

**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: Автономные энергетические системы**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Тепломассообмен**

**Москва  
2021**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сиденков Д.В.
	Идентификатор	R7ad01b54-SidenkovDV-41309924

(подпись)

Д.В.

Сиденков

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Ланская И.И.
	Идентификатор	R3db6324d-Lanskyall-6f410db9

(подпись)

И.И. Ланская

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Кулешов Н.В.
	Идентификатор	Re9c42de9-KuleshovNV-bc390ed6

(подпись)

Н.В.

Кулешов

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

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

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

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ОПК-4 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

ИД-3 Демонстрирует понимание основных законов тепломассообмена и применяет их для расчетов элементов теплотехнических установок и систем

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Расчетное задание «Нестационарная теплопроводность и излучение» (Творческая задача)
2. Расчетное задание «Тепломассообмен в теплообменных аппаратах» (Творческая задача)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа «Внутренние источники. Интенсификация теплообмена (оребрение)» (Контрольная работа)
2. Контрольная работа «Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки» (Контрольная работа)
3. Контрольная работа «Теплоотдача и сопротивление при вынужденном обтекании пластины, трубы, пучка труб» (Контрольная работа)
4. Контрольная работа «Теплоотдача при свободной конвекции и массообмен при испарении» (Контрольная работа)
5. Терминологический тест «Введение в теплообмен» (Тестирование)
6. Терминологический тест «Система дифференциальных уравнений сохранения конвективного тепломассообмена» (Тестирование)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита цикла лабораторных работ «Вынужденная конвекция» (Отчет)
2. Защита цикла лабораторных работ «Свободная конвекция» (Отчет)
3. Защита цикла лабораторных работ «Тепловое излучение» (Отчет)
4. Защита цикла лабораторных работ «Теплообмен при кипении/конденсации. Теплообменные аппараты» (Отчет)
5. Защита цикла лабораторных работ «Теплопроводность» (Отчет)

## 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	8	9	12	15	16
Теплопроводность и тепловое излучение (семестр №4)							
Введение в тепломассообмен. Способы переноса теплоты. Основные определения, терминология		+	+	+	+	+	+
Одномерные стационарные задачи теплопроводности			+	+	+	+	
Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности				+		+	
Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой						+	+
Теплообмен излучением между излучающе–поглощающей средой и поверхностями нагрева теплообменных устройств						+	+
Вес КМ:		10	15	15	15	30	15

5 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %							
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
	Срок КМ:	4	8	9	12	14	15	16
Конвективный тепломассообмен (семестр №5)								
Введение в конвективный теплообмен		+	+	+				
Внешняя задача конвективного теплообмена			+	+	+	+	+	+
Конвективная теплоотдача при течении жидкости в трубах (каналах)				+			+	+
Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя							+	+
Теплообменные аппараты							+	+
Основные понятия массообмена					+		+	+
Вес КМ:		5	20	10	20	10	25	10

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

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

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ОПК-4	ИД-3 <sub>ОПК-4</sub> Демонстрирует понимание основных законов тепломассообмена и применяет их для расчетов элементов теплотехнических установок и систем	Знать: законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы применительно к теплотехническим и теплотехнологическим установкам и системам (5) калорические и переносные свойства рабочих веществ теплоэнергетических и теплотехнологических установок и систем (5) законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты (5) законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты (4) калорические и	Терминологический тест «Введение в теплообмен» (Тестирование) Контрольная работа «Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки» (Контрольная работа) Защита цикла лабораторных работ «Теплопроводность» (Отчет) Контрольная работа «Внутренние источники. Интенсификация теплообмена (оребрение)» (Контрольная работа) Расчетное задание «Нестационарная теплопроводность и излучение» (Творческая задача) Защита цикла лабораторных работ «Тепловое излучение» (Отчет) Терминологический тест «Система дифференциальных уравнений сохранения конвективного тепломассообмена» (Тестирование) Контрольная работа «Теплоотдача и сопротивление при вынужденном обтекании пластины, трубы, пучка труб» (Контрольная работа) Защита цикла лабораторных работ «Вынужденная конвекция» (Отчет) Контрольная работа «Теплоотдача при свободной конвекции и массообмен при испарении» (Контрольная работа) Защита цикла лабораторных работ «Свободная конвекция» (Отчет) Расчетное задание «Тепломассообмен в теплообменных аппаратах» (Творческая задача) Защита цикла лабораторных работ «Теплообмен при кипении/конденсации. Теплообменные аппараты» (Отчет)

