

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

Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Термоядерные реакторы и плазменные установки

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Тепломассообмен в оборудовании АЭС**

**Москва
2023**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

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

Д.В.
Сиденков

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

А.В. Дедов

Заведующий
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

А.В. Дедов

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

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

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

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-1 Демонстрирует понимание основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

ИД-2 Демонстрирует понимание основных законов тепломассообмена и применяет их для расчетов элементов теплоэнергетических установок и систем

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Расчетное задание «Инженерные методы расчета тепломассообмена» (Творческая задача)
2. Расчетное задание «Нестационарная теплопроводность и излучение» (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 и свободная конвекция» (Отчет)
2. Защита цикла лабораторных работ «Тепловое излучение» (Отчет)
3. Защита цикла лабораторных работ «Теплообмен при кипении/конденсации. Теплообменные аппараты» (Отчет)
4. Защита цикла лабораторных работ «Теплопроводность» (Отчет)

БРС дисциплины

5 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 №5)						
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	20	20	20

6 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	13	14
Конвективный тепломассообмен (семестр №6)							
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:	10	20	10	20	25	15	

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

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

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-1	ИД-2ПК-1 Демонстрирует понимание основных законов тепломассообмена и применяет их для расчетов элементов теплоэнергетических установок и систем	Знать: основные принципы тепломассообмена и методы математического моделирования тепломассообменных процессов и установок (5) методики расчета процессов теплопроводности в элементах конструкций, теплообмена излучением (5) методики расчета и принципы и методы интенсификации теплопередачи (5) методики расчета процессов тепломассообмена при свободной и вынужденной конвекции, двухфазного тепломассообмена (6) основные принципы тепломассообмена 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 и свободная конвекция» (Отчет) Контрольная работа «Теплоотдача при свободной конвекции и массообмен при испарении» (Контрольная работа) Расчетное задание «Инженерные методы расчета тепломассообмена» (Творческая задача) Защита цикла лабораторных работ «Теплообмен при кипении/конденсации. Теплообменные аппараты» (Отчет)

		методы математического моделирования тепломассообменных процессов и установок (6) методики расчета теплообменных аппаратов энергетических установок и принципы и методы интенсификации теплопередачи (6) Уметь: самостоятельно анализировать процессы теплообмена и принимать оптимальные решения при проектировании и эксплуатации теплообменного оборудования энергетических установок (5) разрабатывать компьютерные модели теплогидравлических процессов и выполнять численные эксперименты (6) самостоятельно анализировать процессы теплообмена и принимать оптимальные решения при	
--	--	--	--

		конструировании и эксплуатации тепломассообменного оборудования энергетических установок (6) разрабатывать компьютерные модели теплогидравлических процессов и выполнять численные эксперименты (5)	
--	--	---	--

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

5 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:

Знать: методики расчета и принципы и методы интенсификации теплопередачи (5)	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
--	--

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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/м³; $\delta_{м.в} = \delta_a = 50$ 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/(м² · К) и 15 Вт/(м² · К).

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

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

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

Контрольные вопросы/задания:

Знать: методики расчета процессов теплопроводности в элементах конструкций, теплообмена излучением (5)	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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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: основные принципы тепломассообмена и методы математического моделирования тепломассообменных процессов и установок (5)	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

Оценка: 2

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

КМ-4. Контрольная работа «Внутренние источники. Интенсификация теплообмена (оребрение)»

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:

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/(м² · К)? Чему равен тепловой поток с гладкой части поверхности трубы между ребрами

1.46. Температуру уранового стержня. Определить допустимую мощность в стержне при температуре охлаждения $t_{охл} = 20$ °С. Коэффициент теплоотдачи $\alpha = 10000$ Вт/(м² · К).

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: разрабатывать компьютерные модели теплогидравлических процессов и выполнять численные эксперименты (5)	1.Определить плотность теплового потока на поверхности уранового стержня
---	--

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**Оценка: 2**Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено***КМ-5. Расчетное задание «Нестационарная теплопроводность и излучение»****Формы реализации:** Компьютерное задание**Тип контрольного мероприятия:** Творческая задача**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20**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 ТФ- - 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) $1 - (\text{Ном. Гр.} + \text{Вариант по журналу}) \cdot 0.01$, 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 , m^2 , 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/(м² К);
2. коэффициент теплоотдачи от наружной стенки поверхности змеевиков к маслу $\alpha_2 - 118$ Вт/(м² К);
3. коэффициент теплоотдачи от масла к стенкам бака $\alpha_3 - 55$ Вт/(м² К);
4. коэффициент теплоотдачи от изоляции бака к воздуху $\alpha_4 - 9$ Вт/(м² 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 $F_2 - 5$ м².

