

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

**Направление подготовки/специальность: 13.03.03 Энергетическое машиностроение**

**Наименование образовательной программы: Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**


**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Термодинамика и тепло- и массообмен**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Ежов Е.В.
	Идентификатор	R680daa58-YezhovYevV-d05c8f2a

(подпись)


Е.В. Ежов

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Митрохова О.М.
	Идентификатор	R1d0f453c-FichoriakOM-ee811867

(подпись)


О.М.

Митрохова

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Грибин В.Г.
	Идентификатор	R44612ca0-GribinVG-8231e2ff

(подпись)

В.Г. Грибин

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

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

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

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ОПК-4 способен применять в расчетах теоретические основы рабочих процессов в энергетических машинах и установках

ИД-1 Демонстрирует понимание основных законов термодинамики, выполняет расчеты основных показателей термодинамических циклов и проводит анализ их эффективности

ИД-3 Демонстрирует понимание основных законов и способов переноса теплоты и массы, проводит исследования и расчет процессов теплообмена в соответствии с заданной методикой

2. ОПК-6 способен проводить измерения физических величин, определяющих работу энергетических машин и установок

ИД-1 Демонстрирует знание единиц измерения физических величин, основных методов их измерения

ИД-2 Выполняет измерения физических величин, обрабатывает результаты измерений и оценивает погрешность

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Защита задания

1. Защита лабораторной работы №17 (Коллоквиум)
2. Защита лабораторных работ № 1-4 (Тестирование)
3. Защита одной из лабораторных работ №1, №2, №3, №30, №36 (Коллоквиум)
4. Защита одной из лабораторных работ №13, №32, №37, №7, №9, №10 (Коллоквиум)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа "Теплопроводность, конвективный теплообмен, теплообменные аппараты" (Контрольная работа)
2. Контрольная работа « Теплообмен при фазовых переходах, теплообмен излучением» (Контрольная работа)
3. Контрольная работа №1.1. Расчет термодинамических процессов идеального газа с учетом зависимости теплоёмкости газа от температуры. Контрольная работа №1.2. Определение термодинамических свойств и расчет процессов воды и водяного пара (Контрольная работа)
4. Контрольная работа №1.3. Расчет процессов в суживающихся соплах и соплах Лавалья. (Контрольная работа)
5. Контрольная работа №1.4. Расчет термодинамических циклов паротурбинных и газотурбинных установок (Контрольная работа)
6. Расчетное задание (Расчетно-графическая работа)
7. Расчетное задание 1.1. Расчёт состояний в идеальных газах с помощью таблиц ВТИ и МЭИ (Решение задач)
8. Расчетное задание 1.2. Расчёт цикла смеси идеальных газов в 5 процессах (Расчетно-графическая работа)

## БРС дисциплины

4 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %						
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
	Срок КМ:	4	12	14	15	15	16
Основные законы термодинамики и общие закономерности							
Введение, основные законы термодинамики, свойства и процессы идеального газа	+	+					
Первый закон термодинамики	+	+					
Второй закон термодинамики. Теоремы Карно, Энтропия и её свойства	+	+					
Дифференциальные соотношения термодинамики		+					
Процессы идеального газа							
Смеси идеальных газов				+			+
Процессы идеального газа				+			+
Процессы в реальных газах. Свойства воды и водяного пара							
Основы молекулярного строения реального вещества. Агрегатные состояния веществ. Водяной пар				+			+
Процессы течения газов и паров. Понятие сопла и диффузора. Процессы дросселирования рабочих тел							
Истечение идеальных газов из сопел					+		
Истечение водяного пара из сопел различной конфигурации					+		
Процессы дросселирования газов и паров. Инверсия					+		
Термодинамические циклы теплосиловых, теплонасосных и холодильных установок							
Циклы газотурбинных энергетических установок						+	
Циклы паротурбинных установок						+	
Обратные термодинамические циклы						+	
Лабораторный практикум по тепломассообмену							
Вес КМ:	10	30	20	15	15	10	

5 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %
-------------------	---------------------------------

	Индекс КМ:	КМ- 7	КМ- 8	КМ- 9	КМ- 10	КМ- 11	КМ- 12
	Срок КМ:	14	8	10	12	4	16
Принципы теплообмена							
Законы переноса теплоты, вещества, импульса. Теплообмен	+						+
Температурное поле. Изотермы. Градиент температуры. Плотность теплового потока	+						+
Теплопроводность. Расчетное задание №1							
Закон теплопроводности Фурье	+					+	+
Дифференциальное уравнение теплопроводности. Краевые условия. Типы граничных условий.						+	
Инженерные методы расчета тепло-массообмена в энергетических установках							
Расчет теплоотдачи в элементах теплообменных устройств			+				
Методы подобия и размерностей							
Конвективный теплообмен							
Теория пограничного слоя. Оценка порядка величин в дифференциальных уравнениях конвективного теплообмена для течений с большими числами Рейнольдса. Уравнения пограничного слоя. Преобразование подобия.	+	+	+	+	+	+	+
Автомодельные переменные.			+			+	
Двухфазный теплообмен. Расчетное задание №2. Расчетное задание №3							
Условия динамического и теплового взаимодействия на поверхности раздела фаз				+	+		
Структуры, режимы и количественные характеристики двухфазных потоков				+	+		
Теплообмен излучением							
Основные понятия и законы. Количественные характеристики излучения				+			
Классификация потоков излучения. Закон Кирхгофа. Законы излучения абсолютно черного тела				+			
Излучение и поглощение нечерных тел				+			
Вес КМ:	20	15	15	15	15	15	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-1 <sub>опк-4</sub> Демонстрирует понимание основных законов термодинамики, выполняет расчеты основных показателей термодинамических циклов и проводит анализ их эффективности	<p>Знать:</p> <p>методы расчета термодинамических процессов идеального и реального газа</p> <p>основные законы термодинамики и условия их применения</p> <p>Уметь:</p> <p>применять основные понятия, термины и законы термодинамики для описания физических процессов, происходящих в техническом оборудовании</p> <p>самостоятельно выбирать и применять методы расчета термодинамических свойств идеального и реального газа</p> <p>анализировать, выбирать и применять методы расчета основных характеристик</p>	<p>Расчетное задание 1.1. Расчёт состояний в идеальных газах с помощью таблиц ВТИ и МЭИ (Решение задач)</p> <p>Контрольная работа №1.1. Расчет термодинамических процессов идеального газа с учетом зависимости теплоёмкости газа от температуры. Контрольная работа №1.2. Определение термодинамических свойств и расчет процессов воды и водяного пара (Контрольная работа)</p> <p>Расчетное задание 1.2. Расчёт цикла смеси идеальных газов в 5 процессах (Расчетно-графическая работа)</p> <p>Контрольная работа №1.3. Расчет процессов в суживающихся соплах и соплах Лаваля. (Контрольная работа)</p> <p>Контрольная работа №1.4. Расчет термодинамических циклов паротурбинных и газотурбинных установок (Контрольная работа)</p> <p>Защита лабораторных работ № 1-4 (Тестирование)</p>

