

**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  
2024**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

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

М.Г.  
Зеодинов

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

|  |                                                    |                             |
|--|----------------------------------------------------|-----------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                             |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                             |
|  | Владелец                                           | Очков В.Ф.                  |
|  | Идентификатор                                      | Rd91184b2-OchkovVF-1531e2ff |

В.Ф. Очков

Заведующий  
выпускающей кафедрой

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

Ю.В.  
Шацких

## 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, ребрение (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

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

- КМ-1 Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки (Тестирование)
- КМ-2 Стационарная теплопроводность, внутренние источники, оребрение (Контрольная работа)
- КМ-3 Задача на расчет температурного поля в процессе нагрева или охлаждения (Контрольная работа)
- КМ-4 Типовой расчет по теплообмену теплопроводностью и излучением (Домашнее задание)
- КМ-5 Защита цикла лабораторных работ "Теплообмен теплопроводностью и излучением" (Лабораторная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

| 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. Полый 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

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

- КМ-6 Введение в конвективный теплообмен. Числа подобия (Тестирование)
- КМ-7 Теплоотдача при внешнем обтекании пластины и цилиндра. Теплоотдача при вынужденном течении жидкости внутри трубы (Контрольная работа)

- КМ-8 Определение коэффициента теплоотдачи при фазовых превращениях (Контрольная работа)
- КМ-9 Типовой расчет по конвективному теплообмену, массообмену, фазовым превращениям и теплообменным аппаратам (Домашнее задание)
- КМ-10 Защита цикла лабораторных работ "Теплообмен при конвективном теплообмене. Кипение. Теплообменные аппараты" (Лабораторная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

| 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    |

## 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>Учет внутренних источников теплоты</p> <p>Применять внутренние функции пакета Mathcad для решения систем уравнений</p> <p>Критические точки кривой кипения. Коэффициент теплоотдачи при докризисном и кризисном кипении жидкости текущей в трубе</p> <p>Решать дифференциальные уравнения аналитически</p> <p>Расчет чисел подобия, определение режима течения.</p> | <p>КМ-1 Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки (Тестирование)</p> <p>КМ-2 Стационарная теплопроводность, внутренние источники, оребрение (Контрольная работа)</p> <p>КМ-3 Задача на расчет температурного поля в процессе нагрева или охлаждения (Контрольная работа)</p> <p>КМ-4 Типовой расчет по теплообмену теплопроводностью и излучением (Домашнее задание)</p> <p>КМ-5 Защита цикла лабораторных работ "Теплообмен теплопроводностью и излучением" (Лабораторная работа)</p> <p>КМ-6 Введение в конвективный теплообмен. Числа подобия (Тестирование)</p> <p>КМ-7 Теплоотдача при внешнем обтекании пластины и цилиндра. Теплоотдача при вынужденном течении жидкости внутри трубы (Контрольная работа)</p> <p>КМ-8 Определение коэффициента теплоотдачи при фазовых превращениях (Контрольная работа)</p> <p>КМ-9 Типовой расчет по конвективному теплообмену, массообмену, фазовым превращениям и теплообменным аппаратам (Домашнее задание)</p> <p>КМ-10 Защита цикла лабораторных работ "Теплообмен при конвективном теплообмене. Кипение. Теплообменные аппараты" (Лабораторная работа)</p> |

|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |
|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  | <p>Гидродинамический и тепловой пограничные слои</p> <p>Толщина диффузионного пограничного слоя.</p> <p>Стефанов поток.</p> <p>Адиабатическая температура.</p> <p>Применять функции Бесселя при решении дифференциального уравнения в цилиндрических координатах</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:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине     | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: Решать дифференциальные уравнения аналитически | 1.Определение теплового сопротивления многослойной стенки при граничных условиях 1 рода<br>2.Определение теплового сопротивления однослойной стенки при граничных условиях 3 рода<br>3.Определение критического диаметра<br>4.Сравнение коэффициентов теплопроводности различным материалов<br>5.Определение теплового сопротивления однослойной стенки при граничных условиях 3 рода |

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*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 («хорошо»)*

*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 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

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

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

**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:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: Учет внутренних источников теплоты         | <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_{\text{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_{\text{с}}=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_{\text{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 ребрить 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 40 ребер. Определить температуру на конце ребра, тепловой поток, снимаемый с поверхности ребренного 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 ребрить 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 40 ребер. Определить эффективность ребрения и коэффициент ребрения.</p> |