		<p>переносные свойства рабочих веществ теплоэнергетических и теплотехнологических установок и систем (4)</p> <p>законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы применительно к теплотехническим и теплотехнологическим установкам и системам (4)</p> <p>Уметь:</p> <p>рассчитывать процессы тепломассопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования (5)</p> <p>рассчитывать температурные поля в элементах конструкции тепловых и теплотехнологических установок с целью обеспечения эффективности процессов тепломассообмена (5)</p> <p>рассчитывать температурные поля (поля концентраций веществ) в потоках технологических жидкостей и газов (5)</p>	
--	--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

		<p>рассчитывать температурные поля (поля концентраций веществ) в потоках технологических жидкостей и газов (4)</p> <p>рассчитывать температурные поля в элементах конструкции тепловых и теплотехнологических установок с целью обеспечения эффективности процессов теплообмена (4)</p> <p>рассчитывать процессы теплопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования (4)</p>	
--	--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

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

4 семестр

### КМ-1. Терминологический тест «Введение в теплообмен»

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Ответы письменно на вопросы теста

#### Краткое содержание задания:

1. Способы теплопереноса: теплопроводность
2. Способы теплопереноса: конвекция
3. Способы теплопереноса: излучение
4. Определение основных понятий: температурное поле, единицы измерения температуры, изотермическая поверхность
5. Определение основных понятий: градиент температуры
6. Определение основных понятий: тепловой поток
7. Определение основных понятий: плотность теплового потока.
8. Вектор плотности теплового потока.
9. Закон теплопроводности Фурье.
10. Коэффициент теплопроводности
11. Тепловое взаимодействие потока жидкости с обтекаемой поверхностью твердого тела. Закон Ньютона-Рихмана.
12. Коэффициент теплоотдачи
13. Теплопередача.
14. Коэффициент теплопередачи
15. Дифференциальное уравнение теплопроводности
16. Условия однозначности
17. Виды граничных условий
18. Одномерное дифференциальное уравнение (ДУ) стационарной теплопроводности при  $\lambda = \text{const}$  и без внутренних источников
19. Решение ДУ из п.18 для плоской стенки и для цилиндрической стенки
20. Решение ДУ из п.18 для плоской стенки при  $\lambda = \lambda(t)$  и для цилиндрической стенки при  $\lambda = \lambda(t)$

#### Контрольные вопросы/задания:

<b>Знать: законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы применительно к теплотехническим и теплотехнологическим установкам и системам (4)</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Способы теплопереноса: теплопроводность</li><li>2. Способы теплопереноса: конвекция</li><li>3. Способы теплопереноса: излучение</li><li>4. Определение основных понятий: температурное поле, единицы измерения температуры, изотермическая поверхность</li><li>5. Определение основных понятий: градиент температуры</li><li>6. Определение основных понятий: тепловой поток</li><li>7. Определение основных понятий: плотность теплового потока.</li><li>8. Вектор плотности теплового потока.</li><li>9. Закон теплопроводности Фурье.</li><li>10. Коэффициент теплопроводности</li></ol>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### 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-2. Контрольная работа «Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки»**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменное решение вариантов задания из двух (трех) задач по изучаемой теме

**Краткое содержание задания:**

1.25. Стальной паропровод ( $d_2 \times \delta = 110 \times 5$  мм) проложен на открытом воздухе  $t_{ж2} = 20$  °С. Тепловая изоляция паропровода выполнена из двух слоев — минеральной стекляннй ваты и асбеста ( $\rho = 500$  кг/м<sup>3</sup>;  $\delta_{м.в} = \delta_a = 50$  мм). Вычислить потери тепла с 1 п.м (погонного метра) паропровода, если температура пара  $t_{ж1} = 300$  °С, а коэффициенты теплоотдачи от пара к внутренней поверхности паропровода и с внешней поверхности второго слоя изоляции к воздуху равны соответственно  $90$  Вт/(м<sup>2</sup> · К) и  $15$  Вт/(м<sup>2</sup> · К).

