

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

**Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика**

**Наименование образовательной программы: Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Тепломассообмен**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

|  |  |                                |
|--|--|--------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                |
|  | Владелец   | Ястребов А.К.                  |
|  | Идентификатор                                      | R0e5b2163-YastrebovAK-2523fea7 |

(подпись)

А.К.  
Ястребов

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

|  |  |                                 |
|--|--|---------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                 |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                 |
|  | Владелец   | Дмитриев А.С.                   |
|  | Идентификатор                                      | R8d0ce031-DmitriyevAS-aaaaeae29 |

(подпись)

А.С.  
Дмитриев

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

|  |  |                           |
|--|--|---------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                           |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                           |
|  | Владелец   | Пузина Ю.Ю.               |
|  | Идентификатор                                      | Re86e9a56-Puzina-4d2acad1 |

(подпись)

Ю.Ю.  
Пузина

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

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

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

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-2 Способен анализировать результаты расчетов процессов переноса, протекающих в конкретных технических устройствах и аппаратах энергетического оборудования специального назначения

ИД-2 Демонстрирует понимание основных законов теплообмена и применяет их для расчетов элементов энергетического оборудования различного назначения

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Защита задания

1. Изучение теплоотдачи при кипении азота в большом объеме (Лабораторная работа)
2. Определение теплоемкости и температуропроводности твердых материалов методом регулярного режима (Лабораторная работа)
3. Опытное изучение теплоотдачи при свободной и вынужденной конвекции воздуха около тел различной геометрии (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Конвективный теплообмен (Контрольная работа)
2. Теплообмен излучением (Контрольная работа)
3. Теплообмен при кипении (Контрольная работа)
4. Теплообмен при конденсации (Контрольная работа)
5. Теплопроводность (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Классификация процессов теплообмена (Коллоквиум)
2. Массообмен (Коллоквиум)

## БРС дисциплины

5 семестр

| Раздел дисциплины                   | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |
|-------------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|
|                                     | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|                                     | Срок КМ:                        | 3    | 7    | 12   | 15   |
| Основы теории теплообмена           |                                 |      |      |      |      |
| Классификация процессов теплообмена | +                               |      |      |      |      |
| Теплопроводность                    |                                 |      | +    |      |      |

|                         |   |    |    |    |
|-------------------------|---|----|----|----|
| Конвективный теплообмен |   |    | +  |    |
| Теплообмен излучением   |   |    |    | +  |
| Вес КМ:                 | 5 | 40 | 40 | 15 |

6 семестр

| Раздел дисциплины             | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |      |       |
|-------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|-------|
|                               | Индекс КМ:                      | КМ-5 | КМ-6 | КМ-7 | КМ-8 | КМ-9 | КМ-10 |
|                               | Срок КМ:                        | 3    | 7    | 12   | 14   | 14   | 14    |
| Основы переноса тепла и массы |                                 |      |      |      |      |      |       |
| Массообмен                    |                                 | +    |      |      |      |      |       |
| Теплообмен при конденсации    |                                 |      | +    |      |      |      |       |
| Теплообмен при кипении        |                                 |      |      | +    |      |      |       |
| Лабораторные работы           |                                 |      |      |      | +    | +    | +     |
| Вес КМ:                       | 10                              | 25   | 25   | 13   | 13   | 14   |       |

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

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

| Индекс компетенции | Индикатор   | Запланированные результаты обучения по дисциплине   | Контрольная точка   |
|--------------------|---|---|---|
| ПК-2               | ИД-2ПК-2 Демонстрирует понимание основных законов тепломассообмена и применяет их для расчетов элементов энергетического оборудования различного назначения | <p>Знать:</p> <p>особенности процессов переноса тепла и массы в многокомпонентных системах</p> <p>способы расчета температурного поля при теплопроводности в твердых телах и передаваемого теплового потока</p> <p>основные механизмы переноса теплоты и их особенности в различных системах</p> <p>способы расчета теплового потока между телами различной формы при теплообмене излучением</p> <p>Уметь:</p> <p>участвовать в экспериментальных исследованиях процессов теплообмена и обработке результатов экспериментов</p> | <p>Классификация процессов теплообмена (Коллоквиум)</p> <p>Теплопроводность (Контрольная работа)</p> <p>Конвективный теплообмен (Контрольная работа)</p> <p>Теплообмен излучением (Контрольная работа)</p> <p>Массообмен (Коллоквиум)</p> <p>Теплообмен при конденсации (Контрольная работа)</p> <p>Теплообмен при кипении (Контрольная работа)</p> <p>Определение теплоемкости и температуропроводности твердых материалов методом регулярного режима (Лабораторная работа)</p> <p>Опытное изучение теплоотдачи при свободной и вынужденной конвекции воздуха около тел различной геометрии (Лабораторная работа)</p> <p>Изучение теплоотдачи при кипении азота в большом объеме (Лабораторная работа)</p> |

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  |  | вычислять коэффициент теплоотдачи при кипении в большом объеме и при движении кипящей жидкости<br>вычислять коэффициент теплоотдачи при пленочной конденсации на различных поверхностях<br>вычислять коэффициент теплоотдачи при вынужденной и естественной конвекции |  |
|--|--|---|--|

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

5 семестр

### КМ-1. Классификация процессов теплообмена

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Коллоквиум

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 5

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Устные ответы на вопросы

**Краткое содержание задания:**

Основные механизмы переноса теплоты и их особенности в различных системах

**Контрольные вопросы/задания:**

|  |  |
|--|--|
| Знать: основные механизмы переноса теплоты и их особенности в различных системах | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Какие процессы на микроуровне вызывают перенос тепла теплопроводностью в газах, жидкостях и твердых телах?</li><li>2. Что такое конвективный теплообмен?</li><li>3. Чем свободная конвекция отличается от вынужденной?</li><li>4. Что такое теплообмен излучением?</li><li>5. В чем заключается приближение локального термодинамического равновесия?</li></ol> |
|--|--|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

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

*Оценка:* не зачтено

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

### КМ-2. Теплопроводность

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 40

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменное решение задач

**Краткое содержание задания:**

Способы расчета температурного поля при теплопроводности в твердых телах и передаваемого теплового потока

**Контрольные вопросы/задания:**

|   |   |
|---|---|
| Знать: способы расчета температурного поля при теплопроводности в твердых телах и передаваемого теплового | <ol style="list-style-type: none"><li>1. По ленте толщиной 2 мм течет ток плотностью <math>2 \cdot 10^6</math> А/м<sup>2</sup>. Лента обдувается потоком воздуха с температурой 20°C, коэффициент теплоотдачи от ленты к воздуху <math>\alpha = 250</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К). Определить</li></ol> |
|---|---|

потока

допустимую толщину изоляции с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{из}=0,15 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , если температура ленты не должна превышать  $75^\circ\text{C}$ . Свойства материала ленты: удельное сопротивление  $r=1,25\cdot 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , теплопроводность  $l=20 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

2. Между двумя коаксиально расположенными полыми цилиндрами, выполненными из теплоизоляционного материала, расположен испытываемый материал толщиной  $d=20 \text{ см}$  и коэффициентом теплопроводности  $l=0,1 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . На внутренней поверхности меньшего цилиндра ( $d_1=30 \text{ см}$ ,  $d_2=40 \text{ см}$ ) задана постоянная плотность теплового потока  $q=100 \text{ Вт/м}^2$ . Внешний диаметр большего цилиндра  $d_3=1 \text{ м}$ . Коэффициент теплоотдачи на внешней поверхности  $a=12 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ , температура окружающей среды равна  $20^\circ\text{C}$ . Коэффициенты теплопроводности обоих слоев изоляции одинаковы и равны  $l_1=0,05 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Определить максимальную и минимальную температуру испытываемого материала.