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                               | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: Применять внутренние функции пакета Mathcad для решения систем уравнений | <p>1. Пластина толщиной <math>2\delta=20</math> мм находилась в печи с температурой <math>t_0=140^\circ\text{C}</math>. Для пластины известно: <math>\lambda=0,175</math> Вт/(м· К), <math>a=0,833 \cdot 10^{-7}</math> м<sup>2</sup>/с. Пластину вынули из печи в комнату с температурой <math>t_{\text{ж}}=15^\circ\text{C}</math>, при этом коэффициент теплоотдачи <math>\alpha=65</math> Вт/(м<sup>2</sup>· К). Определить температуру в центре пластины и на её краю через 20 минут.</p> <p>2. Цилиндр наружным диаметром 100 мм помещен из комнаты с температурой <math>t_0=25^\circ\text{C}</math> в печь с температурой <math>t_{\text{ж}}=820^\circ\text{C}</math>. Через какое время температура в центре цилиндра станет <math>800^\circ\text{C}</math>. Коэффициент теплопроводности <math>\lambda=20</math> Вт/(м· К), коэффициент температуропроводности <math>a=6 \cdot 10^{-6}</math> м<sup>2</sup>/с, коэффициент теплоотдачи <math>\alpha=100</math> Вт/(м<sup>2</sup>· К). Какая при этом будет температура поверхности цилиндра.</p> <p>3. Параллелепипед размерами 300x400x500 мм с начальной температурой <math>20^\circ\text{C}</math> помещен в печь с температурой <math>1300^\circ\text{C}</math>. Коэффициент теплопроводности <math>\lambda=40</math> Вт/(м· К), коэффициент температуропроводности <math>a=7 \cdot 10^{-6}</math> м<sup>2</sup>/с, коэффициент теплоотдачи <math>\alpha=150</math> Вт/(м<sup>2</sup>· К). Определить температуру в центре одной из граней (любой) через 1,5</p> |

| Запланированные результаты обучения по дисциплине | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                   | <p>часа.</p> <p>4.Пластина толщиной 400 мм с начальной температурой 30°C помещена в печь с температурой 800°C. Коэффициент теплопроводности <math>\lambda=40 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}</math>, коэффициент температуропроводности <math>a=7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}</math>, коэффициент теплоотдачи <math>\alpha=200 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}</math>. Определить количество теплоты, полученное боковой поверхностью в течение первых 2 часов.</p> <p>5.Латунную пластину, имеющую толщину 100 мм и температуру 25°C нагревают в печи до 600°C. Коэффициент теплоотдачи <math>140 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}</math>. Определить восьмое и восемнадцатое собственное число и записать восьмую и восемнадцатую собственные функции.</p> |

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5 («отлично»)*

*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 («хорошо»)*

*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 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

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

| Запланированные результаты обучения по дисциплине | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: Применять функции Бесселя при              | 1.Цилиндрическую заготовку диаметром $d = 170 \text{ мм}$ и длиной $L = 190 \text{ мм}$ , с начальной температурой $t_0 = 650^\circ\text{C}$ |