Как изменятся полученные результаты, если при других одинаковых условиях внутренний и наружный слой изоляции поменять местами?

**1.31. По элект**  
**кают ток  $I = 30$**   
**если коэффициен**  
**составляет  $12$  Вт**

# Как изменится его покрыть рези 1,5 мм при неизм и температуры во

## Контрольные вопросы/задания:

Знать: законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты (4)	1. Как изменится результат в 1.25, если учитывать зависимость теплопроводности от температуры для всех материалов
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 100*

*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*

## КМ-3. Защита цикла лабораторных работ «Теплопроводность»

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Отчет

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка отчета по лабораторной работе, устный опрос

**Краткое содержание задания:**

Исследовать теплопроводность теплоизоляционного материала методом плоского слоя

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: калорические и переносные свойства рабочих веществ теплоэнергетических и теплотехнологических установок и систем (4)	1.1 Дифференциальное уравнение теплопроводности 2 Решение для плоской стенки 3 Стационарный режим
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------

**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 «Внутренние источники. Интенсификация теплообмена (оребрение)»**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменное решение вариантов задания из двух (трех) задач по изучаемой теме

**Краткое содержание задания:**

**1.35.** Для десятикратного увеличения теплового потока с 1 п.м наружной поверхности вертикальной трубы ( $d = 60$  мм,  $t_c = 80$  °С) к воздуху в помещении ( $t_{ж} = 20$  °С) решено приварить к ней с равномерным шагом по периметру продольные стальные [ $\lambda = 50,1$  Вт/(м · К)] ребра прямоугольного сечения толщиной 3 мм. Длина ребер  $l = 50$  мм. Какое число ребер потребуется для этого, если коэффициент теплоотдачи с поверхности трубы и ребер  $7,5$  Вт/(м<sup>2</sup> · К)? Чему равен тепловой поток с гладкой части поверхности трубы между ребрами

**1.46. Температу**  
**уранового стерж**  
**Определить доп**  
**при мощности в**  
**ратура охлажда**  
**теплоотдачи  $\alpha =$**

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: рассчитывать процессы теплопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования (4)	1. Определить плотность теплового потока на поверхности уранового стержня
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------

**Описание шкалы оценивания:***Оценка: 5**Нижний порог выполнения задания в процентах: 100**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***КМ-5. Расчетное задание «Нестационарная теплопроводность и излучение»****Формы реализации:** Компьютерное задание**Тип контрольного мероприятия:** Творческая задача**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Решение 3-х задач ТР с помощью компьютерных программ по вариантам, проверка правильности, опрос**Краткое содержание задания:****Национальный исследовательский университет "МЭИ"**

Кафедра теоретических основ теплотехники им. М.П. Вукаловича

Расчётное задание № 1 по курсу «Тепломассообмен»

Группа ФП- - 2 \_\_

Студент

**Вариант 14**

Задача 1.

Задача **1.27** из задачника по ТМО [2] при  $L = 400 \cdot (\text{Ном. Гр.} + \text{Вариант})/2$ , м;  $w = 0.1 + (\text{Ном. Гр.} + \text{Вариант})/10$ , м/с;  $\alpha_1 = 3000 \cdot \sqrt{w}$ . Для учета тепловых потерь за счет излучения принять степень черноты поверхности трубопровода (тепловой изоляции) **1 - (Ном. Гр. + Вариант по журналу) \* 0.01**, при температуре отнесения равной температуре атмосферного воздуха. Построить графики  $t_{ж}(x)$ ,  $q_L(x)$ . Рассчитать тепловой поток потерь трубопроводов  $Q$ .

**Указания: 1. Сравнить решение задачи по формуле Шухова и по алгоритму решения задачи 5 гл. 2 учебника [1].****2. Проанализировать результаты с точки зрения эффективности работы изоляции труб.**

Литература к задаче 1

1. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: Учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во МЭИ, 2008.

2. Цветков Ф.Ф., Керимов Р.В., Величко В.И. Задачник по тепломассообмену. – М.: МЭИ, 2009.

Задача 2.