3. Рассчитать температуру в центре медного шара диаметром  $d=10 \text{ мм}$ , погруженного в жидкий азот с  $T_{ж}=77 \text{ К}$ , через  $20 \text{ с}$  после начала охлаждения. Коэффициент теплоотдачи на поверхности шара  $a=120 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ . Теплофизические свойства меди:  $l=400 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ,  $a=10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ . Начальная температура шара  $T_0=300 \text{ К}$ .

2.1. Провод диаметром  $4 \text{ мм}$  изолирован материалом с теплопроводностью  $\lambda_{из}=0,2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . По проводу течет ток плотностью  $2\cdot 10^6 \text{ А/м}^2$ . Провод находится в воздухе с температурой  $T_{ж}=20^\circ\text{C}$ , коэффициент теплоотдачи от провода к воздуху  $\alpha=50 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ . Определить оптимальную толщину изоляции и максимальную температуру провода. Свойства материала провода: удельное сопротивление  $r=1,25\cdot 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , теплопроводность  $l=20 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

2. Плоская стальная стенка толщиной  $10 \text{ мм}$  покрыта двухслойной изоляцией. Первый слой изоляции толщиной  $25 \text{ мм}$  выполнен из материала с коэффициентом теплопроводности, удовлетворяющим соотношению  $l_2=0,144+0,0002\cdot t \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , где  $t$  – температура в градусах Цельсия. Второй слой изоляции толщиной  $10 \text{ мм}$  выполнен из материала с коэффициентом теплопроводности  $l_3=0,7 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Температура внутренней поверхности стальной стенки  $250^\circ\text{C}$ , температура окружающей среды  $20^\circ\text{C}$ , внешний коэффициент теплоотдачи  $a=100 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ . Определить температуры на границах слоев изоляции. Коэффициент теплопроводности стали  $l_1=45 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

3. Найти температуру в центре куба ( $l=55 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ),



$\rho=2000 \text{ кг/м}^3$ ,  $C=2500 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ , длина ребра  $0,1 \text{ м}$  при охлаждении в окружающем газе с температурой  $25^\circ\text{C}$  через  $30 \text{ с}$  после начала охлаждения.

Коэффициент теплоотдачи  $a=15 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$ .

Начальная температура куба  $75^\circ\text{C}$ .

3.1. Провод диаметром  $3 \text{ мм}$  изолирован материалом с теплопроводностью  $\lambda_{из}=0,1 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ . Провод находится в воздухе с температурой  $25^\circ\text{C}$ , коэффициент теплоотдачи от провода к воздуху  $\alpha=30 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$ . Определить оптимальную толщину изоляции и допустимую силу тока, если температура провода не должна превышать  $75^\circ\text{C}$ . Свойства материала провода: удельное сопротивление  $r=1,5\cdot 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , теплопроводность  $\lambda=25 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ .

2. Плоская стальная стенка толщиной  $5 \text{ мм}$  и площадью  $0,5 \text{ м}^2$  двухслойной изоляцией. Первый слой изоляции толщиной  $50 \text{ мм}$  выполнен из материала с коэффициентом теплопроводности, удовлетворяющим соотношению  $\lambda_2=0,1+0,0005\cdot t \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ , где  $t$  – температура в градусах Цельсия. Второй слой изоляции толщиной  $10 \text{ мм}$  выполнен из материала с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_3=0,5 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ . Температура внутренней поверхности стальной стенки  $200^\circ\text{C}$ , температура окружающей среды  $25^\circ\text{C}$ , внешний коэффициент теплоотдачи  $a=50 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$ . Коэффициент теплопроводности стали  $\lambda_1=45 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ . Найти полный тепловой поток, передаваемый через стенку.

4.1. Провод диаметром  $3 \text{ мм}$  изолирован материалом с теплопроводностью  $\lambda_{из}=0,1 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ . Провод находится в воздухе с температурой  $25^\circ\text{C}$ , коэффициент теплоотдачи от провода к воздуху  $\alpha=30 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$ . Определить оптимальную толщину изоляции и допустимую силу тока, если температура провода не должна превышать  $75^\circ\text{C}$ . Свойства материала провода: удельное сопротивление  $r=1,5\cdot 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , теплопроводность  $\lambda=25 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ .

2. Плоская стальная стенка толщиной  $5 \text{ мм}$  и площадью  $0,5 \text{ м}^2$  двухслойной изоляцией. Первый слой изоляции толщиной  $50 \text{ мм}$  выполнен из материала с коэффициентом теплопроводности, удовлетворяющим соотношению  $\lambda_2=0,1+0,0005\cdot t \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ , где  $t$  – температура в градусах Цельсия. Второй слой изоляции толщиной  $10 \text{ мм}$  выполнен из материала с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_3=0,5 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ . Температура внутренней поверхности стальной стенки  $200^\circ\text{C}$ , температура окружающей среды  $25^\circ\text{C}$ , внешний коэффициент теплоотдачи  $a=50 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$ . Коэффициент теплопроводности стали  $\lambda_1=45 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ . Найти полный тепловой поток, передаваемый через стенку.