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                       | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>решении дифференциального уравнения в цилиндрических координатах</p> | <p>поместили в охлаждаемый бассейн с температурой жидкости <math>t_{ж} = 25^{\circ}\text{C}</math>, в котором она начала охлаждаться при постоянном коэффициенте теплоотдачи <math>\alpha = 120 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})</math>. Свойства материала заготовки: марка - Сталь 1В, плотность - <math>7913 \text{ кг}/\text{м}^3</math>, удельная теплоёмкость - <math>448 \text{ Дж}/(\text{кг К})</math>, теплопроводность - <math>66 \text{ Вт}/(\text{м К})</math> 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 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 <math>\tau_1</math>.</p> <p>2. По трем стальным трубам <math>d_2=100 \text{ мм}</math>, <math>d_1=95 \text{ мм}</math>, <math>L = 2000 \text{ м}</math>, расположенным на открытом воздухе <math>t_{ж}=5^{\circ}\text{C}</math> горячая вода, подогретая в теплообменнике до <math>100^{\circ}\text{C}</math> при давлении 4 бар, транспортируется к потребителю со скоростью <math>w=1 \text{ м}/\text{с}</math> в каждой. С какой температурой будет получать воду потребитель, если первая труба покрыта слоем минеральной ваты [<math>\lambda_{мв}=0.05 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})</math>, <math>\delta_{мв} = 50 \text{ мм}</math>], вторая — слоем бетона [<math>\lambda_{б}=1.3 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})</math>, <math>\delta_{б}=50 \text{ мм}</math>], а третья труба не изолирована. Коэффициент теплоотдачи от горячей воды к внутренней поверхности труб принять <math>\alpha_1=300 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})</math>, а с внешней поверхности каждой из трех труб к окружающему воздуху — одинаковым: <math>\alpha_2=10 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})</math>. Учесть тепловое излучение поверхности трубопровода, имеющую степень черноты <math>\epsilon=0.8</math>, в окружающую среду при температуре отнесения равной температуре атмосферного воздуха. Расчет сделать по формуле Шухова.</p> <p>3. Масло марки МС-20, протекая через бак с расходом <math>G_2=0.1 \text{ кг}/\text{с}</math>, нагревается в нём от температуры <math>t_{ж1}=40^{\circ}\text{C}</math> до температуры <math>t_{ж2}=50^{\circ}\text{C}</math>. Греющим теплоносителем является сухой насыщенный водяной пар, конденсирующийся в горизонтальных змеевиках при давлении <math>P=2.4</math> бар, смонтированных внутри бака. Для снижения тепловых потерь бак покрыт слоем тепловой изоляции. Требуется определить величину поверхности змеевиков <math>F_1, \text{ м}^2</math>, и расход греющего пара <math>G_1, \text{ кг}/\text{с}</math>.</p> <p>Для расчёта заданы следующие величины:<br/> коэффициент теплоотдачи от пара к внутренней стенке поверхности змеевиков <math>\alpha_1=5000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})</math>;<br/> коэффициент теплоотдачи от наружной стенки поверхности змеевиков к маслу <math>\alpha_2= 100 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})</math>;<br/> коэффициент теплоотдачи от масла к стенкам бака <math>\alpha_3=52 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})</math>;<br/> коэффициент теплоотдачи от изоляции бака к воздуху <math>\alpha_4=</math></p> |

| Запланированные результаты обучения по дисциплине | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                   | <p>8 Вт/(м<sup>2</sup>•К);<br/>температура окружающего воздуха<br/>t<sub>ж3</sub>=25°C;</p> <p>толщина стенки бака δ1=5 мм;<br/>толщина изоляции бака δ2=<br/>20 мм;<br/>поверхность бака F2=<br/>5 м<sup>2</sup>.</p> <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 («отлично»)*

*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 («хорошо»)*

*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 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

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

| Запланированные результаты обучения по дисциплине | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: Теплообмен излучением                      | 1.Размерность основных физических величин.<br>2.Расчет погрешностей<br>3.Среднеинтегральный коэффициент теплопроводности<br>4.Числа Био и Фурье, направляющие точки<br>5.Законы излучения. Применение для абсолютно черных тел, серых тел, реальных тел. |

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5 («отлично»)*

*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 («хорошо»)*

*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 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

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

| Запланированные результаты обучения по дисциплине        | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: Расчет чисел подобия, определение режима течения. | 1. Выберите из перечня объёмные силы, действующие на элемент движущейся жидкости:<br>а) трения,<br>б) инерции,<br>в) давления,<br>г) центробежные,<br>д) Кориолиса,<br>е) электрические,<br>ж) магнитные, |

| Запланированные результаты обучения по дисциплине | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                   | <p>з) Архимеда</p> <p>2. Укажите размерность температурного напора:</p> <p>а) <math>0^{\circ}\text{C}/\text{м}</math><br/> б) <math>\text{Вт}/\text{м}^2</math><br/> в) <math>\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})</math><br/> г) <math>\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})</math><br/> д) <math>0^{\circ}\text{C}</math><br/> е) К</p> <p>3. Количество теплоты, отдаваемое потоком жидкости <math>1 \text{ м}^2</math> поверхности в единицу времени при разности температур между ней и поверхностью в <math>10^{\circ}\text{C}</math> называется:</p> <p>а) коэффициентом теплопроводности<br/> б) коэффициентом теплоотдачи<br/> в) плотностью потока излучения<br/> г) интегральной плотностью потока излучения<br/> д) коэффициентом теплопередачи</p> <p>4. Какие из чисел подобия являются теплофизической характеристикой жидкости?</p> <p>а) число Рейнольдса<br/> б) число Нуссельта<br/> в) число Прандтля<br/> г) число Грасгофа<br/> е) число Фурье<br/> ж) число Био</p> <p>5. Какие из чисел подобия характеризуют нестационарность процесса?</p> <p>а) число Рейнольдса<br/> б) число Нуссельта<br/> в) число Прандтля<br/> г) число Грасгофа<br/> д) число Фурье<br/> е) число Био</p> |