Масло марки МК, протекая через бак с расходом  $G_2 = 0,155$  кг/с, нагревается в нём от температуры  $t_{ж1} = 45$  оС до температуры  $t_{ж2} = 60$  оС. Греющим теплоносителем является сухой насыщенный водяной пар, конденсирующийся в горизонтальных змеевиках при давлении  $P = 2,7000000000000002$  бар, смонтированных внутри бака. Для снижения тепловых потерь бак покрыт слоем тепловой изоляции. Требуется определить величину поверхности змеевиков  $F_1$ , м<sup>2</sup>, и расход греющего пара  $G_1$ , кг/с.

Для расчёта заданы следующие величины:

1. коэффициент теплоотдачи от пара к внутренней стенке поверхности змеевиков  $\alpha_1 - 5100$  Вт/(м<sup>2</sup> К);
2. коэффициент теплоотдачи от наружной стенки поверхности змеевиков к маслу  $\alpha_2 - 118$  Вт/(м<sup>2</sup> К);
3. коэффициент теплоотдачи от масла к стенкам бака  $\alpha_3 - 55$  Вт/(м<sup>2</sup> К);
4. коэффициент теплоотдачи от изоляции бака к воздуху  $\alpha_4 - 9$  Вт/(м<sup>2</sup> К);
5. температура окружающего воздуха  $t_{ж3} - 28$  оС;
6. толщина стенки бака  $\delta_1 - 5$  мм;
7. толщина изоляции бака  $\delta_2 - 20$  мм;
8. поверхность бака  $F_2 - 5$  м<sup>2</sup>.

Бак изготовлен из низкоуглеродистой стали, для тепловой изоляции использован (а) стекловата. **Тепловые потери определить как при постоянной теплопроводности изоляции, так и с учетом её зависимости от температуры. Сравнить результаты.**

Указание: Термическим сопротивлением стенки змеевиков пренебречь, изменением внешней поверхности бака из-за его изоляции пренебречь, применить формулы для теплопередачи через плоскую стенку.

Задача 3.

Цилиндрическую заготовку диаметром  $d = 330$  мм и длиной  $L = 350$  мм, с начальной температурой  $t_0 = 700$  оС поместили в охладительный бассейн с температурой жидкости  $t_{ж} = 20$  оС, в котором она начала охлаждаться при постоянном коэффициенте теплоотдачи  $\alpha = 80$  Вт/(м<sup>2</sup> К). Свойства материала заготовки: марка - Сталь 40Ni15Cr, плотность - 9073 кг/м<sup>3</sup>, удельная теплоёмкость - 460 Дж/(кг К), теплопроводность - 11,6 Вт/(м К)

Рассчитать температурное поле в цилиндре как функцию радиуса  $r$  и линейной координаты  $x$  в момент времени  $\tau_1 = 6$  мин от начала охлаждения, результаты вычислений свести в таблицу, построить графики  $t(x, 0, \tau_1)$ ,  $t(x, r_0, \tau_1)$ ,  $t(0, r, \tau_1)$ ,  $t(L/2, r, \tau_1)$ .

Рассчитать температуру в центре цилиндра как функцию времени, для стадии регулярного режима охлаждения вычислить, имитируя эксперимент, темп охлаждения цилиндра и теплопроводность материала заготовки.

Вычислить количество теплоты, отданной цилиндром за время охлаждения от его начала, до момента  $\tau_1$ .

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты (4)	1.Критический диаметр тепловой изоляции
Уметь: рассчитывать температурные поля (поля концентраций веществ) в	1.Рассчитать тепловые потери трубопровода в Задаче 1 в окружающую среду с учетом теплового излучения

потоках технологических жидкостей и газов (4)	
-----------------------------------------------	--

**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-6. Защита цикла лабораторных работ «Тепловое излучение»**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Отчет

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка отчета по лабораторной работе, устный опрос

**Краткое содержание задания:**

Исследовать зависимость степени черноты материала от температуры

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: рассчитывать температурные поля в элементах конструкции тепловых и теплотехнологических установок с целью обеспечения эффективности процессов теплообмена (4)	1.1 Рассчитать Есоб серого тела при заданной температуре тела и степени черноты его поверхности 2 Построить график изменения степени черноты от температуры 3 Оценить плотность потока результирующего излучения на стенках стеклянной колбы установки
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**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*



## 5 семестр

### КМ-1. Терминологический тест «Система дифференциальных уравнений сохранения конвективного теплообмена»

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 5

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Ответы письменно на вопросы теста

