

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

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

**Наименование образовательной программы: Теплоэнергетика и теплотехника**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Тепломассообмен**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Шевченко И.В.
	Идентификатор	R0722806b-ShevchenkoIv-73cb478

И.В.  
Шевченко

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b

А.Н.  
Рогалев

Заведующий  
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b

А.Н.  
Рогалев

## 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: Письменная работа

1. Классификация процессов теплообмена (Контрольная работа)
2. Конвективный теплообмен (Контрольная работа)
3. Массообмен (Контрольная работа)
4. Свободная и вынужденная конвекция (Контрольная работа)
5. Теплоемкость (Контрольная работа)
6. Теплообмен излучением (Контрольная работа)
7. Теплообмен при кипении (Контрольная работа)
8. Теплообмен при конденсации (Контрольная работа)
9. Теплоотдачи при кипении (Лабораторная работа)
10. Теплопроводность (Контрольная работа)

## БРС дисциплины

4 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	15
Основы теории теплообмена					
Введение.	+				
Теплопроводность		+			
Конвективный теплообмен			+		
Теплообмен излучением				+	
Вес КМ:		25	25	25	25

5 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %						
	Индекс КМ:	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8	КМ-9	КМ-10
	Срок КМ:	4	8	10	12	14	14
Основы переноса тепла и массы							
Массообмен		+					
Теплообмен при конденсации			+				
Теплообмен при кипении							+
Изучение теплоотдачи при кипении				+	+	+	+
	Вес КМ:	10	10	20	20	20	20

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

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

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ОПК-4	ИД-3оПК-4 Демонстрирует понимание основных законов тепломассообмена и применяет их для расчетов элементов теплотехнических установок и систем	<p>Знать:</p> <p>особенности процессов переноса тепла и массы в многокомпонентных системах</p> <p>способы расчета теплового потока между телами различной формы при теплообмене излучением</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>Уметь:</p> <p>вычислять коэффициент теплоотдачи при кипении в большом объеме и при движении кипящей жидкости</p>	<p>Классификация процессов теплообмена (Контрольная работа)</p> <p>Теплопроводность (Контрольная работа)</p> <p>Конвективный теплообмен (Контрольная работа)</p> <p>Теплообмен излучением (Контрольная работа)</p> <p>Массообмен (Контрольная работа)</p> <p>Теплообмен при конденсации (Контрольная работа)</p> <p>Теплообмен при кипении (Контрольная работа)</p> <p>Теплоемкость (Контрольная работа)</p> <p>Свободная и вынужденная конвекция (Контрольная работа)</p> <p>Теплоотдачи при кипении (Лабораторная работа)</p>

		участвовать в экспериментальных исследованиях процессов теплообмена и обработке результатов экспериментов вычислять коэффициент теплоотдачи при вынужденной и естественной конвекции вычислять коэффициент теплоотдачи при пленочной конденсации на различных поверхностях	
--	--	--	--

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

4 семестр

### КМ-1. Классификация процессов теплообмена

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают вариант контрольной работы. На выполнение контрольной работы отводится 45 минут.

**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	1. Какие процессы на микроуровне вызывают перенос тепла теплопроводностью в газах, жидкостях и твердых телах? 2. Что такое конвективный теплообмен? 3. Чем свободная конвекция отличается от вынужденной? 4. Что такое теплообмен излучением? 5. В чем заключается приближение локального термодинамического равновесия?
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "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:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают вариант контрольной работы. На выполнение контрольной работы отводится 45 минут