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5 («отлично»)*

*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 («хорошо»)*

*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 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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

| Запланированные результаты обучения по дисциплине       | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь:<br>Гидродинамический и тепловой пограничные слои | <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>. 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</math> Ом·мм<sup>2</sup>/м. 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 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                             | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: Критические точки кривой кипения. Коэффициент теплоотдачи при докризисном и кризисном кипении жидкости текущей в трубе | <p>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.</p> <p>2. В большом объеме кипит вода при давлении 2 бар. Температура поверхности нагревателя <math>150^\circ\text{C}</math>. Определить минимальный (критический) радиус пузырька.</p> <p>3. В большом объеме кипит вода при давлении 6,2 бар. Температура поверхности нагревателя <math>175^\circ\text{C}</math>. Определить режим кипения.</p> <p>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.</p> <p>5. На горизонтальной трубе диаметром 20 мм и длиной 2 м конденсируется водяной пар при</p> |

| Запланированные результаты обучения по дисциплине | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                   | атмосферном давлении. Температура поверхности трубы 90°C. Определить средний коэффициент теплоотдачи и количество конденсата, выпавшего на поверхности. |

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                           | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: Толщина диффузионного пограничного слоя. Стефанов поток. Адиабатическая температура. | 1. Плоское изделие длиной 0,6 м продольно омывается потоком сухого воздуха, температура которого 20°C, давление $p=2$ бар, скорость $w=2$ м/с. Температура изделия постоянна по всей длине $t_c=30^\circ\text{C}$ . Определить локальный коэффициент массоотдачи в середине изделия, средний коэффициент массоотдачи и скорость стефанова потока.<br>2. В маслоохладителе масло МК охлаждают от 70°C до 30°C, охладителем является вода с температурой 20°C. Расход масла $G_1=10^4$ кг/час, расход воды $G_2=2 \cdot 10^4$ кг/час. Коэффициент теплопередачи $k=100$ Вт/(м <sup>2</sup> •К). Определить |

| Запланированные результаты обучения по дисциплине | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                   | <p>площадь поверхности теплообменника для прямоточной и противоточной схем.</p> <p>3.Найти число Льюиса для влажного воздуха, температура которого 30°C, а давление 3бар. 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</p> <p>Найти перепад температур на расстоянии 1/5 длины от входного края трубки.</p> |

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5 («отлично»)*

*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 («хорошо»)*

*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 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

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

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                    | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: Классификация теплообменных аппаратов. Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи. | 1.Число и критерии подобия. Теория подобия.<br>2.Пограничный слой: гидродинамический и тепловой. Число Прандтля.<br>3.Обработка уравнений в критериальном виде.<br>4.Пузырьковое и пленочное кипение, кривая кипения.<br>5.Уравнения теплового баланса и теплопередачи для теплообменного аппарата. |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*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 («хорошо»)*

*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 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*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

Пример билета

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

## 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. 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. 1. Число Фурье ( $Fo$ ), есть:

Ответы:

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

Верный ответ: 4

- 2.2. Число Био ( $Bi$ ), есть:

Ответы:

1.  $\alpha \tau / \delta^2$
2.  $\delta / \lambda$
3.  $\lambda / \alpha$
4.  $\alpha \delta / \lambda$
5.  $\lambda / c \rho$

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 («отлично»)*

*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 («хорошо»)*

*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 («удовлетворительно»)*

*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

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*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**

**Пример билета**

|              |                                                              |                            |
|--------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------|
| НИУ<br>«МЭИ» | ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1<br>Кафедра ТОТ им. М.П. Вукаловича | Утверждаю<br>Зав. кафедрой |
|--------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                        |                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                        | «    »    2016 г.                         |
|                                                                                                                                                                                                                                        | Дисциплина Тепломассообмен                |
|                                                                                                                                                                                                                                        | Институт ТЕПЛОВОЙ И АТОМНОЙ<br>ЭНЕРГЕТИКИ |
| 1. Механизм образования парового пузырька. Силы, действующие на паровой зародыш, работа образования пузырька.                                                                                                                          |                                           |
| 3. Задача.<br>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-З<sub>ОПК-4</sub> Демонстрирует понимание основных законов теплообмена 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 слоев.
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  $45^\circ$  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  $t_{с1} = 175^\circ\text{C}$ . 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  $t_{с1} = 175^\circ\text{C}$ . 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  $t_{с1} = 175^\circ\text{C}$ . 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  $t_{с1} = 160^\circ\text{C}$ , холодной поверхности  $t_{с2} = 40^\circ\text{C}$ .

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 («отлично»)*

*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 («хорошо»)*

*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 («удовлетворительно»)*

*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*

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*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.