превращениям и теплообменным аппаратам**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка расчетов и обсуждение полученных результатов

**Краткое содержание задания:**

Определить площадь поверхности теплообменного аппарата с помощью уравнения теплопередачи и методом NTU.

### Контрольные вопросы/задания:

<p>Уметь: Толщина диффузионного пограничного слоя. Стефанов поток. Адиабатическая температура.</p>	<p>1. Плоское изделие длиной 0,6 м продольно омывается потоком сухого воздуха, температура которого 20°C, давление <math>p=2</math> бар, скорость <math>\omega=2</math> м/с. Температура изделия постоянна по всей длине <math>t_c=30^\circ\text{C}</math>. Определить локальный коэффициент массоотдачи в середине изделия, средний коэффициент массоотдачи и скорость стефанова потока.</p> <p>2. В маслоохладителе масло МК охлаждают от 70°C до 30°C, охладителем является вода с температурой 20°C. Расход масла <math>G_1=10^4</math> кг/час, расход воды <math>G_2=2 \cdot 10^4</math> кг/час. Коэффициент теплопередачи <math>k=100</math> Вт/(м<sup>2</sup>•К). Определить площадь поверхности теплообменника для прямоточной и противоточной схем.</p> <p>3. Найти число Льюиса для влажного воздуха, температура которого 30°C, а давление 3 бар. Относительная влажность воздуха <math>\phi=80\%</math>.</p> <p>4. В маслоохладителе масло МС-20 охлаждают от 100°C до 20°C, охладителем является вода с температурой 100°C. Расход масла <math>G_1=10^3</math> кг/час, расход воды <math>G_2=5 \cdot 10^3</math> кг/час. Коэффициент теплопередачи <math>k=200</math> Вт/(м<sup>2</sup>•К). Определить площадь поверхности теплообменника для прямоточной и противоточной схем методом NTU.</p> <p>5. Для трубчатого прямоточного водонагревателя известно: греющий сухой водяной пар <math>G_1=1</math> кг/с, давление=2 атм, температура воды на входе= 20°C, на выходе = 70°C. Коэффициент теплоотдачи водяного пара = 200 Вт/(м<sup>2</sup>•К), коэффициент теплоотдачи воды = 1200 Вт/(м<sup>2</sup>•К), тепловое сопротивление стенки трубки= 0,0001 (м<sup>2</sup>•К)/Вт. Найти перепад температур на расстоянии 1/5 длины от входного края трубки.</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

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

**КМ-10. Защита цикла лабораторных работ "Теплообмен при конвективном теплообмене. Кипение. Теплообменные аппараты"**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Ответы на контрольные вопросы

**Краткое содержание задания:**

Объяснить процедуру расчетов на основании экспериментальных данных.

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: Классификация теплообменных аппаратов. Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи.	1. Число и критерии подобия. Теория подобия. 2. Пограничный слой: гидродинамический и тепловой. Число Прандтля. 3. Обработка уравнений в критериальном виде. 4. Пузырьковое и пленочное кипение, кривая кипения. 5. Уравнения теплового баланса и теплопередачи для теплообменного аппарата.
------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

4 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

НИУ «МЭИ»	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1 Кафедра ТОТ им. М.П. Вукаловича	Утверждаю Зав. кафедрой  «    »            2021 г.
		Дисциплина Теплообмен Институт ТЕПЛОВОЙ И АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
1. Критический диаметр тепловой изоляции. Зависимость тепловых потерь от толщины изоляции на цилиндрической стенке.		
3. Задача. Металлическая поверхность, имеющая интегральную степень черноты $\epsilon = 0,7$ , нагрета до температуры 927 оС. Определить плотность потока собственного излучения поверхности, длину волны, соответствующую максимуму интенсивности излучения. Приблизительно считать свойства поверхности свойствами серого тела.		

## Процедура проведения

Время подготовки 60 минут, время ответа по вопросам билета 15 минут. Правильный и полный ответ на каждый теоретический вопрос - по 25%. Решение задачи - 50%.

### ***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. Закон Фурье и закон Ньютона – Рихмана.
2. Теплопроводность одно- и многослойной цилиндрической стенок при граничных условиях 3 – го рода.
3. Дифференциальное уравнение теплопроводности.
4. Виды переноса теплоты. Понятия коэффициента теплопроводности, температуропроводности и теплоотдачи. Условия однозначности для процессов теплопроводности.
5. Критический диаметр тепловой изоляции. Зависимость тепловых потерь от толщины изоляции на цилиндрической стенке.
6. Расчет нестационарного температурного поля в телах конечных размеров. Теорема о перемножении решений. Определяющие линейные размеры.