		термодинамических циклов холодильных, теплосиловых и теплонасосных установок	
ОПК-4	ИД-3 <sub>ОПК-4</sub> Демонстрирует понимание основных законов и способов переноса теплоты и массы, проводит исследования и расчет процессов теплообмена в соответствии с заданной методикой	Знать: основные источники научно-технической информации о новых разработках в области теплообмена методики расчета теплообменных аппаратов ТЭС, АЭС и принципы и методы интенсификации теплопередачи методики расчета процессов теплопроводности в элементах конструкций, теплообмена при свободной и вынужденной конвекции, двухфазного теплообмена, радиационного теплообмена основные принципы теплообмена и методы математического моделирования теплообменных процессов и установок Уметь: самостоятельно	Расчетное задание (Расчетно-графическая работа) Контрольная работа "Теплопроводность, конвективный теплообмен, теплообменные аппараты" (Контрольная работа) Контрольная работа « Теплообмен при фазовых переходах, теплообмен излучением» (Контрольная работа) Защита лабораторной работы №17 (Коллоквиум) Защита одной из лабораторных работ №1, №2, №3, №30, №36 (Коллоквиум) Защита одной из лабораторных работ №13, №32, №37, №7, №9, №10 (Коллоквиум)

		анализировать процессы теплообмена и принимать оптимальные решения при проектировании и эксплуатации теплообменного оборудования разрабатывать компьютерные модели теплогидравлических процессов самостоятельно ставить и решать задачи теплогидравлических процессов и выполнять численные расчеты	
ОПК-6	ИД-1 <sub>ОПК-6</sub> Демонстрирует знание единиц измерения физических величин, основных методов их измерения	Знать: основные источники информации о теплофизических свойствах теплоносителей Уметь: пользоваться справочными данными теплофизических свойств рабочих тел и теплоносителей	Контрольная работа "Теплопроводность, конвективный теплообмен, теплообменные аппараты" (Контрольная работа) Защита одной из лабораторных работ №13, №32, №37, №7, №9, №10 (Коллоквиум)
ОПК-6	ИД-2 <sub>ОПК-6</sub> Выполняет измерения физических величин, обрабатывает результаты измерений и оценивает погрешность	Знать: основные принципы измерения физических величин, обработки результатов измерений и оценки погрешность	Защита лабораторной работы №17 (Коллоквиум) Защита одной из лабораторных работ №1, №2, №3, №30, №36 (Коллоквиум) Защита одной из лабораторных работ №13, №32, №37, №7, №9, №10 (Коллоквиум)



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

4 семестр

### КМ-1. Расчетное задание 1.1. Расчёт состояний в идеальных газах с помощью таблиц ВТИ и МЭИ

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Решение задач

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка ответа на расчетное задание, включающего решения задач с необходимыми пояснениями и графической интерпретацией решений

#### Краткое содержание задания:

Расчет состояний в идеальных газах с использованием таблиц термодинамических свойств газов.

#### Контрольные вопросы/задания:

Уметь: самостоятельно выбирать и применять методы расчета термодинамических свойств идеального и реального газа	<p>1.1. Определить массу кислорода (<math>\mu = 31,9988</math>), если его энтальпия <math>H = 456</math> кДж, удельная внутренняя энергия <math>u = 203,7</math> кДж/кг</p> <p>2. Определить температуру (<math>T</math>) и удельный объем воздуха (<math>\mu = 28,96</math>), если его полная энтальпия <math>H = 2073,3</math> кДж, давление <math>p = 0,3</math> МПа, а его масса <math>m = 0,17265</math> кмоль.</p> <p>3. Определить объем диоксида углерода (<math>\mu = 44,011</math>), если, при нормальном давлении, его полная энтальпия <math>H = 230,74</math> кДж, а его внутренняя энергия <math>\tilde{U} = 12908,09</math> кДж/кмоль</p> <p>При решении использовать таблицы: «Теплофизические свойства рабочих веществ энергетики» Александров А.А. и др.</p> <p>2.1. Рассчитать давление диоксида азота (<math>\mu = 46,0053</math>), если его энтальпия <math>h = 572,5</math> кДж/кг, а объем <math>V = 0,4</math> м<sup>3</sup> при массе <math>0,7</math> кг.</p> <p>2.2. Определить температуру (<math>T</math>) и удельный объем кислорода (<math>\mu = 31,9988</math>), если его полная энтальпия <math>H = 2298,1</math> кДж, давление <math>p = 0,3</math> МПа, а его масса <math>m = 0,156256</math> кмоль</p> <p>3. Определить объем диоксида углерода (<math>\mu = 44,011</math>), если, при нормальном давлении, его полная энтальпия <math>H = 285,28</math> кДж, а его внутренняя энергия <math>\tilde{U} = 17067,17</math> кДж/кмоль</p>
---	--