#### Краткое содержание задания:

1. Математическое описание процесса конвективного теплообмена: дифференциальные уравнения энергии, движения, неразрывности.
2. Условия однозначности
3. Уравнение теплоотдачи.
4. число Нуссельта.
5. Понятие пограничного слоя. Гидродинамический и тепловой пограничный слой.
6. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена в приближении пограничного слоя.
7. Качественный анализ характеристик гидродинамического пограничного слоя.
8. число Рейнольдса
9. Качественный анализ характеристик теплового пограничного слоя.
10. Классификация теплоносителей по числу Прандтля
11. Теплообмен при ламинарном и турбулентном пограничном слое на пластине.
12. Расчет  $Nu$  при обтекании пластины
13. Сопроствление при ламинарном и турбулентном пограничном слое на пластине.
14. Расчет  $C_f$  при обтекании пластины
15. Аналогия Рейнольдса. Число Стантона
16. Понятие диффузионного пограничного слоя.
17. Качественный анализ характеристик диффузионного пограничного слоя.
18. Уравнение массоотдачи. Плотность диффузионного потока. Коэффициент массоотдачи.
19. Диффузионные аналоги чисел  $Pr$ ,  $Pe$  и  $Nu$

#### Контрольные вопросы/задания:

<p><b>Знать: законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы применительно к теплотехническим и теплотехнологическим установкам и системам (5)</b></p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Математическое описание процесса конвективного теплообмена: дифференциальные уравнения энергии, движения, неразрывности.</li><li>2. Условия однозначности</li><li>3. Уравнение теплоотдачи.</li><li>4. число Нуссельта.</li><li>5. Понятие пограничного слоя. Гидродинамический и тепловой пограничный слой.</li><li>6. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена в приближении пограничного слоя.</li><li>7. Качественный анализ характеристик гидродинамического пограничного слоя.</li><li>8. число Рейнольдса</li><li>9. Качественный анализ характеристик теплового пограничного слоя.</li><li>10. Классификация теплоносителей по числу Прандтля</li></ol>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### 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-2. Контрольная работа «Теплоотдача и сопротивление при вынужденном обтекании пластины, трубы, пучка труб»**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменное решение вариантов задания из двух (трех) задач по изучаемой теме

**Краткое содержание задания:**

4.4. Плоская стенка длиной  $l = 3$  м и шириной  $b = 1,8$  м омывается продольным потоком воздуха, скорость которого  $w_\infty = 5$  м/с и температура  $t_\infty = 30$  °С. Температура поверхности стенки  $t_c = 250$  °С ( $q_c = \text{const}$ ). Определить средний по длине стенки коэффициент теплоотдачи и количество тепла, отдаваемое воздуху.

**4.17. Электронная задача**  
Плоская стенка длиной  $l = 1$  м омывается потоком воздуха, температура которого  $t_\infty = 30$  °С. Если известно, что температура стенки не до

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты (5)	1.Изменится ли результат в задаче 4.4, если обтекание будет не продольным, а поперечным
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 100*

*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*

**КМ-3. Защита цикла лабораторных работ «Вынужденная конвекция»**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Отчет

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка отчета по лабораторной работе, устный опрос

**Краткое содержание задания:**

Исследовать теплоотдачу при обтекании пластины (поперечном обтекании трубы)

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: калорические и переносные свойства рабочих веществ теплоэнергетических и теплотехнологических установок и систем (5)	1.1 Понятие пограничного слоя. Гидродинамический и тепловой пограничный слой. 2 Теплообмен при ламинарном и турбулентном пограничном слое на пластине. 3 <b>Условия однозначности</b>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**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 «Теплоотдача при свободной конвекции и массообмен при испарении»**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменное решение вариантов задания из двух (трех) задач по изучаемой теме

**Краткое содержание задания:**

3.11. Два горизонтальных паропровода одинаковой длины в спокойном воздухе с  $t_{\infty} = 50$  °С имеют температуру поверхности соответственно  $t_{c1} = 450$  °С и  $t_{c2} = 200$  °С. Во сколько раз различаются тепловые потери с поверхности паропроводов, если отношение их диаметров равно  $d_1/d_2 = 3$ .