7. Характер изменения температуры в теле в зависимости от числа  $Bi$  при охлаждении (нагревании) неограниченной пластины.
8. Использование регулярного режима для определения температуропроводности металлов.
9. Понятие регулярного режима и темпа охлаждения. Формулы для определения темпа охлаждения. Влияние коэффициента теплоотдачи на темп охлаждения
10. Система алгебраических уравнений лучистого теплообмена в системе  $N$  тел, разделенных лучепрозрачной средой. Зональный метод.
11. Интегральные и спектральные характеристики энергии излучения: поток, плотность потока, интенсивность излучения. Диффузная поверхность излучения. Закон Ламберта.
12. Абсолютно черное тело. «Серое», «белое» тела. Излучение реальных тел. Приближение «серого» тела.
13. Связь потоков результирующего и эффективного потоков излучения. Формула Поляка.
14. Интегральные уравнения излучения.
15. Локальная и интегральная степень черноты газового объема. Эффективная длина луча.

### Материалы для проверки остаточных знаний

- 1.
1. Число Фурье ( $Fo$ ), есть:

Ответы:

1.  $\alpha \cdot \delta / \lambda$
2.  $(t - t_{ж}) / (t_0 - t_{ж})$
3.  $\lambda / \rho c$
4.  $a \tau / \delta^2$
5.  $a \tau$

Верный ответ: 4

- 2.2. Число Био ( $Bi$ ), есть:

Ответы:

1.  $a \tau / \delta^2$
2.  $\delta / \lambda$
3.  $\lambda / a$
4.  $a \delta / \lambda$
5.  $\lambda / C_p$

Верный ответ: 4

- 3.3. Пластина, прогретая первоначально до  $500^\circ\text{C}$ , охладилась затем в среде с температурой  $-180^\circ\text{C}$ . В некоторый момент времени температура в центре пластины достигла  $160^\circ\text{C}$ . Каково значение безразмерной температуры при этом?

Ответы:

1. 0,235
2. 0,5
3. 0,32
4. 0,585
5. 0,0625

Верный ответ: 2

- 4.4. Коэффициент неравномерности распределения температуры составного калориметра равен

Ответы:

1. 0
2. 1
3.  $\pi/4$

4. Существует только при  $V_i \rightarrow 0$

5. Зависит от темпа нагрева

Верный ответ: 5

5.5. Коэффициент неравномерности распределения температуры монолитного калориметра равен 1.

Ответы:

1. Всегда

2. Для любых металлов

3. Для любых изоляторов

4. Только при  $V_i \rightarrow 0$

5. Только при  $V_i \rightarrow \infty$

Верный ответ: 4

## II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

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: 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 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

### Пример билета

НИУ «МЭИ»	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1 Кафедра ТОТ им. М.П. Вукаловича	Утверждаю Зав. кафедрой
		«    »            2016 г.
		Дисциплина Теплообмен
		Институт ТЕПЛОВОЙ И АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
1. Механизм образования парового пузырька. Силы, действующие на паровой зародыш, работа образования пузырька.		

3. Задача.

Сухой насыщенный водяной пар конденсируется на горизонтальной трубе при давлении 12,3 КПа. Температура поверхности трубки –20 оС. Диаметр трубок 16 мм. Определить коэффициент теплоотдачи от пара к поверхности трубки.

## Процедура проведения

Время подготовки 60 минут, время ответа по вопросам билета 15 минут. Правильный и полный ответ на каждый теоретический вопрос - по 25%. Решение задачи - 50%.

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

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

### Вопросы, задания

1. Конвективный теплообмен.
2. Теплообмен при свободной конвекции. Числа Gr, Ar, Ra.
3. Коэффициент теплоотдачи при пленочном кипении в большом объеме.
4. Коэффициент теплоотдачи при пузырьковом кипении в большом объеме.
5. Кривая кипения при граничных условиях 1 и 2 рода.
6. Теплообмен при кипении жидкости в большом объеме.
7. Стефанов поток. Адиабатическая температура.
8. Диффузионный пограничный слой. Диффузионные числа подобия.
9. Массообмен. Закон Фика. Число Le.
10. Экспериментальная обработка данных в критериальных уравнениях.
11. Теплоотдача при вынужденном течении жидкости в трубах.
12. Теплообмен при кризисном кипении жидкости в трубах.
13. Теплоотдача при поперечном обтекании труб.
14. Двойная и тройная аналогия Рейнольдса.
15. Коэффициенты теплоотдачи ламинарного и турбулентного пограничных слоёв.
16. Гидродинамический и тепловой пограничные слои.
17. Теория подобия: применение и примеры.
18. Критериальные уравнения: форма записи, где применяются.
19. Числа и критерии подобия: их происхождение и физический смысл.
20. Теплообмен при бескризисном кипении жидкости в трубах. Экономайзерный участок.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1.1. При переходе от пузырькового кипения в большом объеме к пленочному кипению коэффициент теплоотдачи уменьшился в 30 раз. Определить температуру поверхности при пленочном кипении, если вода кипит при атмосферном давлении, и в момент перехода к пленочному кипению температура стенки была равна 135 оС?