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

*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:* 65

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

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 55

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

**КМ-2. Контрольная работа №1.1. Расчет термодинамических процессов идеального газа с учетом зависимости теплоёмкости газа от температуры. Контрольная работа №1.2. Определение термодинамических свойств и расчет процессов воды и водяного пара**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка решения задач в контрольной работе

**Краткое содержание задания:**

Решение задач с расчетом процессов в идеальных газах. Решение задач с расчетом процессов в воде и водяном паре

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные законы термодинамики и условия их применения	1.1.0,1 кг. двуокиси углерода при давлении $7 \cdot 10^5$ Па и начальной температурой $t_1 = 1112$ 0F расширяются политропно до давления 0,25 МПа. Определить изменение внутренней энергии газа, совершенную работу и количество теплоты. Показатель политропы $n = 1,12$ 2. Начальное состояние пара: $P_1 = 5$ бар; $X = 0,9$ . Пар расширяется изотермически до давления 0,5 бар. Найти $t$ , $q$ , $l$ , $\Delta u$ . Представить процесс в PV, HS, TS - диаграммах 2.1. Двуокись углерода при давлении 0,98692 атм занимает объем 0,3 м <sup>3</sup> . Начальная температура газа $t_1 = 68$ 0F. Определить количество теплоты, которое надо затратить для изобарного расширения газа до объема 1 м <sup>3</sup> и совершенную газом работу. 2. Водяной пар расширяется в турбине адиабатно и обратимо от параметров: $P_1 = 200$ бар; $t_1 = 500$ оС до давления 0,04 бар. Найти работу турбины в расчете на 1 кг проходящего пара. Представить
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

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: 65

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

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 55

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

**КМ-3. Расчетное задание 1.2. Расчёт цикла смеси идеальных газов в 5 процессах**

**Формы реализации:** Письменная работа

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

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Представление результатов расчёта в редакторе Word

**Краткое содержание задания:**

Расчёт цикла из пяти процессов заданной смеси идеальных газов

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: методы расчета термодинамических процессов идеального и реального газ

- 1.
- |   |
|---|
| Рабочее тело – двухкомпонентная смесь. $\omega_1 = 0,45$  |
| 1) Компонент – воздух; $\mu = 28,96$ кг/кмоль             |
| 1) Компонент – NO <sub>2</sub> ; $\mu = 46.0053$ кг/кмоль |

Цикл состоит из процессов:

1 – 2	V=constant
2 – 3	T=constant
3 – 4	S=constant
4 – 5	P=constant
5 – 1	n = 1,12=constant

- |  |
|--|
| 1. Рассчитать параметры состояния (p, v, T) и Функции состояния (u, h, s) в каждой точке цикла       |
| 1. Теплоту, работу, и среднюю температуру подвода теплоты в каждом процессе                          |
| 3. Термический КПД цикла   |
| 4. Построить таблицу состояний и таблицу процессов ( $\Delta u, \Delta h, \Delta s, l, q, \bar{T}$ ) |
| 5. Цикл в масштабе в p-v и T-s – диаграммах  |
| Для расчёта энтропии принять начальные параметры $p_0 = 0,1$ Мпа, $T_0 = 273,15$ К                   |
| Для вычерчивания цикла, при необходимости,   |

**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. Контрольная работа №1.3. Расчет процессов в суживающихся соплах и соплах Лаваля.**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка ответов на задачи в контрольной работе

**Краткое содержание задания:**

Решение задач с расчетом процессов истечения и дросселирования газов и паров.

Решение задач с расчетом циклов ГТУ и ПТУ

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: применять основные понятия, термины и законы термодинамики для описания физических процессов, происходящих в техническом оборудовании

1.1. Воздух с начальной скоростью  $w_1 = 250$  м/с при давлении  $p_1 = 1,0$  МПа, массовом расходе  $0,4$  кг/с и температуре  $t_1 = 350^\circ\text{C}$  вытекает через суживающееся сопло в среду с давлением  $p_{\text{ср}} = 0,25$  МПа. Определить скорость истечения воздуха и площадь поперечного сечения на выходе из сопла, если скоростной коэффициент  $\phi = 0,90$ . При решении воспользуйтесь табл.

2. Определить внутренний КПД и действительную мощность ГТУ с рабочим телом со свойствами воздуха, работающей по регенеративному циклу Брайтона. С параметрами на входе в компрессор:  $p_1 = 0,1$  МПа,  $t_1 = 15^\circ\text{C}$ , степень повышения давления в компрессоре  $\beta = 9$ , степень регенерации  $\sigma_r = 0,85$ , температура на выходе из камеры сгорания  $t_3 = 1150^\circ\text{C}$ ., расход газа через турбину  $G = 500$  т/час, а внутренние относительные КПД турбины  $\eta_{0iT} = 0,94$ , компрессора  $\eta_{0iK} = 0,8$

2.