3. Определить температуру в центре цилиндра ( $\lambda=35$

|  |   |
|--|---|
|  | <p>Вт/(м·К), <math>\rho=5000</math> кг/м<sup>3</sup>, <math>C=500</math> Дж/(кг·К), высота 0,25 м, радиус 0,2 м) в окружающем газе с температурой 20°C через 10 минут после начала охлаждения. Коэффициент теплоотдачи равен <math>a=15</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К). Начальная температура цилиндра 150°C.</p> <p>5.1. По ленте толщиной 1 мм течет ток плотностью <math>3 \cdot 10^6</math> А/м<sup>2</sup>. Лента обдувается потоком воздуха с температурой 25°C, коэффициент теплоотдачи от ленты к воздуху <math>\alpha=200</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К). Определить допустимую толщину изоляции с коэффициентом теплопроводности <math>\lambda_{из}=0,1</math> Вт/(м·К), если температура ленты не должна превышать 90°C. Свойства материала ленты: удельное сопротивление <math>r=1,5 \cdot 10^{-6}</math> Ом·м, теплопроводность <math>l=25</math> Вт/(м·К).</p> <p>2. Между двумя коаксиально расположенными полыми цилиндрами, выполненными из теплоизоляционного материала, расположен испытываемый материал толщиной <math>d=15</math> см и коэффициентом теплопроводности <math>l=0,2</math> Вт/(м·К). На внутренней поверхности меньшего цилиндра (<math>d_1=20</math> см, <math>d_2=25</math> см) температура равна 120°C. Внешний диаметр большего цилиндра <math>d_3=75</math> м. Коэффициент теплоотдачи на внешней поверхности <math>a=25</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К), температура окружающей среды равна 20°C. Коэффициенты теплопроводности обоих слоев изоляции одинаковы и равны <math>l_1=0,15</math> Вт/(м·К). Определить максимальную и минимальную температуру испытываемого материала.</p> <p>3. Найти количество теплоты, отведенное от медного шара диаметром <math>d=20</math> мм, погруженного в жидкий азот с <math>T_{ж}=77</math> К, в течение 120 с после начала охлаждения. Коэффициент теплоотдачи на поверхности шара <math>a=100</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К). Теплофизические свойства меди: <math>l=400</math> Вт/(м·К), <math>a=10^4</math> м<sup>2</sup>/с. Начальная температура шара <math>T_0=300</math> К.</p> |
|--|---|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

### КМ-3. Конвективный теплообмен

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 40

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменное выполнение расчетного задания

**Краткое содержание задания:**

Вычислить коэффициент теплоотдачи при вынужденной и естественной конвекции

**Контрольные вопросы/задания:**

|  |   |
|--|---|
| <p>Уметь: вычислять коэффициент теплоотдачи при вынужденной и естественной конвекции</p> | <p>1.1. Воздух с температурой <math>20^{\circ}\text{C}</math>, обтекает со скоростью <math>10\text{ м/с}</math> тонкую пластину, температура которой равна <math>120^{\circ}\text{C}</math>. Рассчитать полный тепловой поток, отводимый от пластины на участке существования ламинарного течения в пограничном слое. Ширина пластины <math>0,5\text{ м}</math>.</p> <p>2. Определить длину трубы, необходимую для нагрева воды с <math>20^{\circ}\text{C}</math> до <math>30^{\circ}\text{C}</math>. Диаметр трубы <math>10\text{ мм}</math>, скорость воды <math>0,1\text{ м/с}</math>. Температура стенки трубы поддерживается постоянной и равной <math>65^{\circ}\text{C}</math>. Перед обогреваемым участком трубы есть участок гидродинамической стабилизации.</p> <p>3. Найти потерю тепла с единицы длины горизонтальной трубы диаметром <math>20\text{ мм}</math>, находящейся в воздухе. Температуры поверхности трубы и воздуха равны <math>60^{\circ}\text{C}</math> и <math>30^{\circ}\text{C}</math>.</p> <p>2.1. Лента сечением <math>0,1 \times 10\text{ мм}</math> нагревается электрическим током. Удельное сопротивление материала ленты <math>0,5 \cdot 10^{-6}\text{ Ом}\cdot\text{м}</math>. Лента омывается продольным потоком воды, скорость которого равна <math>0,5\text{ м/с}</math>, а температура равна <math>20^{\circ}\text{C}</math>. Определить силу тока, если температура ленты на расстоянии <math>0,2\text{ м}</math> от передней кромки равна <math>85^{\circ}\text{C}</math>.</p> <p>2. Определить длину трубы, необходимую для нагрева воды с <math>20^{\circ}\text{C}</math> до <math>40^{\circ}\text{C}</math>. Диаметр трубы <math>50\text{ мм}</math>, скорость воды <math>0,2\text{ м/с}</math>. Температура стенки трубы поддерживается постоянной и равной <math>60^{\circ}\text{C}</math>.</p> <p>3. Вертикальная труба диаметром <math>20\text{ мм}</math> и высотой <math>3\text{ м}</math>, нагретая до температуры <math>95^{\circ}\text{C}</math>, находится в воздухе, температура которого <math>15^{\circ}\text{C}</math>. Рассчитать полный тепловой поток, снимаемый с поверхности трубы.</p> <p>3.1. Вода с температурой <math>20^{\circ}\text{C}</math> обтекает пластину с температурой <math>50^{\circ}\text{C}</math>. Скорость воды <math>2\text{ м/с}</math>, длина пластины <math>5\text{ м}</math>. Найти средний коэффициент теплоотдачи и локальный коэффициент теплоотдачи в конце пластины.</p> <p>2. Вода течет в трубе диаметром <math>10\text{ мм}</math> со скоростью <math>2\text{ м/с}</math>. Длина трубы <math>5\text{ м}</math>, температура воды на входе <math>10^{\circ}\text{C}</math>. От стенки к воде подводится постоянный</p> |
|--|---|

|  |   |
|--|---|
|  | <p>тепловой поток 36000 Вт/м<sup>2</sup>. Найти среднюю по длине температуру стенки.</p> <p>3. Натянутая горизонтально проволока нагревается в воздушной атмосфере электрическим током. Диаметр проволоки 0,8 мм, сопротивление на единицу длины проволоки 3,4 Ом/м. Температуры воздуха и проволоки равны 20°C и 260°C соответственно. Найти силу тока.</p> <p>4.1. Вода с температурой 30°C, обтекает со скоростью 2 м/с тонкую пластину, температура которой равна 80°C. Рассчитать полный тепловой поток, отводимый от пластины на участке существования ламинарного течения в пограничном слое. Ширина пластины 0,25 м.</p> <p>2. Воздух течет в трубе диаметром 15 мм со скоростью 10 м/с. Длина трубы 3 м, температура воздуха на входе 20°C. От стенки к воде подводится постоянный тепловой поток 20000 Вт/м<sup>2</sup>. Найти температуру стенки в выходном сечении трубы.</p> <p>3. Горизонтальная труба диаметром 30 мм и длиной 0,5 м погружена в воду с температурой 20°C. Температура поверхности трубы равна 50°C. Найти полный тепловой поток, отводящийся от трубы в воду.</p> <p>5.1. Вода с температурой 15°C обтекает пластину, от которой к воде подводится постоянный тепловой поток 10000 Вт/м<sup>2</sup>. Скорость воды 2 м/с, длина пластины 2 м. Найти температуру стенки в конце пластины.</p> <p>2. Определить длину трубы, необходимую для нагрева воды с 15°C до 45°C. Диаметр трубы 40 мм, скорость воды 0,25 м/с. Температура стенки трубы поддерживается постоянной и равной 70°C.</p> <p>3. Натянутая вертикально проволока нагревается в воздушной атмосфере электрическим током. Диаметр проволоки 3 мм, длина проволоки 2 м, сопротивление на единицу длины проволоки 1 Ом/м. Температуры воздуха и проволоки равны 25°C и 200°C соответственно. Найти силу тока.</p> |
|--|---|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