# 8.12. Плоская ПОТОКОМ СУХОГО В $t_{\infty} = 20$ °С, давл дачи при $x = 0,1$ м

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: рассчитывать процессы теплопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования (5)

1. Определить средний коэффициент массоотдачи в задаче 8.12, если длина пластины - 0.5 м

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 100*

*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*

### **КМ-5. Защита цикла лабораторных работ «Свободная конвекция»**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Отчет

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка отчета по лабораторной работе, устный опрос

**Краткое содержание задания:**

Исследовать теплообмен при свободной конвекции около погруженных в жидкость тел

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: рассчитывать температурные поля (поля концентраций веществ) в потоках технологических жидкостей и газов (5)	1.1 Рассчитать число Релея 2 Определить плотность теплового потока при свободной конвекции 3 Рассчитать средний коэффициент теплоотдачи в смешанном режиме свободной конвекции около вертикальной стенки
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**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-6. Расчетное задание «Тепломассообмен в теплообменных аппаратах»**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Творческая задача

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Решение 4-х задач ТР с помощью компьютерных программ по вариантам, проверка правильности, опрос

**Краткое содержание задания:**

**Национальный исследовательский университет "МЭИ"**

### Задача 1.

Вода при температуре  $70 + (\text{Ном. Гр.} + \text{Вариант})$  0С и давлении 4 бар поступает в надземный трубопровод (типоразмер трубы  $d_2 * \delta = 50 * 2$  мм), проложенный на открытом воздухе. Расход воды  $G = 0.005 + 0.01 * (\text{Ном. Гр.} + \text{Вариант})$  кг/с. Материал трубопровода – углеродистая сталь. Трубопровод обдувается в поперечном направлении атмосферным воздухом, имеющем температуру -30 0С при скорости ветра  $w = 0 + (\text{Вариант-1}) * (\text{Ном. Гр.} + \text{Вариант})/26$ , м/с. Для учета тепловых потерь за счет излучения принять степень черноты поверхности трубопровода  $1 - (\text{Ном. Гр.} + \text{Вариант}) * 0.01$ , при температуре отнесения равной температуре атмосферного воздуха. Определить на каком расстоянии ( L ) от входа в трубу среднемаассовая температура воды станет равна 0 0С. Построить графики  $t_{ж}(x)$ . Рассчитать гидравлическое сопротивление трубопровода.

**Указание: Сравнить решение по формуле Шухова и методу  $\epsilon - NTU$ .**

### Задача 2.

На наружной поверхности горизонтально расположенных труб (типоразмер труб из нержавеющей стали  $d_2 * \delta = 14 * 1.4$  мм), погруженных в большой объем происходит кипение воды. Теплоносителем является вода, протекающая внутри труб со скоростью  $w = 2 + (\text{Ном. Гр.} + \text{Вариант-2}) * 0.1$ , м/с. Определить режим кипения, минимальный размер активного центра парообразования, найти коэффициент теплоотдачи со стороны кипящей воды  $\alpha_2$ , Вт/м<sup>2</sup>К и плотность теплового потока  $q$ , Вт/м<sup>2</sup>, если известно, что давление при котором кипит вода  $p_2 = 4.3 + (\text{Ном. Гр.} + \text{Вариант-2}) * 0.04$  МПа, температура и давление теплоносителя  $t_1 = 280$  0С и  $p_1 = 12.7$  МПа, соответственно. Учесть, что в процессе эксплуатации на внутренней и внешней поверхности трубы образуются оксидные пленки, суммарное термическое сопротивление которых составляет  $2 * 10^{-5}$  м<sup>2</sup>К/Вт.

### Задача 3.

Необходимо охладить масло (МС-20), применяемое в системе смазки промышленной газовой турбины, от температуры 100 0С до температуры 60 0С, при расходе масла 0.1 кг/с. Техническая вода системы охлаждения имеет давление  $p = 4$  бар и температуру 30 0С. Максимальный расход воды 0.2 кг/с. Выбрать наилучший вариант теплообменника из двух:

1. Противоточный теплообменник типа "труба в трубе", во внутренней трубе диаметром 25 мм протекает вода, в кольцевом канале протекает масло, диаметр наружной трубы 45 мм.
2. Противоточный канальный пластинчатый теплообменник кубической формы, образованный N пластинами, отстоящими друг от друга на расстоянии s, мм. Число каналов < 70.