1. Водяной пар при давлении  $P_1 = 4$  МПа и температуре  $t_1 = 400^\circ\text{C}$  поступает к

	<p>суживающемся соплу с начальной скоростью <math>w_1 = 150</math> м/с. Давление за соплом <math>P_{ср} = 2,4</math> МПа. Определить скорость истечения и расход пара, если площадь выходного сечения сопла <math>f_2 = 4</math> см<sup>2</sup></p> <p>2. Определить действительную мощность ГТУ с рабочим телом со свойствами воздуха, работающей по обыкновенному циклу Брайтона. С параметрами на входе в компрессор: <math>t_1 = 20</math> °С, степень повышения давления в компрессоре <math>\beta = 12</math>, температура на выходе из камеры сгорания <math>t_3 = 1150</math> °С, если расход воздуха на входе в компрессор <math>G = 450</math> т/час, а внутренний относительный КПД установки <math>\eta_{0i} = 0,95</math></p> <p>3.</p> <p>1. Воздух при давлении 2,4 МПа и температуре 500 °С поступает к суживающемуся соплу. Давление за соплом <math>P_{ср} = 1,2</math> МПа. Определить скорость истечения, если скоростной коэффициент сопла <math>\varphi = 0,96</math>.</p>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*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: 65*

*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: 55*

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

**КМ-5. Контрольная работа №1.4. Расчет термодинамических циклов паротурбинных и газотурбинных установок**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту на практическом занятии выдается индивидуальная задача. На решение задачи отводится 45 мин.

**Краткое содержание задания:**

Определить параметры энергетической, холодильной и теплонасосной установок

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: анализировать, выбирать и применять методы расчета основных характеристик термодинамических циклов холодильных, теплосиловых и теплонасосных установок	1. Определить термический КПД и мощность паротурбинной установки, с промежуточным перегревом пара, если расход пара 750 т/час, параметры пара на входе турбины высокого давления $P_1 = 20$ МПа, $t_1 = 560$ °С, пар направляется в промежуточный перегреватель при давлении $P_{ПП} = 2,5$ МПа и перегревается до температуры $P_a = 540$ °С. Давление в конденсаторе $P_2 = 4$ кПа
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*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: 65*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 55*

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

**КМ-6. Защита лабораторных работ № 1-4**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка отчетов о выполнении лабораторной работы. Тестирование знаний

**Краткое содержание задания:**

Ответы на тестовые вопросы по разделу термодинамики, соответствующему работе после предварительной сдачи отчёта о работе

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: методы расчета термодинамических процессов идеального и реального газ	1. Состояние SF6 задано параметрами $T = 310$ К, $p = 30$ бар. Определить это состояние, используя таблицу термодинамических свойств SF6 на линии насыщения 2. По какой формуле можно вычислить теплоту изотермического процесса реального газа, если процесс происходит в области влажного пара? 1) $q = 0$ ; 2) $RT \ln(p_1/p_2)$ ; 3) $RT \ln(v_2/v_1)$ ; 4) $q = u_2 - u_1$ ; 5) $q = h_2 - h_1$ 3. При расширении 10кг идеального газа совершается работа, равная 20кДж. При этом к газу извне
--	--

	<p>подводится 40кДж теплоты, а его температура повышается на 5°C. Определите среднюю теплоемкость <math>c_p</math> этого процесса и среднюю изохорную теплоемкость <math>c_v</math> газа, выразите их в кДж/(кг·К) и введите эти значения</p> <p>4. При сжатии 10кг идеального газа затрачивается работа, равная 50кДж. При этом от газа отводится 20кДж теплоты, а его температура повышается на 5°C. Определите среднюю теплоемкость <math>c_p</math> этого процесса и среднюю изохорную теплоемкость <math>c_v</math> газа, выразите их в кДж/(кг·К) и введите эти значения</p> <p>5.</p> <table border="1" data-bbox="735 593 1481 864"> <tr> <td data-bbox="735 593 1241 864">Как изменится изобарная теплоемкость влажного воздуха при увеличении его относительной влажности и неизменной температуре?</td> <td data-bbox="1241 593 1481 864"> 1. увеличится  2. уменьшится  3. останется неизменным  4. однозначно ответить нельзя </td> </tr> </table> <p>6.</p> <table border="1" data-bbox="735 936 1481 1176"> <tr> <td data-bbox="735 936 1241 1176">Как изменится плотность влажного воздуха при увеличении его влагосодержания и неизменной температуре?</td> <td data-bbox="1241 936 1481 1176"> 1. увеличится  2. уменьшится  3. останется неизменным  4. однозначно ответить нельзя </td> </tr> </table> <p>7. Чему будет равно давление воздуха <math>P_2</math> на выходе из суживающегося сопла, если на входе в сопло давление <math>P_1 = 1</math> МПа, скорость на входе в сопло <math>w_1 = 10</math> м/с, давление среды за соплом <math>P_{ср} = 0,6</math> МПа?  Варианты ответа:</p> <table border="1" data-bbox="735 1395 938 1570"> <tr><td><math>p_2 = p_{ср}</math></td></tr> <tr><td><math>p_2 = p_{кр}</math></td></tr> <tr><td><math>p_2 = p_1 \cdot \beta_{кр}^2</math></td></tr> <tr><td><math>p_2 = p_1 \cdot \beta_{кр}</math></td></tr> <tr><td><math>p_2 = p_1</math></td></tr> </table>	Как изменится изобарная теплоемкость влажного воздуха при увеличении его относительной влажности и неизменной температуре?	1. увеличится 2. уменьшится 3. останется неизменным 4. однозначно ответить нельзя	Как изменится плотность влажного воздуха при увеличении его влагосодержания и неизменной температуре?	1. увеличится 2. уменьшится 3. останется неизменным 4. однозначно ответить нельзя	$p_2 = p_{ср}$	$p_2 = p_{кр}$	$p_2 = p_1 \cdot \beta_{кр}^2$	$p_2 = p_1 \cdot \beta_{кр}$	$p_2 = p_1$
Как изменится изобарная теплоемкость влажного воздуха при увеличении его относительной влажности и неизменной температуре?	1. увеличится 2. уменьшится 3. останется неизменным 4. однозначно ответить нельзя									
Как изменится плотность влажного воздуха при увеличении его влагосодержания и неизменной температуре?	1. увеличится 2. уменьшится 3. останется неизменным 4. однозначно ответить нельзя									
$p_2 = p_{ср}$										
$p_2 = p_{кр}$										
$p_2 = p_1 \cdot \beta_{кр}^2$										
$p_2 = p_1 \cdot \beta_{кр}$										
$p_2 = p_1$										