#### КМ-4. Теплообмен излучением

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменное решение задач

#### Краткое содержание задания:

Методы расчета теплового потока между телами различной формы при теплообмене излучением

#### Контрольные вопросы/задания:

|   |   |
|---|---|
| Знать: способы расчета теплового потока между телами различной формы при теплообмене излучением | <p>1.1. В сферическом сосуде Дьюара объемом 100 л хранится жидкий азот. Определить суточную потерю азота из-за теплопритоков излучением. Коэффициенты излучения поверхностей внутреннего и наружного сосудов равны 0,08 и 0,1, а их температуры равны 77 К и 300 К. Как уменьшатся потери, если между стенками сосуда установить экран, коэффициент излучения которого равен 0,05? Теплота парообразования азота 198 кДж/кг.</p> <p>2. Между двумя параллельными плоскими поверхностями находятся два экрана. Температуры поверхностей равны 100°C и 20°C, их коэффициенты излучения равны 0,8 и 0,4, коэффициент излучения экранов равен 0,2. Найти температуру экрана, который находится ближе к холодной поверхности.</p> <p>2.1. В сферическом сосуде Дьюара объемом 50 л хранится жидкий кислород. Определить суточную потерю кислорода из-за теплопритоков излучением. Коэффициенты излучения поверхностей внутреннего и наружного сосудов равны 0,1 и 0,06, а их температуры равны 90 К и 300 К. Как уменьшатся потери, если между стенками сосуда установить экран, коэффициент излучения которого равен 0,1? Теплота парообразования кислорода 212 кДж/кг.</p> <p>2. Между двумя параллельными плоскими поверхностями находятся два экрана. Температуры поверхностей равны 150°C и 30°C, их коэффициенты излучения равны 0,7 и 0,3, коэффициент излучения экранов равен 0,15. Найти температуру экрана, который находится ближе к горячей поверхности.</p> <p>3.1. В сферическом сосуде Дьюара объемом 150 л хранится жидкий метан. Определить суточную потерю метана из-за теплопритоков излучением. Коэффициенты излучения поверхностей внутреннего и наружного сосудов равны 0,1 и 0,08, а их температуры равны 111 К и 300 К. Как уменьшатся потери, если между стенками сосуда установить</p> |
|---|---|

|  |  |
|--|--|
|  | <p>экран, коэффициент излучения которого равен 0,08? Теплота парообразования метана 515 кДж/кг.</p> <p>2. Между двумя параллельными плоскими поверхностями находятся два экрана. Температуры поверхностей равны 120°C и 40°C, их коэффициенты излучения равны 0,75 и 0,5, коэффициент излучения экранов равен 0,1. Найти температуру экрана, который находится ближе к холодной поверхности.</p> <p>4.1. В цилиндрическом сосуде Дьюара объемом 100 л и диаметром 50 см хранится жидкий азот. Определить суточную потерю азота из-за теплопритоков излучением. Коэффициенты излучения поверхностей внутреннего и наружного сосудов равны 0,05 и 0,08, а их температуры равны 77 К и 300 К. Как уменьшатся потери, если между стенками сосуда установить экран, коэффициент излучения которого равен 0,05? Теплота парообразования азота 198 кДж/кг.</p> <p>2. Между двумя параллельными плоскими поверхностями находятся два экрана. Температуры поверхностей равны 150°C и 20°C, их коэффициенты излучения равны 0,25 и 0,7, коэффициент излучения экранов равен 0,2. Найти температуру экрана, который находится ближе к холодной поверхности.</p> <p>5.1. В цилиндрическом сосуде Дьюара объемом 200 л и диаметром 75 см хранится жидкий кислород. Определить суточную потерю кислорода из-за теплопритоков излучением. Коэффициенты излучения поверхностей внутреннего и наружного сосудов равны 0,09 и 0,07, а их температуры равны 90 К и 300 К. Как уменьшатся потери, если между стенками сосуда установить экран, коэффициент излучения которого равен 0,08? Теплота парообразования кислорода 212 кДж/кг.</p> <p>2. Между двумя параллельными плоскими поверхностями находятся два экрана. Температуры поверхностей равны 100°C и 10°C, их коэффициенты излучения равны 0,25 и 0,8, коэффициент излучения экранов равен 0,15. Найти температуру экрана, который находится ближе к горячей поверхности.</p> |
|--|--|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

**6 семестр**

### **КМ-5. Массообмен**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Коллоквиум

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Устный ответ на вопросы

**Краткое содержание задания:**

Особенности процессов переноса тепла и массы в многокомпонентных системах

**Контрольные вопросы/задания:**

|  |   |
|--|---|
| Знать: особенности процессов переноса тепла и массы в многокомпонентных системах | <ol style="list-style-type: none"><li>1.Какой закон сохранения выражает уравнение диффузии?</li><li>2.Почему уравнение энергии для многокомпонентной смеси отличается от уравнения энергии для чистого вещества?</li><li>3.Как записывается закон Фика для потока массы при диффузии?</li><li>4.Какие безразмерные комплексы используются при описании процессов массообмена?</li><li>5.При каких условиях может использоваться аналогия процессов теплообмена и массообмена?</li></ol> |
|--|---|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: зачтено*

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

*Оценка: не зачтено*

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

### **КМ-6. Теплообмен при конденсации**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменное выполнение расчетного задания

**Краткое содержание задания:**

Вычислить коэффициент теплоотдачи при пленочной конденсации на различных поверхностях

**Контрольные вопросы/задания:**

|  |   |
|--|---|
| Уметь: вычислять коэффициент теплоотдачи при пленочной | 1.1. На наружной поверхности вертикальной трубы диаметром 20 мм и длиной 2 м конденсируется сухой |
|--|---|