**Краткое содержание задания:**

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

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: способы расчета температурного поля при теплопроводности в твердых телах и передаваемого теплового потока</p>	<p>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 допустимую толщину изоляции с коэффициентом теплопроводности <math>\lambda_{из}=0,15</math> Вт/(м·К), если температура ленты не должна превышать 75°C. Свойства материала ленты: удельное сопротивление <math>r=1,25 \cdot 10^{-6}</math> Ом·м, теплопроводность <math>l=20</math> Вт/(м·К).</p> <p>2. Между двумя коаксиально расположенными полыми цилиндрами, выполненными из теплоизоляционного материала, расположен испытываемый материал толщиной <math>d=20</math> см и коэффициентом теплопроводности <math>l=0,1</math> Вт/(м·К). На внутренней поверхности меньшего цилиндра (<math>d_1=30</math> см, <math>d_2=40</math> см) задана постоянная плотность теплового потока <math>q=100</math> Вт/м<sup>2</sup>. Внешний диаметр большего цилиндра <math>d_3=1</math> м. Коэффициент теплоотдачи на внешней поверхности <math>a=12</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К), температура окружающей среды равна 20°C. Коэффициенты теплопроводности обоих слоев изоляции одинаковы и равны <math>l_1=0,05</math> Вт/(м·К). Определить максимальную и минимальную температуру испытываемого материала.</p> <p>3. Рассчитать температуру в центре медного шара диаметром <math>d=10</math> мм, погруженного в жидкий азот с <math>T_{ж}=77</math> К, через 20 с после начала охлаждения. Коэффициент теплоотдачи на поверхности шара <math>a=120</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> <p>2.1. Провод диаметром 4 мм изолирован материалом с теплопроводностью <math>\lambda_{из}=0,2</math> Вт/(м·К). По проводу течет ток плотностью <math>2 \cdot 10^6</math> А/м<sup>2</sup>. Провод находится в воздухе с температурой <math>T_{ж}=20</math>°C, коэффициент теплоотдачи от провода к воздуху <math>\alpha=50</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К). Определить оптимальную толщину изоляции и максимальную температуру провода. Свойства материала провода: удельное сопротивление <math>r=1,25 \cdot 10^{-6}</math> Ом·м, теплопроводность <math>l=20</math> Вт/(м·К).</p> <p>2. Плоская стальная стенка толщиной 10 мм покрыта двухслойной изоляцией. Первый слой изоляции толщиной 25 мм выполнен из материала с коэффициентом теплопроводности,</p>
---	--

	<p>удовлетворяющим соотношению <math>\lambda_2 = 0,144 + 0,0002 \cdot t</math> Вт/(м·К), где <math>t</math> – температура в градусах Цельсия. Второй слой изоляции толщиной 10 мм выполнен из материала с коэффициентом теплопроводности <math>\lambda_3 = 0,7</math> Вт/(м·К).</p> <p>Температура внутренней поверхности стальной стенки <math>250^\circ\text{C}</math>, температура окружающей среды <math>20^\circ\text{C}</math>, внешний коэффициент теплоотдачи <math>a = 100</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К). Определить температуры на границах слоев изоляции. Коэффициент теплопроводности стали <math>\lambda_1 = 45</math> Вт/(м·К).</p> <p>3. Найти температуру в центре куба (<math>\lambda = 55</math> Вт/(м·К), <math>\rho = 2000</math> кг/м<sup>3</sup>, <math>C = 2500</math> Дж/(кг·К), длина ребра 0,1 м) при охлаждении в окружающем газе с температурой <math>25^\circ\text{C}</math> через 30 с после начала охлаждения. Коэффициент теплоотдачи <math>a = 15</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К). Начальная температура куба <math>75^\circ\text{C}</math>.</p>
--	--

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

*Оценка: 2*

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

### КМ-3. Конвективный теплообмен

**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 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 10 м/с тонкую пластину, температура которой равна <math>120^\circ\text{C}</math>. Рассчитать полный тепловой поток, отводимый от пластины на участке</p>
--	---