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно (балл не ниже 4,5)*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто (балл не ниже 3,5)*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено (балл не ниже 3,0)

## 5 семестр

### КМ-7. Защита одной из лабораторных работ №1, №2, №3, №30, №36

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Коллоквиум

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка отчёта выполнения работы.  
Проверка знаний по соответствующей теме

#### **Краткое содержание задания:**

Измерение коэффициента теплопроводности плоского слоя

#### **Контрольные вопросы/задания:**

Знать: методики расчета процессов теплопроводности в элементах конструкций, теплообмена при свободной и вынужденной конвекции, двухфазного теплообмена, радиационного теплообмена	1.Формулировка закона теплопроводности Фурье
Знать: основные принципы измерения физических величин, обработки результатов измерений и оценки погрешность	1.Методы измерения теплопроводности. Метод нагретой нити
Уметь: самостоятельно анализировать процессы теплообмена и принимать оптимальные решения при конструировании и эксплуатации теплообменного оборудования	1.Рассчитать средне-интегральный коэффициент теплопроводности, если площадь плоского слоя исследуемого материала $f=0,01$ м <sup>2</sup> ; его толщина $D=0,5$ см, тепловой поток $Q=50$ Вт при разности температур 5 градусов

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания:* Правильный ответ на поставленный вопрос.  
Правильный ответ при решении задания

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент показал знание ответа на поставленный вопрос. Показал правильный ход решения задания, дающий точный ответ

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*



*Описание характеристики выполнения знания:* Не полный ответ на поставленный вопрос.  
Правильный ход решения, не дающий точный ответ

### **КМ-8. Контрольная работа "Теплопроводность, конвективный теплообмен, теплообменные аппараты"**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Решение задач

#### **Краткое содержание задания:**

Выполнить расчёт теплообменного аппарата по заданным параметрам. Рассчитать тепло-гидравлические характеристики теплообменника

#### **Контрольные вопросы/задания:**

Знать: методики расчета теплообменных аппаратов ТЭС, АЭС и принципы и методы интенсификации теплопередачи	1.Понятие гидродинамического и теплового пограничных слоёв
Знать: основные источники информации о теплофизических свойствах теплоносителей	1.Как изменяется средний коэффициент теплоотдачи при увеличении скорости обтекания цилиндрической поверхности
Уметь: самостоятельно анализировать процессы теплообмена и принимать оптимальные решения при конструировании и эксплуатации теплообменного оборудования	1.Рассчитать скорость движения воздуха в обогреваемой трубе, если температурный напор 10 градусов, плотность теплового потока 5000 Вт/м <sup>2</sup> , при длине трубы 1 м, её диаметре 20 мм и температуре обтекающего воздуха 20 градусов

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:*

### **КМ-9. Контрольная работа «Теплообмен при фазовых переходах, теплообмен излучением»**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Решение задач на определение теплообмена при конденсации, кипении и при излучении

**Краткое содержание задания:**

Рассчитать количество конденсата на вертикальных и горизонтальных поверхностях. Рассчитать процессы теплоотдачи при пузырьковом и плёночном кипении. Рассчитать соотношения между тепловым потоком, степенью черноты, длиной излучаемой волны, коэффициентами излучения и отражения, а также температурами тел при лучистом теплообмене

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные принципы теплообмена и методы математического моделирования теплообменных процессов и установок	1. Записать формулу для излучения, описывающая закон смещения Вина
Уметь: самостоятельно анализировать процессы теплообмена и принимать оптимальные решения при конструировании и эксплуатации теплообменного оборудования	1. Найти температуру серого излучающего тела, если максимальная длина волны 0,8 мкм 2. Найти коэффициент теплоотдачи при конденсации пара в регенеративном подогревателе низкого давления ТЭС, если давление поступающего из отбора турбины пара 0.143 МПа, а температура стенок вертикальных труб 80 градусов, их высота 4,5 м
Уметь: самостоятельно ставить и решать задачи теплогидравлических процессов и выполнять численные расчеты	1. Рассчитать коэффициент теплоотдачи при пузырьковом кипении в трубе диаметром 30 мм на участке стабилизированного теплообмена с теплоносителем движущимся со скоростью 1 м/с при давлении 5 бар

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:*

**КМ-10. Защита лабораторной работы №17**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Коллоквиум

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Тестовый опрос в аудитории

**Краткое содержание задания:**

Провести расчёт процесса теплопередачи при пузырьковом кипении в зависимости от температурного напора

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные принципы	1. Интерпретировать формулу Лобунцова для
--------------------------	---

измерения физических величин, обработки результатов измерений и оценки погрешность	пузырькового режима кипения
Уметь: самостоятельно ставить и решать задачи теплогидравлических процессов и выполнять численные расчеты	1. Вычислить критическую плотность теплового потока при давлении насыщения при 16 МПа

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:*

**КМ-11. Расчетное задание**

**Формы реализации:** Письменная работа

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

**Вес контрольного мероприятия в БРС: 15**

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Решение задач на темы: "Нестационарная теплопроводность в телах конечной формы", "Расчёт температуры теплоносителя, подаваемого потребителю с использованием различных теплоизоляционных материалов", "Расчёт рекуперативного конденсатора"

**Краткое содержание задания:**

Рассчитать теплообменный аппарат с заданной конфигурацией и параметрами греющей и нагреваемой сред

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные источники научно-технической информации о новых разработках в области теплообмена	1. Решения Фурье в задачах нестационарной теплопроводности для тел конечной формы
Уметь: разрабатывать компьютерные модели теплогидравлических процессов	1. Рассчитать теплоотдачу для 10-рядного пучка труб в горизонтальном конденсаторе при поперечном обтекании