Критерии отбора:

1. Длина аппарата
2. Гидравлическое сопротивление по каждому теплоносителю

### Задача 4.

Оценить суточный расход подпиточной воды [кг/сутки] для компенсации потерь воды из бассейна за счет испарения. Зеркало бассейна имеет размеры  $6 + 0.1 * (\text{Ном. Гр.} + \text{Вариант}) \times 12 + 0.1 * (\text{Ном. Гр.} + \text{Вариант})$  [м], температура и относительная влажность воздуха  $25 + 0.1 * (\text{Ном. Гр.} + \text{Вариант})$  0С и  $50\% + 1 * (\text{Ном. Гр.} + \text{Вариант})$ , соответственно. Ветер обдувает поверхность воды вдоль длинной стороны со скоростью  $w = 1.5 + 0.1 * (\text{Ном. Гр.} + \text{Вариант})$  [м/с]. Считать поверхность воды гладкой и уровень воды в бассейне неизменным и совпадающим с краями бассейна.

Литература

1. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Теплообмен: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МЭИ, 2011.
2. Цветков Ф.Ф., Керимов Р.В., Величко В.И. Задачник по теплообмену. – М.: МЭИ, 2008.

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: рассчитывать температурные поля в элементах конструкции тепловых и теплотехнологических установок с целью обеспечения эффективности процессов теплообмена (5)	1. Применить $\epsilon$ -NTU метод для решения задачи №3
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

**КМ-7. Защита цикла лабораторных работ «Теплообмен при кипении/конденсации. Теплообменные аппараты»**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Отчет

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка отчета по лабораторной работе, устный опрос

**Краткое содержание задания:**

Исследовать кривую кипения на поверхности в большом объеме

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: рассчитывать температурные поля в элементах конструкции тепловых и теплотехнологических установок с целью обеспечения эффективности процессов теплообмена (5)	1.1 Рассчитать запас до кризиса кипения 2 Рассчитать $q_{кр1}$ и $q_{кр2}$ 3 Рассчитать коэффициент теплоотдачи
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**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*



# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

4 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

1.	Общий вид решения для температурного поля в тонкой пластине при ее охлаждении в среде с постоянной температурой на стадии $Fo > 0,3$ . Что характеризует каждый из сомножителей этого решения? Чему равна температура поверхности пластины при $Fo=3$ , если $Bi=101$ .
2.	Теплообмен излучением между двумя поверхностями, разделенными системой экранов
3.	Вычислить значения критериев Био и Фурье для тонкой пластины, если заданы: $\delta=20$ мм, $\alpha=50$ Вт/м <sup>2</sup> К, $a=0,810 \cdot 10^{-7}$ м <sup>2</sup> /с, $\lambda=2$ Вт/м К, $\tau=15$ мин. Какова температура на оси, если начальная температура пластины 200 °С, а температура жидкости 50 °С?

## Процедура проведения

Очно по билетам устно

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

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

### Вопросы, задания

1.	Теплопроводность в плоской стенке. Интегрирование ДУ теплопроводности. Распределение температуры по толщине.
2.	Основные положения теплопроводности: температурное поле, градиент температуры, закон Фурье, коэффициент теплопроводности.
3.	Нагревание (охлаждение) тел конечной формы. Метод получения решения.
4.	Теплопроводность многослойной плоской стенки при граничных условиях третьего рода.
5.	Ребро конечной длины постоянного сечения. Вывод соотношения для коэффициента эффективности ребра.
6.	Теплопроводность в цилиндрической стенке. Интегрирование ДУ теплопроводности.

--	--

7.	Интегрирование ДУ теплопроводности и характеристика условий однозначности.
8.	Теплопроводность многослойной цилиндрической стенки при граничных условиях третьего рода.

9.	Система определяющих уравнений для теплообмена излучением в замкнутой системе серых изотермических поверхностей.
10.	Нестационарная теплопроводность в пластине. Регулярный режим нагревания (охлаждения). Темп охлаждения.