	<p>существования ламинарного течения в пограничном слое. Ширина пластины 0,5 м.</p> <p>2. Определить длину трубы, необходимую для нагрева воды с 20°C до 30°C. Диаметр трубы 10 мм, скорость воды 0,1 м/с. Температура стенки трубы поддерживается постоянной и равной 65 °С. Перед обогреваемым участком трубы есть участок гидродинамической стабилизации.</p> <p>3. Найти потерю тепла с единицы длины горизонтальной трубы диаметром 20 мм, находящейся в воздухе. Температуры поверхности трубы и воздуха равны 60°C и 30°C.</p> <p>2.1. Лента сечением 0,1x10мм нагревается электрическим током. Удельное сопротивление материала ленты 0,5·10<sup>-6</sup> Ом·м. Лента омывается продольным потоком воды, скорость которого равна 0,5 м/с, а температура равна 20°C. Определить силу тока, если температура ленты на расстоянии 0,2 м от передней кромки равна 85°C.</p> <p>2. Определить длину трубы, необходимую для нагрева воды с 20°C до 40°C. Диаметр трубы 50 мм, скорость воды 0,2 м/с. Температура стенки трубы поддерживается постоянной и равной 60°C.</p> <p>3. Вертикальная труба диаметром 20 мм и высотой 3 м, нагретая до температуры 95°C, находится в воздухе, температура которого 15°C. Рассчитать полный тепловой поток, снимаемый с поверхности трубы.</p> <p>3.1. Вода с температурой 20°C обтекает пластину с температурой 50°C. Скорость воды 2 м/с, длина пластины 5 м. Найти средний коэффициент теплоотдачи и локальный коэффициент теплоотдачи в конце пластины.</p> <p>2. Вода течет в трубе диаметром 10 мм со скоростью 2 м/с. Длина трубы 5 м, температура воды на входе 10°C. От стенки к воде подводится постоянный 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>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 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*

*Оценка: 2*

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

#### **КМ-4. Теплообмен излучением**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают вариант контрольной работы. На выполнение контрольной работы отводится 45 минут

#### **Краткое содержание задания:**

Методы расчета теплового потока между телами различной формы при теплообмене излучением

#### **Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: способы расчета теплового потока между телами различной формы при теплообмене излучением</p>	<p>1.1. 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>2.1. 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 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</p>
--	---

	<p>экранов равен 0,1. Найти температуру экрана, который находится ближе к холодной поверхности.</p> <p>3.1. 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°С и 20°С, 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>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

*Оценка: 2*

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

**5 семестр**

**КМ-5. Массообмен**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают вариант контрольной работы. На выполнение контрольной работы отводится 45 минут

**Краткое содержание задания:**

Особенности процессов переноса тепла и массы в многокомпонентных системах

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: особенности процессов	1.Какой закон сохранения выражает уравнение
------------------------------	---

переноса тепла и массы в многокомпонентных системах	диффузии? 2. Как записывается закон Фика для потока массы при диффузии? 3. Какие безразмерные комплексы используются при описании процессов массообмена?
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

*Оценка: 2*

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

**КМ-6. Теплообмен при конденсации**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**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 конденсации на различных поверхностях	1.1. Какое количество вертикальных труб длиной 1,45 м и диаметром 40 мм потребуется для обеспечения конденсации насыщенного водяного пара в количестве 4·10 <sup>-2</sup> кг/с при $\Delta T = 5$ К? Давление пара 1 МПа. Конденсация на каждой трубе происходит независимо. 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? 2.1. Какое количество горизонтальных труб длиной 1,2 м и диаметром 25 мм потребуется для обеспечения конденсации насыщенного водяного
--	--

	<p>пара в количестве <math>6 \cdot 10^{-2}</math> кг/с при <math>\Delta T = 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 90°C. Как изменится средний коэффициент теплоотдачи, если длину трубы увеличить в три раза?</p> <p>3.1. 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> <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.</p>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 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*

*Оценка: 2*

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

**КМ-7. Теплообмен при кипении**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают вариант контрольной работы. На выполнение контрольной работы отводится 45 минут

**Краткое содержание задания:**

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

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: участвовать в экспериментальных исследованиях процессов теплообмена и обработке результатов экспериментов</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 = 0.7 q_{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>
---	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

*Оценка: 2*

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

**КМ-8. Теплоемкость**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают вариант контрольной работы. На выполнение контрольной работы отводится 45 минут

**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	1. В чем заключаются особенности предельных случаев при регулярном режиме охлаждения? 2. Как эти особенности сказываются на распределении температуры?
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