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:*

### **КМ-12. Защита одной из лабораторных работ №13, №32, №37, №7, №9, №10**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Коллоквиум

**Вес контрольного мероприятия в БРС: 20**

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка отчёта выполнения работы.  
Проверка знаний по соответствующей теме

#### **Краткое содержание задания:**

Исследование процесса конвективного теплообмена при поперечном обтекании одиночной трубы потоком охлаждающей жидкости

#### **Контрольные вопросы/задания:**

Знать: методики расчета процессов теплопроводности в элементах конструкций, теплообмена при свободной и вынужденной конвекции, двухфазного теплообмена, радиационного теплообмена	1. Как влияет число Рейнольдса на коэффициент теплоотдачи?
Знать: основные принципы измерения физических величин, обработки результатов измерений и оценки погрешность	1. Что такое коэффициент теплоотдачи?
Уметь: пользоваться справочными данными теплофизических свойств рабочих тел и теплоносителей	1. Рассчитать коэффициент теплоотдачи при поперечном обтекании цилиндра, если: скорость в узком сечении канала 1 м/с, а диаметр цилиндра 42 мм

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

4 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

<b>ФГБОУВО НИУ МЭИ</b>	<b>Экзаменационный билет № 33</b>	Утверждаю: Зав. Каф. ТОТ
		Кафедра Теоретических основ теплотехники
		Дисциплина: Термодинамика и теплообмен
	<b>ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ</b>	« ____ » 2021 г
<p>1. Предмет «Термодинамика». Основные термины (рабочее тело, термодинамический процесс, уравнение состояния, уравнение процесса, функции состояния, функции процесса).</p> <p>2. Первый закон термодинамики. Выражение 1 закона термодинамики для неподвижного тела и для одномерного стационарного потока.</p> <p>3. Начальное состояние пара: <math>P_1 = 7,9205</math> бар; <math>X = 0,85</math>. Пар расширяется изотермически до давления 0,5 бар. Найти <math>t</math>, <math>q</math>, <math>l</math>, <math>\Delta u</math>. Представить процесс в <math>PV</math>, <math>HS</math>, <math>TS</math> – диаграммах.</p>		

## Процедура проведения

Экзамен проводится в устной форме. Студенту на подготовку к ответу отводится 60 минут. Время опроса не должно превышать 30 минут. Экзаменатор оценивает объём ответа по билету, вправе задать экзаменуемому дополнительные теоретические и практические вопросы из перечня тем по курсу дисциплины. Экзаменуемому разрешается иметь при себе калькулятор, письменные принадлежности, справочные материалы, необходимые для выполнения задания. Запрещается пользоваться средствами связи и хранения информации. При нарушении правил проведения экзамена студент может быть удалён из аудитории с выставлением неудовлетворительной оценки.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ОПК-4</sub> Демонстрирует понимание основных законов термодинамики, выполняет расчеты основных показателей термодинамических циклов и проводит анализ их эффективности

### **Вопросы, задания**

1. Порядок расчета сопла для водяного пара. Связь между узким и выходным сечениями в предельном сопле Лавала.
2. Написать аналитическое выражение первого начала термодинамики для потока. Теплота и работа в потоке
3. Изотермический процесс в идеальном газе. Вывод формулы для нахождения работы и подведенной (отведенной) теплоты

4. Политропный процесс. Связь между термическими параметрами. Обобщающее значение политропных процессов. Области на  $p, v$ -диаграмме. Теплоемкость политропного процесса идеального газа  $C_n$ . Политропные процессы с отрицательной теплоемкостью
5. Второй закон термодинамики. Формулировки, аналитическое выражение для обратимых процессов. Первая теорема Карно. Вывод формулы для КПД цикла Карно в идеальном газе
6. Интеграл Клаузиуса для обратимого цикла.  $T$ - $s$  диаграмма. Энтропия и ее свойства. Расчет изменения энтропии идеального газа в различных процессах. Расчет изменений энтропии идеального газа по таблицам ВТИ и МЭИ 2017 г
7. Смеси идеальных газов. Методы задания концентрации смесей. Методы расчёта параметров состояния и функций состояния смесей идеальных газов
8. Уравнения Максвелла. Вывод уравнений Максвелла. Мнемонический квадрат
9. Характеристические функции. Дифференциальные соотношения термодинамики, связывающие характеристические функции с термическими параметрами состояния
10. Алгоритм расчёта истечения газов и паров из сопел различной конфигурации
11. Адиабатное дросселирование. Вывод уравнения истечения при адиабатном дросселировании. Дифференциальный дроссель-эффект. Точка инверсии. Кривая инверсии в  $(p-v)$ - $p$  координатах
12. Расчет компрессора для сжатия идеального газа в политропном процессе. Многоступенчатое сжатие с промежуточным охлаждением
13. Схема и цикл газотурбинной энергетической установки, работающей по обыкновенному циклу Брайтона. Расчет термического и внутреннего КПД цикла
14. Циклы паротурбинных установок. Методы улучшения технико-экономических показателей паротурбинных установок. Средняя температура подвода тепла в цикле ПТУ
15. Обратные термодинамические циклы

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Какое выражение, интерпретирующее первый закон термодинамики для неподвижного рабочего тела, правильное?

Ответы:

$$dQ = dU - Vdp$$

$$dQ = dU + Vdp$$

$$dQ = dH - Vdp$$

Верный ответ:  $dQ = dH - Vdp$

2. Выбрать правильную формулировку 2-го закона термодинамики

Ответы:

Теплота не может передаваться от менее нагретого тела к более нагретому.
Процесс передачи теплоты от более нагретого тела к менее нагретому - необратим
Теплота не может быть передана от менее нагретого тела к более нагретому без дополнительных затрат энергии.

Верный ответ: Теплота не может быть передана от менее нагретого тела к более нагретому без дополнительных затрат энергии.