Ответы:

- 1.200
- 2.500
- 3.750
- 4.1050
- 5.1200

Верный ответ: 4

2.2. Как изменится коэффициент теплоотдачи при пленочной конденсации и ламинарном течении пленки конденсата, если поверхность конденсации, наклоненную под углом 45° к горизонту, установить вертикально?

Ответы:

1. Не изменится
2. Увеличится в  $2^{(1/2)}$
3. Увеличится в  $2^{(1/4)}$
4. Увеличится в  $2^{(1/8)}$
5. Увеличится в  $2^{(1/16)}$

Верный ответ: 4

3.3. По трубе с внутренним диаметром 18 мм течет кипящая при пузырьковом режиме вода под давлением  $p = 8$  бар со скоростью 1 м/с. Температура внутренней поверхности трубы  $t_c = 175$  °С. Определить средний коэффициент теплоотдачи.

Ответы:

1. 7400
2. 7900
3. 8400
4. 8900
5. 9400

Верный ответ: 3

4.4. В большом объеме кипит вода при давлении  $p = 6,2$  бар. Температура поверхности нагревателя  $t_c = 175$  °С. Определить критическую плотность теплового потока  $q_{кр1}$ .

Ответы:

1. 1,0 МВт/кв.м.
2. 1,4 МВт/кв.м.
3. 2,0 МВт/кв.м.
4. 2,4 МВт/кв.м.
5. 3,0 МВт/кв.м.

Верный ответ: 4

5.5. В большом объеме кипит вода при давлении  $p = 6,2$  бар. Температура поверхности нагревателя  $t_c = 175$  °С. Определить критический температурный напор  $\Delta t_{кр1}$ .

Ответы:

1. 27,0 С
2. 27,5 С
3. 28,0 С
4. 28,5 С
5. 29,0 С

Верный ответ: 2

6.6. Определить плотность теплового потока  $q$ , Вт/кв.м. через вертикальную щель толщиной  $\delta = 10$  мм, заполненную водой в состоянии насыщения при давлении 7 бар. Температура горячей поверхности  $t_{c1} = 160$ °С, холодной поверхности  $t_{c2} = 40$ °С.

Ответы:

1. 100 кВт/кв.м.
2. 110 кВт/кв.м.
3. 120 кВт/кв.м.
4. 130 кВт/кв.м.
5. 140 кВт/кв.м.

Верный ответ: 2

7.7. Как изменяется локальный коэффициент теплоотдачи при свободной конвекции в турбулентном режиме на вертикальной пластине по высоте?

Ответы:



1. Уменьшается
2. Не изменяется
3. Увеличивается

Верный ответ: 2

8.8. Как изменится средний коэффициент теплоотдачи при вынужденной конвекции в ламинарном режиме вдоль плоской поверхности при граничных условиях второго рода, если пластину увеличить по длине в четыре раза?

Ответы:

1. Уменьшится в 4 раза
2. Уменьшится в 2 раза
3. Не изменится
4. Увеличится в 2 раза
5. Увеличится в 4 раза

Верный ответ: 2

9.9. Стакан высотой 10 см заполнен водой на 1/5 при температуре 20 С. Чему равна толщина диффузионного пограничного слоя?

Ответы:

1. 2 см
2. 4 см
3. 6 см
4. 8 см
5. 10 см

Верный ответ: 5

10.10. Определить коэффициент теплоотдачи на участке стабилизированного теплообмена для трансформаторного масла, протекающего внутри трубы квадратного сечения (сторона квадрата 7 см) в вязкостном режиме ( $Re=100$ ) при температуре 60 С. Температура трубы постоянна и равна 80 С.

Ответы:

1. 2 Вт/(кв.м\*К)
2. 4 Вт/(кв.м\*К)
3. 6 Вт/(кв.м\*К)
4. 8 Вт/(кв.м\*К)
5. 10 Вт/(кв.м\*К)

Верный ответ: 3

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

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