|  |   |
|--|---|
| <p>конденсации на различных поверхностях</p> | <p>насыщенный водяной пар при давлении 0.1 МПа. Температура поверхности трубы 95 оС. Как изменится средний коэффициент теплоотдачи, если длину трубы увеличить в пять раз?</p> <p>2. Какую температуру стенки необходимо обеспечить, чтобы при пленочной конденсации сухого насыщенного водяного пара на поверхности горизонтальной трубы диаметром 12 мм и длиной 2 м конденсировалось <math>6 \cdot 10^{-3}</math> кг/с пара? Пар находится при давлении 0.2 МПа.</p> <p>2.1. Какое количество вертикальных труб длиной 1,45 м и диаметром 40 мм потребуется для обеспечения конденсации насыщенного водяного пара в количестве <math>4 \cdot 10^{-2}</math> кг/с при <math>DT = 5</math> К? Давление пара 1 МПа. Конденсация на каждой трубе происходит независимо.</p> <p>2. На наружной поверхности вертикальной трубы диаметром 20 мм и длиной 8 м конденсируется сухой насыщенный водяной пар при давлении 0.2 МПа. Температура поверхности трубы 95оС. Как изменится средний коэффициент теплоотдачи, если трубу расположить горизонтально?</p> <p>3.1. Какую температуру стенки необходимо обеспечить, чтобы при пленочной конденсации сухого насыщенного водяного пара на поверхности горизонтальной трубы длиной 1 м и диаметром 30 мм конденсировалось <math>3 \cdot 10^{-3}</math> кг/с пара? Давление пара 0,1 МПа.</p> <p>2. На наружной поверхности вертикальной трубы диаметром 20 мм и длиной 4 м конденсируется сухой насыщенный водяной пар при давлении 0.1 МПа. Температура поверхности трубы 95оС. Как изменится средний коэффициент теплоотдачи, если давление увеличить в два раза?</p> <p>4.1. Какое количество горизонтальных труб длиной 1,2 м и диаметром 25 мм потребуется для обеспечения конденсации насыщенного водяного пара в количестве <math>6 \cdot 10^{-2}</math> кг/с при <math>DT = 10</math> К? Давление пара 0,2 МПа. Конденсация на каждой трубе происходит независимо.</p> <p>1. На наружной поверхности вертикальной трубы диаметром 15 мм и длиной 1,5 м конденсируется сухой насыщенный водяной пар при давлении 1 МПа. Температура поверхности трубы 90оС. Как изменится средний коэффициент теплоотдачи, если длину трубы увеличить в три раза?</p> <p>5.1. Какую температуру стенки необходимо обеспечить, чтобы при пленочной конденсации сухого насыщенного водяного пара на поверхности вертикальной трубы длиной 2 м и диаметром 25 мм конденсировалось <math>5 \cdot 10^{-3}</math> кг/с пара? Давление пара 0,1 МПа.</p> |
|--|---|



|  |   |
|--|---|
|  | 2. На поверхности горизонтальной трубы диаметром 12 мм и длиной 2 м конденсируется водяной пар при давлении 0.2 МПа. Разность температур между паром и стенкой равна 10 К. Найти массовый расход образовавшейся жидкости. |
|--|---|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

**КМ-7. Теплообмен при кипении**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменное выполнение расчетного задания

**Краткое содержание задания:**

Вычислить коэффициент теплоотдачи при кипении в большом объеме и при движении кипящей жидкости

**Контрольные вопросы/задания:**

|  |  |
|--|--|
| <p>Уметь: вычислять коэффициент теплоотдачи при кипении в большом объеме и при движении кипящей жидкости</p> | <p>1.1. Горизонтальная труба длиной 0,4 м и диаметром 60 мм изнутри обогревается электронагревателем мощностью 83 кВт. Тепловой поток отводится в кипящую на наружной поверхности трубы воду при давлении 0,3 МПа. Определить температуру наружной поверхности трубы.</p> <p>2. Вода кипит в трубе диаметром 40 мм и длиной 1 м при вынужденном движении со скоростью 0,5 м/с. Тепловая нагрузка составляет <math>2 \cdot 10^5</math> Вт/м<sup>2</sup>, давление 1,0 МПа. Как изменится температура стенки трубы при увеличении скорости до 4 м/с? Теплопроводность стенки 17 Вт/м·К.</p> <p>2.1. На поверхности горизонтальной трубы диаметром 8 мм кипит вода при атмосферном давлении. Тепловая нагрузка <math>q=0.7q_{кр1}</math>. Как изменится плотность теплового потока на поверхности трубки, если разность температур между стенкой и жидкостью увеличить в 8 раз?</p> |
|--|--|

|  |  |
|--|--|
|  | <p>2. Вода кипит при течении в трубе диаметром 35 мм и длиной 7 м. Определить скорость циркуляции, при которой вынужденное движение начнет оказывать влияние на интенсивность теплообмена (<math>q = 2.5 \cdot 10^5</math> Вт/м<sup>2</sup>, <math>P = 7.5</math> МПа).</p> <p>3.1. Вода кипит на плоской горизонтальной поверхности при давлении 0,2 МПа и плотности теплового потока <math>1,4 \cdot 10^6</math> Вт/м<sup>2</sup>. Определить температуру стенки. Изменится ли температура стенки, если расположить эту поверхность вертикально?</p> <p>2. В трубе внутренним диаметром 38 мм и длиной 5 м движется кипящая вода со скоростью 1 м/с. Давление 2.8 МПа, а температура на входе равна температуре насыщения. Определить коэффициент теплоотдачи от стенки к кипящей воде и температурный напор, если плотность теплового потока равна <math>3 \cdot 10^5</math> Вт/м<sup>2</sup>. Теплопроводность стенки 17 Вт/м·К.</p> <p>4.1. На вертикальной поверхности большой протяженности кипит вода при атмосферном давлении. Тепловая нагрузка <math>q = 0.5 q_{кр1}</math>. Как изменится плотность теплового потока на поверхности трубки, если разность температур между стенкой и жидкостью увеличить в 10 раз?</p> <p>2. Вода кипит при течении в трубе диаметром 25 мм и длиной 5 м. Определить минимальную скорость циркуляции, при которой интенсивность теплообмена будет определяться только вынужденным движением (<math>q = 2.5 \cdot 10^5</math> Вт/м<sup>2</sup>, <math>P = 7.5</math> МПа).</p> <p>5.1. Горизонтальная труба длиной 0,5 м и диаметром 50 мм изнутри обогревается электронагревателем. Тепловой поток отводится в кипящую на наружной поверхности трубы воду при давлении 0,1 МПа. Температура наружной поверхности трубы равна 120°C. Найти мощность электронагревателя.</p> <p>2. В трубе внутренним диаметром 25 мм и длиной 3 м движется кипящая вода со скоростью 0,5 м/с. Давление 2.8 МПа, а температура на входе равна температуре насыщения. Определить температуру стенки, если плотность теплового потока равна <math>4 \cdot 10^5</math> Вт/м<sup>2</sup>. Теплопроводность стенки 17 Вт/м·К.</p> |
|--|--|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

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

### **КМ-8. Определение теплоемкости и температуропроводности твердых материалов методом регулярного режима**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 13

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполнение экспериментально-расчетного задания

#### **Краткое содержание задания:**

Участие в экспериментальных исследованиях процессов теплообмена и обработке результатов экспериментов: Определение теплоемкости и температуропроводности твердых материалов методом регулярного режима

#### **Контрольные вопросы/задания:**

|  |  |
|--|--|
| Уметь: участвовать в экспериментальных исследованиях процессов теплообмена и обработке результатов экспериментов | <ol style="list-style-type: none"><li>1.Что такое регулярный режим охлаждения?</li><li>2.Какие предельные случаи существуют при регулярном режиме охлаждения?</li><li>3.В чем заключаются особенности предельных случаев при регулярном режиме охлаждения?</li><li>4.Как эти особенности сказываются на распределении температуры?</li><li>5.В чем заключаются достоинства и недостатки применяемого метода?</li></ol> |
|--|--|