3. Всегда ли молярная концентрация компонента в смеси равна её объёмной концентрации?

Ответы:

Всегда
Равенство справедливо только для реального газа
Равенство справедливо, если газ идеальный

Верный ответ: Равенство справедливо, если газ идеальный

4. Какие из перечисленных свойств, являются термодинамическими функциями состояния?

Ответы:

Теплота и работа
Вязкость, теплопроводность, температуропроводность
Внутренняя энергия, энтальпия, энтропия

Верный ответ: Внутренняя энергия, энтальпия, энтропия

5. Какие из перечисленных свойств являются термодинамическими характеристическими функциями

Ответы:

Энтропия, изобарная теплоёмкость, изохорная теплоёмкость
Внутренняя энергия, энтальпия, энергия Гельмгольца
Кинетическая энергия, теплота, работа

Верный ответ: Внутренняя энергия, энтальпия, энергия Гельмгольца

6. Какая причина повышения КПД паротурбинной установки за счёт применения регенеративного подогрева питательной воды

Ответы:

Уменьшение работы насоса в связи с меньшим расходом в конденсаторе
Увеличение средней температуры подвода тепла
Снижение доли неэффективной работы турбины в зоне параметров после отбора

Верный ответ: Увеличение средней температуры подвода тепла

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ОПК-6</sub> Демонстрирует знание единиц измерения физических величин, основных методов их измерения

### Вопросы, задания

1. Теплоемкость средняя и истинная . Их связь. Теплоемкость  $C_v$  и - внутренняя энергия  $U$ . Теплоемкость -  $C_p$  и энтальпия -  $h$ . Общая формула связи теплоемкостей  $C_p$  и  $C_v$  идеального газа
2. Процессы во влажном воздухе. Основные понятия (абсолютная и относительная влажность, влагосодержание, точка росы)

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Что такое удельная теплоёмкость рабочего вещества (тела)?

Ответы:

Количество теплоты, подведённой к единице массы рабочего тела в заданном процессе, при изменении его температуры на 1 градус.
Элементарное количество теплоты ( $dq$ ), которое необходимо подвести (или отвести) к единице массы вещества в заданном термодинамическом процессе, при бесконечно малом приращении температуры в соответствие с выбранной системой единиц
Элементарное количество теплоты, необходимое для бесконечно малого изменения температуры единицы объема рабочего тела (кубического метра) в заданном термодинамическом процессе.

Верный ответ: Элементарное количество теплоты ( $dq$ ), которое необходимо подвести (или отвести) к единице массы вещества в заданном термодинамическом процессе, при бесконечно малом приращении температуры в соответствии с выбранной системой единиц

2. Что произойдет с относительной влажностью влажного воздуха при неизменном давлении, если его температура увеличится?

Ответы:

Относительная влажность увеличится, так как давление насыщения увеличится

Относительная влажность уменьшится, так как давление насыщения увеличится

Она останется без изменений, так как количество пара останется неизменным

Верный ответ: Относительная влажность уменьшится, так как давление насыщения увеличится

## II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Ответ на каждый поставленный теоретический вопрос с достаточным раскрытием темы. Задача, решенная правильно с графической интерпретацией, имеющей несущественные недостатки

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 65

Описание характеристики выполнения знания: Ответ на каждый поставленный теоретический вопрос с достаточным раскрытием темы. Задача, решенная правильно с графической интерпретацией, имеющей несущественные недостатки

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 55

Описание характеристики выполнения знания: Не полный ответ на каждый поставленный вопрос, либо отсутствием ответа на один из вопросов. Задача с правильным ответом, но без графической интерпретации решения.

## III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Итоговая оценка = оценка за текущий контроль  $\times 0,4$  + оценка за промежуточный контроль  $\times 0,6$

5 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

МЭИ	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1 Дисциплина Термодинамика и тепло- и массообмен	Утверждаю /зав. каф. ТОТ _____
		Кафедра теоретических основ теплотехники им. М.П. Вукаловича
1.	Виды теплообменников. Соотношения для среднелогарифмического температурного напора в рекуперативных теплообменниках. Сравнение температурного напора для прямотока и противотока.	
2.	Ребро конечной длины постоянного сечения. Анализ соотношения для коэффициента	



	эффективности ребра.			
3.	Вычислить тепловой поток (Вт) при свободной конвекции на поверхности вертикальной трубы высотой 1 м и диаметром 5 см. Температура трубы 800С, окружающей среды (воздуха) 200С. Свойства воздуха:			
	t, °С	$\lambda$ , Вт/м К	$\nu$ , м <sup>2</sup> /с	Pr
	20	0,0259	15,06·10 <sup>-6</sup>	0,703
	80	0,0305	21,09·10 <sup>-6</sup>	0,692

## Процедура проведения

Экзамен проводится в устной форме. Студенту на подготовку к ответу отводится 60 минут. Время опроса не должно превышать 30 минут. Экзаменатор оценивает объём ответа по билету, вправе задать экзаменуемому дополнительные теоретические и практические вопросы из перечня тем по курсу дисциплины. Экзаменуемому разрешается иметь при себе калькулятор, письменные принадлежности, справочные материалы, необходимые для выполнения задания. Запрещается пользоваться средствами связи и хранения информации. При нарушении правил проведения экзамена студент может быть удалён из аудитории с выставлением неудовлетворительной оценки.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-3<sub>ОПК-4</sub> Демонстрирует понимание основных законов и способов переноса теплоты и массы, проводит исследования и расчет процессов теплообмена в соответствии с заданной методикой

### Вопросы, задания

1. Стационарная теплопроводность в плоской стенке. Интегрирование ДУ (дифференциального уравнения) теплопроводности. Распределение температуры по толщине пластины для постоянного значения коэффициента теплопроводности
2. Конвективный теплообмен: основные понятия, режимы течения, гипотеза прилипания, коэффициент теплоотдачи, гидродинамический и тепловой пограничные слои. Соотношение толщин пограничных слоев при ламинарном течении
3. Вынужденная конвекция. Режимы течения. Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской стенки (ламинарный пограничный слой).
4. Свободная конвекция. Профили скорости и температуры