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

*Оценка: 2*

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

**КМ-9. Свободная и вынужденная конвекция**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают вариант контрольной работы. На выполнение контрольной работы отводится 45 минут

**Краткое содержание задания:**

Ориентирован на проверку знаний по соответствующему разделу дисциплины

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: участвовать в экспериментальных исследованиях процессов теплообмена и обработке результатов экспериментов	1. Почему при выполнении работы необходимо проводить измерения в стационарном режиме? 2. Какой процесс определяет время выхода на стационарный режим?
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

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

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

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

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2

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

### КМ-10. Теплоотдачи при кипении

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают вариант контрольной работы. На выполнение контрольной работы отводится 45 минут

#### Краткое содержание задания:

Ориентирован на проверку умений по соответствующему разделу дисциплины

#### Контрольные вопросы/задания:

Уметь: вычислять коэффициент теплоотдачи при кипении в большом объеме и при движении кипящей жидкости	1.Каковы особенности кривой кипения при пузырьковом кипении в большом объеме? 2.В чем состоит первый кризис кипения? 3.В чем состоит второй кризис кипения?
Уметь: участвовать в экспериментальных исследованиях процессов теплообмена и обработке результатов экспериментов	1.Каковы особенности пленочного кипения на плоской поверхности? 2.Каковы основные источники погрешности измерений в данной работе?

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

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

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

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

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2

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



# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 4 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 1x100x400 мм, омывается потоком воды, направленным вдоль длинной стороны пластины. Температура поверхности пластины постоянна и равна 75°C, температура набегающего потока 20°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-3<sub>ОПК-4</sub> Демонстрирует понимание основных законов теплообмена и применяет их для расчетов элементов теплотехнических установок и систем

### 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 1x100x400 мм, омывается потоком воды, направленным вдоль длинной стороны пластины. Температура поверхности пластины постоянна и равна 75°C, температура набегающего потока 20°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°C на входе в трубу. Определить длину трубы, необходимую для нагревания воды до 80°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 ( $\alpha_1 = 50 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$ ,  $T_{ж1} = 200 \text{ К}$ ) к другой ( $\alpha_2 = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$ ,  $T_{ж2} = 150 \text{ К}$ ) 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

*Оценка: 2*

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

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

## 5 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. Задача

### Процедура проведения

Экзамен устный и включает два теоретических вопроса и задачу. К экзамену допускаются студенты, успешно выполнившие и защитившие все контрольные мероприятия предусмотренные в БАРСе

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

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

### Вопросы, задания

1. Конденсация движущегося пара на плоской поверхности.
2. Основные особенности кипения при движении жидкости в трубах. Смена режимов течения.
3. Подобие процессов при тепло- и массообмене. Тройная аналогия.
4. Кривая кипения. Характерные точки кривой, режимы кипения.
5. Основные особенности пленочного режима кипения на поверхностях с различной геометрией (горизонтальная и вертикальная поверхности, сфера, горизонтальный цилиндр).
6. Модель закипания для обычных и криогенных жидкостей.
7. Пленочная конденсация на поверхности горизонтальной и вертикальной трубы.
8. Теплообмен при капельной конденсации.
9. Модели теплообмена при течении кипящей жидкости в каналах.
10. Особенности конденсации движущегося пара
11. Кризис кипения с точки зрения теплового баланса стенки
12. Устойчивость режима кипения.

### 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: 2

2. 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: 3

3. Какой фактор определяет режим конденсации на поверхности (плёночная или капельная)?

Ответы:

- 1) Форма поверхности
- 2) Разность температур между паром и стенкой
- 3) Смачиваемость

Верный ответ: 3

4. Что такое кризис кипения?

Ответы:

- 1) Смена режима кипения: переход от пузырькового режима к плёночному или от плёночного 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: 1

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: 2

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

Ответы:

- 1) Пузырьковое кипение
- 2) Плёночное кипение
- 3) Вынужденная конвекция

Верный ответ: 1

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: 3

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: 1

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

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*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*

*Оценка: 2*

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

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

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