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

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

*Оценка:* не зачтено

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

### **КМ-9. Опытное изучение теплоотдачи при свободной и вынужденной конвекции воздуха около тел различной геометрии**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 13

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполнение экспериментально-расчетного задания

#### **Краткое содержание задания:**

Участие в экспериментальных исследованиях процессов теплообмена и обработке результатов экспериментов: Опытное изучение теплоотдачи при свободной и вынужденной конвекции воздуха около тел различной геометрии

**Контрольные вопросы/задания:**

|  |  |
|--|--|
| Уметь: участвовать в экспериментальных исследованиях процессов теплообмена и обработке результатов экспериментов | <ol style="list-style-type: none"><li>1.Какие режимы теплообмена существуют при свободной конвекции в большом объеме?</li><li>2.В чем заключается отличие свободной конвекции от вынужденной конвекции?</li><li>3.Почему при выполнении работы необходимо проводить измерения в стационарном режиме?</li><li>4.Какой процесс определяет время выхода на стационарный режим?</li><li>5.Каковы основные источники погрешности измерений в данной работе?</li></ol> |
|--|--|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

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

*Оценка:* не зачтено

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

**КМ-10. Изучение теплоотдачи при кипении азота в большом объеме**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 14

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполнение экспериментально-расчетного задания

**Краткое содержание задания:**

Участие в экспериментальных исследованиях процессов теплообмена и обработке результатов экспериментов: Изучение теплоотдачи при кипении азота в большом объеме

**Контрольные вопросы/задания:**

|  |  |
|--|--|
| Уметь: участвовать в экспериментальных исследованиях процессов теплообмена и обработке результатов экспериментов | <ol style="list-style-type: none"><li>1.Каковы особенности кривой кипения при пузырьковом кипении в большом объеме?</li><li>2.В чем состоит первый кризис кипения?</li><li>3.В чем состоит второй кризис кипения?</li><li>4.Каковы особенности пленочного кипения на плоской поверхности?</li><li>5.Каковы основные источники погрешности измерений в данной работе?</li></ol> |
|--|--|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

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

*Оценка:* не зачтено

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

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 5 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

Билет 1

1. Основные положения теории теплопроводности. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Возрастание энтропии при передаче тепла теплопроводностью.
2. Теплообмен при стабилизированном течении в трубах. Ламинарное течение. Граничные условия 2 рода.
3. Пластина с размерами  $1 \times 100 \times 400$  мм, омывается потоком воды, направленным вдоль длинной стороны пластины. Температура поверхности пластины постоянна и равна  $75^\circ\text{C}$ , температура набегающего потока  $20^\circ\text{C}$ . Режим течения в пограничном слое ламинарный. Как изменится количество тепла, снимаемого с пластины, если направить поток вдоль меньшей стороны?

### Процедура проведения

Устные ответы на вопросы билета, решение задачи

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-2 Демонстрирует понимание основных законов теплообмена и применяет их для расчетов элементов энергетического оборудования различного назначения

### Вопросы, задания

1. Билет 1

1. Основные положения теории теплопроводности. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Возрастание энтропии при передаче тепла теплопроводностью.
2. Теплообмен при стабилизированном течении в трубах. Ламинарное течение. Граничные условия 2 рода.
3. Пластина с размерами  $1 \times 100 \times 400$  мм, омывается потоком воды, направленным вдоль длинной стороны пластины. Температура поверхности пластины постоянна и равна  $75^\circ\text{C}$ , температура набегающего потока  $20^\circ\text{C}$ . Режим течения в пограничном слое ламинарный. Как изменится количество тепла, снимаемого с пластины, если направить поток вдоль меньшей стороны?

2. Билет 2

1. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Приближения и вывод. Условия однозначности и безразмерные критерии.
2. Конвективный теплообмен. Гидродинамический и тепловой турбулентный пограничный слой. Модель Прандтля. Аналогия Рейнольдса.
3. Вода со скоростью  $0,2$  м/с движется по трубе диаметром  $4$  мм с температурой  $20^\circ\text{C}$  на входе в трубу. Определить длину трубы, необходимую для нагревания воды до  $80^\circ\text{C}$ , если подводимая плотность теплового потока равна  $1500$  Вт/м<sup>2</sup>. Также найти температуру стенки трубы в выходном сечении.

3. Билет 3

1. Теплопроводность в плоской пластине. Граничные условия 1-го и 3-го рода. Термические сопротивления.

2. Конвективный теплообмен при турбулентном движении в трубах. Интеграл Лайона.
3. На сколько можно увеличить количество тепла, передаваемое через плоскую стенку размером  $0.5 \times 1.0$  м от одной жидкой среды ( $a_1 = 50 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$ ,  $T_{ж1} = 200 \text{ К}$ ) к другой ( $a_2 = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$ ,  $T_{ж2} = 150 \text{ К}$ ) за счет установки на одной из поверхностей ребер? Принять, что коэффициент оребрения стенки равен 4, эффективность ребра равна 1. Термическое сопротивление стенки мало.

#### 4.Билет 4

1. Охлаждение бесконечного цилиндра, граничные условия 3-го рода. Решение уравнения теплопроводности и его асимптотики при различных числах Био.
2. Гидродинамика и теплообмен при продольном обтекании пластины. Ламинарный пограничный слой.
3. Пространство между двумя горизонтальными пластинами заполнено воздухом при атмосферном давлении, расстояние между ними составляет 10 мм. Температура верхней пластины  $T_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ , нижней  $T_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Как изменится тепловой поток между пластинами, если их поменять местами?

#### 5.Билет 5

1. Стационарная теплопроводность в многослойной плоской стенке. Граничные условия 1-го и 3-го рода. Термические сопротивления.
2. Понятие равновесного излучения. Формула Планка. Закон смещения Вина. Закон Стефана-Больцмана.
3. По трубе длиной 2 м и диаметром 30 мм течет вода со скоростью 1 м/с. Температура воды на входе равна  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Определить температуру воды на выходе, если температура стенки равна  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### 6.Билет 6

1. Интенсификация теплопередачи за счет оребрения. Распределение температуры в ребре. Расчет теплопередачи через оребренную стенку.
2. Гидродинамика и теплообмен при обтекании тел конечных размеров. Обтекание цилиндра, шара и пучков труб.
3. Между двумя параллельными поверхностями, температуры которых 20 и 78 К, расположены три одинаковых экрана. Коэффициенты теплового излучения поверхностей равны 0,08, а экранов – 0,05. Рассчитать температуру среднего экрана.