### Материалы для проверки остаточных знаний

- 1.1. Способы теплопереноса: теплопроводность
2. Способы теплопереноса: конвекция
3. Способы теплопереноса: излучение
4. Определение основных понятий: температурное поле, единицы измерения температуры, изотермическая поверхность
5. Определение основных понятий: градиент температуры
6. Определение основных понятий: тепловой поток
7. Определение основных понятий: плотность теплового потока.
8. Вектор плотности теплового потока.
9. Закон теплопроводности Фурье.
10. Коэффициент теплопроводности

Ответы:

Из лекционного материала, из литературных источников

Верный ответ: из лекционного материала

### II. Описание шкалы оценивания

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Правильно решена задача, даны развернутые ответы на два вопроса билета*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: Правильно решена задача, дан развернутый ответ на один вопрос билета, продемонстрировано понимание сути второго вопроса*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Правильно решена задача, продемонстрировано понимание сути первого и второго вопроса*

### III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Экзамен. Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих В приложение к диплому выносится оценка за 5 семестр

#### 5 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

#### Пример билета

1.	Теплогидравлический расчет теплообменного аппарата. Алгоритм расчета на примере теплообменника типа «труба в трубе».
2.	Расчет теплоотдачи при пленочной конденсации на вертикальной пластине (трубе) с помощью безразмерных критериев.
3.	Вычислить толщину пленки конденсата водяного пара на расстоянии $h=1$ м от верхней кромки вертикальной стенки, если давление насыщения $p_s=1$ бар, температура стенки $t_c=90$ °С (режим стекания ламинарный)

#### Процедура проведения

Очно по билетам устно

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

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

#### Вопросы, задания

1.	Теплообмен и сопротивление при течении в трубе. Эквивалентный (гидравлический) диаметр трубопровода, имеющего различную форму поперечного сечения. Диаграмма Моуди.
2.	Концентрационная диффузия (массы). Вектор плотности потока массы. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Дифференциальные уравнения совместных процессов массо- и теплообмена. Диффузионный пограничный слой. Алгоритм расчета коэффициента массоотдачи.
3.	Конвективный теплообмен: основные понятия, режимы течения, коэффициент теплоотдачи, понятие пограничного слоя, гидродинамический и тепловой пограничные слои.

	Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена в приближении пограничного слоя.
4.	$\epsilon$ -NTU метод расчета рекуперативных теплообменных аппаратов. Расчет эффективности ( $\epsilon$ ) для прямоточного теплообменного аппарата (вывод). $\epsilon$ -NTU диаграмма, предельные случаи.

5.	Теплообмен и сопротивление при турбулентном течении жидкости в круглой трубе.
6.	Сравнение эффективности прямоточной и противоточной схем организации взаимного движения теплоносителей в рекуперативном теплообменном аппарате. Рассмотреть случай однофазных теплоносителей и случай фазового перехода теплоносителей.

7.	Конденсация – условие возникновения; виды конденсации. Формулировка задачи при пленочной конденсации на вертикальной стенке (ламинарный режим ее стекания).
8.	Метод среднелогарифмического температурного напора расчета теплообменного аппарата

9.	Теплообмен при поперечном обтекании трубы. Особенности развития гидродинамического и теплового пограничных слоев, их влияние на локальный коэффициент теплоотдачи. Расчет среднего коэффициента теплоотдачи.
10.	Основные уравнения, используемые при расчете теплообменных аппаратов: уравнение теплопередачи и уравнение теплового баланса. Виды расчетов.

### Материалы для проверки остаточных знаний

- 1.1. Математическое описание процесса конвективного теплообмена: дифференциальные уравнения энергии, движения, неразрывности.
2. Условия однозначности
3. Уравнение теплоотдачи.
4. число Нуссельта.
5. Понятие пограничного слоя. Гидродинамический и тепловой пограничный слой.
6. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена в приближении пограничного слоя.
7. Качественный анализ характеристик гидродинамического пограничного слоя.
8. число Рейнольдса
9. Качественный анализ характеристик теплового пограничного слоя.
10. Классификация теплоносителей по числу Прандтля

Ответы:

из лекционных материалов и из литературных источников

Верный ответ: из лекционных материалов

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

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Правильно решена задача, даны развернутые ответы на два вопроса билета*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: Правильно решена задача, дан развернутый ответ на один вопрос билета, продемонстрировано понимание сути второго вопроса*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Правильно решена задача, продемонстрировано понимание сути первого и второго вопроса*

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

Экзамен. Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих. В приложение к диплому выносится оценка за 5 семестр. Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.