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Дать определение процесса теплообмена

Ответы:

Процесс переноса теплоты и массы в пространстве с неоднородным распределением температуры и концентрации компонентов вещества. Перенос теплоты – процесс обмена внутренней энергией, происходящий между элементами и областями рассматриваемой системы (среды)
Самопроизвольный необратимый процесс распространения теплоты в пространстве, обусловленный разностью температур
Перенос теплоты, обусловленный переходом внутренней энергии тела (среды) в лучистую, переносом последней в пространстве с помощью электромагнитных волн и поглощением ее другими телами (средами)

Верный ответ: Самопроизвольный необратимый процесс распространения теплоты в пространстве, обусловленный разностью температур

2. Дать определение процесса теплопроводности

Ответы:

Перенос теплоты в сплошной среде с неоднородным распределением температуры, осуществляемый микрочастицами вещества при их тепловом движении. В чистом виде теплопроводность наблюдается только в твёрдых телах.
Перенос теплоты в среде с неоднородным распределением скорости и температуры, осуществляемый макроскопическими элементами вещества при их перемещении.
Процесс переноса теплоты, в котором параметры изменяются только в пространстве, но не изменяются во времени.

Верный ответ: Перенос теплоты в сплошной среде с неоднородным распределением температуры, осуществляемый микрочастицами вещества при их тепловом движении. В чистом виде теплопроводность наблюдается только в твёрдых телах.

3. Указать неверное мероприятие по увеличению коэффициента теплопередачи

Ответы:

Увеличить меньший из двух коэффициентов теплоотдачи
Осуществить оребрение стенки со стороны меньшего коэффициента теплоотдачи
Осуществить оребрение стенки со стороны большего коэффициента теплоотдачи

Верный ответ: Осуществить оребрение стенки со стороны большего коэффициента теплоотдачи

4. Какие теплообменники называют смешительными (контактными)?

Ответы:

Теплообменники в которых тепло- и массообменные процессы протекают при непосредственном контакте теплоносителей.
Аппараты, в которых греющий и нагреваемый теплоносители разделены друг от друга стенкой.
Аппараты, в которых горячий и холодный теплоносители поочередно омывают одну и ту же поверхность некоторого тела через определенные промежутки времени.

Верный ответ: Теплообменники в которых тепло- и массообменные процессы протекают при непосредственном контакте теплоносителей.

5. При конденсации сухого насыщенного пара на горизонтальной трубке, при увеличении разности температур насыщения и стенки, коэффициент теплоотдачи:

Ответы:

Увеличивается
Уменьшается
Не изменяется

Верный ответ: Уменьшается

6. При пузырьковом кипении жидкости на поверхности горизонтальной трубки, при увеличении разности температур стенки и насыщения, коэффициент теплоотдачи

Ответы:

Увеличивается
Уменьшается
Не изменяется

Верный ответ: Увеличивается

7. При термогравитационной конвекции жидкости вдоль вертикальной поверхности, при увеличении разности температур стенки и жидкости на удалении от стенки, коэффициент теплоотдачи

Ответы:

Увеличивается

Уменьшается

Не изменяется

Верный ответ: Увеличивается

8. При движении жидкости вдоль горизонтальной поверхности, при увеличении скорости течения жидкости (ламинарный режим течения), коэффициент теплоотдачи

Ответы:

Увеличивается
---------------

Уменьшается
-------------

Не изменяется
---------------

Верный ответ: Увеличивается

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2<sub>ОПК-6</sub> Выполняет измерения физических величин, обрабатывает результаты измерений и оценивает погрешность

### Вопросы, задания

1. Основные положения теплопроводности: температурное поле, градиент температуры, закон Фурье теплопроводности, коэффициент теплопроводности.

2. Физико-математическая формулировка задач теплопроводности (общий случай). ДУ (дифференциальное уравнение) теплопроводности, условия однозначности (краевые условия задачи).

3. Критериальные уравнения конвективного теплообмена. Физический смысл полученных безразмерных критериев.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Укажите уравнение подобия, описывающее процесс теплообмена при стационарном режиме свободной конвекции

Ответы:

а)  $Nu = f(Re, Pr)$

б)  $Nu = f(Pe, Fo)$

в)  $Nu = f(Re, Gr)$

г)  $Nu = f(Re, Pr, Gr)$

д)  $Nu = f(Gr, Pr)$

Верный ответ: д)  $Nu = f(Gr, Pr)$

2. Какое из приведенных уравнений описывает процесс теплообмена при вынужденной конвекции и стационарном режиме?

Ответы:

а)  $Nu = f(Re, Pr)$

б)  $Nu = f(Pe, Fo)$

в)  $Nu = f(Re, Gr)$

г)  $Nu = f(Re, Pr, Gr)$

д)  $Nu = f(Gr, Pr)$

Верный ответ: г)  $Nu = f(Re, Pr, Gr)$

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания:* Достаточно полный ответ на каждый теоретический вопрос. Полностью решенная задача с правильным ответом и графической интерпретацией решения

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 65*

*Описание характеристики выполнения знания:* Ответ на каждый поставленный теоретический вопрос с достаточным раскрытием темы. Задача, решённая правильно с графической интерпретацией, имеющей несущественные недостатки

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 55*

*Описание характеристики выполнения знания:* Не полный ответ на каждый поставленный вопрос, либо отсутствием ответа на один из вопросов. Задача с правильным ответом, но без графической интерпретации решения.

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

Итоговая оценка = оценка за текущий контроль  $\times 0,4$  + оценка за промежуточный контроль  $\times 0,6$