#### 7.Билет 7

1. Теплопроводность цилиндрической стенки. Граничные условия 1-го и 3-го рода. Термические сопротивления.
2. Конвективный теплообмен при течении в трубах. Ламинарное течение. Граничные условия 1 рода. Распределение температуры на начальном термическом участке.
3. Воздух со скоростью 30 м/с и температурой 338 К обтекает плоскую пластину длиной 150 мм. Найти среднюю по поверхности плотность теплового потока. Принять разность температур между пластиной и воздухом равной 5.5 К.

#### 8.Билет 8

1. Регулярный режим охлаждения. Теоремы Кондратьева. Определение постоянной времени при различных числах Био. Использование регулярного режима при экспериментальном определении теплофизических свойств.
2. Конвективный теплообмен. Связь между гидродинамическим и тепловым ламинарными пограничными слоями.
3. Между двумя плоскопараллельными неограниченными поверхностями с коэффициентами излучения 0,7 и 0,8 установлены два экрана, коэффициенты излучения которых соответственно равны 0,1 и 0,02. Во сколько раз за счет установки экранов удалось снизить плотность потока результирующего излучения? Принять, что температуры поверхностей после установки экранов не изменяются.

#### 9.Билет 9

1. Конвективный теплообмен. Основные понятия, система уравнений, определение коэффициента теплоотдачи при внешнем обтекании тел и течения в каналах.
2. Теплообмен излучением между параллельными пластинами, разделенными экранами.
3. Ребро выполнено из медной пластины толщиной 2 мм и длиной 0,2 м. Как изменится снимаемый с ребра тепловой поток, если его длину уменьшить в 4 раза? Известно  $a = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$ ;  $l = 320 \text{ Вт}/(\text{м К})$ .

10. Билет 10

1. Стационарная теплопроводность цилиндра и шара с внутренними источниками тепла при граничных условиях 1-го и 3-го рода.
2. Режимы естественной конвекции около ограниченных тел. Естественная конвекция вокруг цилиндра и шара.
3. По горизонтально расположенному в воздухе цилиндрическому медному проводу диаметром 1 мм пропускают электрический ток 10 А. Провод имеет полиэтиленовую изоляцию толщиной 0,25 мм. Определить температуру внешней поверхности изоляции, если удельное сопротивление меди  $0,0175 \text{ Ом мм}^2/\text{м}$ , а температура окружающего воздуха равна  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Как формулируется закон Фурье для передачи тепла теплопроводностью?

Ответы:

**1) Тепловой поток пропорционален градиенту температуры с противоположным знаком**

- 2) Тепловой поток обратно пропорционален градиенту температуры
  - 3) Тепловой поток пропорционален температуре с противоположным знаком
- Верный ответ: Тепловой поток пропорционален градиенту температуры с противоположным знаком

2. Что такое коэффициент теплоотдачи?

Ответы:

1) Коэффициент пропорциональности, связывающий тепловой поток между жидкостями с разных сторон стенки и разность температур между этими жидкостями

**2) Коэффициент пропорциональности, связывающий тепловой поток между стенкой и жидкостью и разность температур между ними**

3) Коэффициент пропорциональности, связывающий тепловой поток в стенке и разность температур между разными границами стенки

Верный ответ: Коэффициент пропорциональности, связывающий тепловой поток между стенкой и жидкостью и разность температур между ними

3. Что такое регулярный режим нагрева или охлаждения тела?

Ответы:

1) Стадия процесса, на которой температура зависит от времени линейно

**2) Стадия процесса, на которой логарифм безразмерной температуры зависит от времени линейно**

3) Стадия процесса, на которой температура не зависит от времени

Верный ответ: Стадия процесса, на которой логарифм безразмерной температуры зависит от времени линейно

4. Какой безразмерный комплекс является основным определяющим критерием при вынужденной конвекции?

Ответы:

**1) Число Рейнольдса**

2) Число Рэлея

3) Число Нуссельта

Верный ответ: Число Рейнольдса

5. Что такое участок полностью стабилизированного течения в трубе?



Ответы:

- 1) Участок, на котором скорость и температура не зависят от продольной координаты
- 2) Участок, на котором вид распределения скорости и температуры по сечению трубы не меняется**
- 3) Участок, на котором формируются распределения скорости и температуры по сечению трубы

Верный ответ: Участок, на котором вид распределения скорости и температуры по сечению трубы не меняется

6. Что такое тепловой пограничный слой?

Ответы:

- 1) Область, в которой температура жидкости меняется от температуры стенки до температуры невозмущенного потока**
- 2) Область, в которой скорость жидкости меняется от нуля на стенке до скорости невозмущенного потока
- 3) Область, в которой температура не зависит от координаты, направленной по нормали к стенке

Верный ответ: Область, в которой температура жидкости меняется от температуры стенки до температуры невозмущенного потока

7. Что такое коэффициент излучения (степень черноты)?

Ответы:

- 1) Отношение температуры тела к температуре абсолютно черного тела при такой же плотности потока собственного излучения.
- 2) Отношение плотности потока собственного излучения тела к плотности потока излучения абсолютно черного тела при той же температуре.**
- 3) Отношение плотности потока собственного излучения тела к плотности потока поглощенного им излучения.

Верный ответ: Отношение плотности потока собственного излучения тела к плотности потока излучения абсолютно черного тела при той же температуре.

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

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

**6 семестр**

**Форма промежуточной аттестации: Экзамен**

## Пример билета

### Билет 1

1. Конденсация движущегося пара на плоской поверхности.
2. Стефанов поток при испарении в парогазовую среду.
3. Определить максимальную паропроизводительность горизонтальной плоской поверхности площадью 5 м<sup>2</sup> при подводе через нее теплового потока к воде, находящейся в состоянии насыщения, при умеренных значениях температурного напора ( $\Delta T < 100$  К). Давление атмосферное.

## Процедура проведения

Устные ответы на вопросы билета, решение задачи

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-2 Демонстрирует понимание основных законов теплообмена и применяет их для расчетов элементов энергетического оборудования различного назначения

### Вопросы, задания

#### 1. Билет 1

1. Конденсация движущегося пара на плоской поверхности.
2. Стефанов поток при испарении в парогазовую среду.
3. Определить максимальную паропроизводительность горизонтальной плоской поверхности площадью 5 м<sup>2</sup> при подводе через нее теплового потока к воде, находящейся в состоянии насыщения, при умеренных значениях температурного напора ( $\Delta T < 100$  К). Давление атмосферное.

#### 2. Билет 2

1. Система уравнений и граничные условия для задач с фазовым переходом на свободной поверхности.
2. Основные особенности кипения при движении жидкости в трубах. Смена режимов течения.
3. Оценить значение разности температур, соответствующее началу кипения насыщенной воды на вертикальной поверхности высотой 0,2 м при атмосферном давлении.

#### 3. Билет 3

1. Вероятность образования пузыря критического размера в объеме и на твердой поверхности.
2. Подобие процессов при тепло- и массообмене. Тройная аналогия.
3. Как изменится коэффициент теплоотдачи при кипении воды в трубе диаметром 38 мм и длиной 3 м при повышении скорости движения воды от 0.3 м/с до 3 м/с, если плотность теплового потока равна  $2.5 \cdot 10^5$  Вт/м<sup>2</sup>, а давление равно 7.5 МПа. Теплопроводность стенки 17 Вт/м·К.

#### 4. Билет 4

1. Кривая кипения. Характерные точки кривой, режимы кипения.
2. Распределение концентрации пара при испарении в парогазовую среду.
3. Имеет место конденсация при смешанном режиме течения пленки конденсата на плоской вертикальной пластине ( $Z = 4000$ ,  $Pr = 2$ ). Как изменится отводимый тепловой поток при увеличении температурного напора в 2 раза?

#### 5. Билет 5

1. Конденсация на струе жидкости.

2. Основные особенности пленочного режима кипения на поверхностях с различной геометрией (горизонтальная и вертикальная поверхности, сфера, горизонтальный цилиндр).

3. Определить скорость циркуляции в случае движения воды в трубе диаметром 45 мм и длиной 8 м, при которой кипение перестанет влиять на интенсивность теплообмена ( $q = 4.5 \cdot 10^5 \text{ Вт/м}^2$ ,  $P = 7.5 \text{ МПа}$ ).

6.Билет 6

1. Пленочная конденсация пара, движущегося внутри трубы. Ламинарное течение конденсата.

2. Модель закипания для обычных и криогенных жидкостей.

3. При каких значениях приведенной длины  $Z$  средняя теплоотдача при пленочной конденсации на вертикальной поверхности большой протяженности будет в 1,5 раза превосходить свое минимальное значение?  $Pr = 2,6$ .

7.Билет 7

1. Пленочная конденсация на поверхности горизонтальной и вертикальной трубы.

2. Уравнения тепло- и массообмена. Уравнение энергии для многокомпонентной среды.

3. Вода кипит на вертикальной поверхности большой протяженности при атмосферном давлении. Температура поверхности равна  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ . Найти расход пара, образующегося на единице площади поверхности.

8.Билет 8

1. Кипение при движении жидкости в трубах. Смена режимов течения.

2. Основные особенности процесса капельной конденсации. Теплообмен при капельной конденсации.

3. Для обогрева вертикальной поверхности кипения используется конденсация насыщенного пара на противоположной поверхности стенки. В обоих случаях теплоносителем является вода. Какое давление пара со стороны конденсации требуется обеспечить, чтобы достигнуть перепада температур, соответствующего первому кризису кипения? Перепадами температур в стенке и со стороны конденсации пренебречь. Кипение происходит при атмосферном давлении.

9.Билет 9

1. Кризис кипения с точки зрения теплового баланса стенки. Устойчивость режима кипения.

2. Влияние перегрева и влажности пара на теплоотдачу при конденсации.

3. Определить максимальный перегрев при пузырьковом кипении воды на горизонтальной плоской поверхности в условиях пониженной гравитации ( $g/g_0=0,01$ ). Давление атмосферное.

10.Билет 10

1. Особенности конденсации движущегося пара. Сопротивление стока.

2. Модели теплообмена при течении кипящей жидкости в каналах. Пузырьковый режим течения.

3. Какую температуру стенки необходимо обеспечить, чтобы при пленочной конденсации сухого насыщенного водяного пара на поверхности горизонтальной трубы диаметром 12 мм и длиной 2 м конденсировалось  $6 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$  пара. Пар находится при давлении 0.25 МПа.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. При какой высоте стенки средний коэффициент теплоотдачи при пленочной конденсации на вертикальной стенке будет минимальным?

Ответы:

1) При бесконечно большой высоте

2) При высоте, соответствующей критическому значению приведенной длины, при котором ламинарно-волновое течение жидкости сменяется турбулентным

3) При нулевой высоте

Верный ответ: При высоте, соответствующей критическому значению приведенной длины, при котором ламинарно-волновое течение жидкости сменяется турбулентным

2. Какой фактор определяет режим конденсации на поверхности (пленочная или капельная)?

Ответы:

1) Форма поверхности

2) Разность температур между паром и стенкой

**3) Смачиваемость**

Верный ответ: Смачиваемость

3. Как соотносятся разность температур внутри тела и разность температур между поверхностью тела и окружающей его жидкостью, если число Био стремится к нулю?

Ответы:

1) Эти разности температур отличаются незначительно

2) Разность температур внутри тела много больше разности температур между поверхностью тела и жидкостью

**3) Разность температур внутри тела много меньше разности температур между поверхностью тела и жидкостью**

Верный ответ: Разность температур внутри тела много меньше разности температур между поверхностью тела и жидкостью

4. Что такое кризис кипения?

Ответы:

**1) Смена режима кипения: переход от пузырькового режима к пленочному или от пленочного режима к пузырьковому**

2) Значительное увеличение теплового потока между греющей поверхностью и жидкостью при незначительном увеличении разности температур между ними

3) Прекращение кипения при увеличении разности температур между греющей поверхностью и жидкостью

Верный ответ: Смена режима кипения: переход от пузырькового режима к пленочному или от пленочного режима к пузырьковому

5. Какова причина движения жидкости при свободной конвекции?

Ответы:

1) Работа нагнетателя, который приводит жидкость в движение

**2) Неоднородное распределение массовых сил, вызванное неоднородным распределением температуры**

3) Сила тяжести, которая приводит к тому, что жидкость вытекает из сосуда

Верный ответ: Неоднородное распределение массовых сил, вызванное неоднородным распределением температуры

6. Какой способ отвода тепла от греющей поверхности является наиболее эффективным?

Ответы:

**1) Пузырьковое кипение**

2) Пленочное кипение

3) Вынужденная конвекция

Верный ответ: Пузырьковое кипение

7. Какой должна быть температура стенки, чтобы на ней было возможно кипение?

Ответы:

1) Температура стенки должна быть выше температуры насыщения при давлении жидкости, и это достаточное условие

2) Температура стенки должна быть выше температуры предельного перегрева

**3) Температура стенки должна быть выше температуры начала кипения, которая зависит от свойств жидкости и стенки, шероховатости стенки и т.д.**

Верный ответ: Температура стенки должна быть выше температуры начала кипения, которая зависит от свойств жидкости и стенки, шероховатости стенки и т.д.

8. Какие уравнения описывают процесс тепломассообмена в двухкомпонентной смеси?

Ответы:

**1) Уравнения неразрывности, движения и энергии, одно уравнение диффузии для одного из компонентов**

2) Уравнения неразрывности, движения и энергии, два уравнения диффузии для обоих компонентов

3) Уравнения неразрывности и движения, одно уравнение диффузии для одного из компонентов

Верный ответ: Уравнения неразрывности, движения и энергии, одно уравнение диффузии для одного из компонентов

## ***II. Описание шкалы оценивания***

*Оценка: зачтено*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена верно или с несущественными недостатками*

*Оценка: не зачтено*

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

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