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 охлаждающий бассейн с температурой жидкости $t_{ж} = 20$ оС, в котором она начала охлаждаться при постоянном коэффициенте теплоотдачи $\alpha = 80$ Вт/(м² К). Свойства материала заготовки: марка - Сталь 40Ni15Cr, плотность - 9073 кг/м³, 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 температуропроводность материала заготовки.

Вычислить количество теплоты, отданной цилиндром за время охлаждения от его начала, до момента τ_1 .

Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные принципы тепломассообмена и методы математического моделирования тепломассообменных процессов	1.Критический диаметр тепловой изоляции
---	---

и установок (5)	
Уметь: самостоятельно анализировать процессы теплообмена и принимать оптимальные решения при конструировании и эксплуатации теплообменного оборудования энергетических установок (5)	1. Рассчитать тепловые потери трубопровода в Задаче 1 в окружающую среду с учетом теплового излучения

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

Оценка: 2

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

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

Формы реализации: Устная форма

Тип контрольного мероприятия: Отчет

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

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: самостоятельно анализировать процессы теплообмена и принимать оптимальные решения при конструировании и эксплуатации теплообменного оборудования энергетических установок (5)	1.1 Рассчитать Е _{сб} 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

Оценка: 2

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

6 семестр

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

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. 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. Сопротивление 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 P_r , Pe и Nu

Контрольные вопросы/задания:

Знать: методики расчета процессов теплообмена при свободной и вынужденной конвекции, двухфазного теплообмена (6)	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
---	--

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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 стенка длиной $l = 1$ м с температурой которого t_∞ если известно, что температура стенки не до

Контрольные вопросы/задания:

Знать: методики расчета процессов теплообмена при свободной и вынужденной конвекции, двухфазного теплообмена (6)	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

Оценка: 2

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

КМ-3. Защита цикла лабораторных работ «Вынужденная и 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 теплоотдачу при обтекании пластины (поперечном обтекании трубы)

Контрольные вопросы/задания:

Знать: методики расчета теплообменных аппаратов энергетических установок и принципы и методы интенсификации теплопередачи (6)	1.1 Понятие пограничного слоя. Гидродинамический и тепловой пограничный слой. 2 Теплообмен при ламинарном и турбулентном пограничном слое на пластине. 3 Условия однозначности 2.1 Теплообмен при ламинарном и турбулентном пограничном слое при свободной конвекции около вертикальной пластины 2 Критерий определения режима течения в пограничном слое, его физический смысл 3 Интенсификация теплоотдачи при свободной конвекции
---	---

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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 $t_{\infty} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ имеют температуру поверхности соответственно $t_{c1} = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t_{c2} = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Во сколько раз различаются тепловые потери с поверхности паропроводов, если отношение их диаметров равно $d_1/d_2 = 3$.

8.12. Плоская потокосухого в $t_{\infty} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, давл дачи при $x = 0,1\text{ м}$

Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные принципы тепломассообмена и методы математического моделирования тепломассообменных процессов и установок (6)	1.Какой безразмерный комплекс является критерием, позволяющим определить режим течения в пограничном слое в задаче 3.11
---	---

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

Оценка: 2

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

КМ-5. Расчетное задание «Инженерные методы расчета тепломассообмена»

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"

Кафедра теоретических основ теплотехники им. М.П. Вукаловича

Расчётное задание № 2 по курсу «Тепломассообмен»

Группа ТФ- 2 _ Студент

Вариант № по журналу БАРС

Задача 1.

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

Указание: Сравнить решение по формуле Шухова и методу ϵ - NTU.

Задача 2.

На наружной поверхности горизонтально расположенных труб (типоразмер труб из нержавеющей стали $d_2 \times \delta = 14 \times 1.4 \text{ мм}$), погруженных в большой объем происходит кипение воды. Теплоносителем является вода, протекающая внутри труб со скоростью $w = 2 + (\text{Ном. Гр.} + \text{Вариант-2}) \cdot 0.1, \text{ м/с}$. Определить режим кипения, минимальный размер активного центра парообразования, найти коэффициент теплоотдачи со стороны кипящей воды $\alpha_2, \text{ Вт/м}^2\text{К}$ и плотность теплового потока $q, \text{ Вт/м}^2$, если известно, что

давление при котором кипит вода $p_2 = 4.3 + (\text{Ном. Гр.} + \text{Вариант-2}) \cdot 0.04$ 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 $2 \cdot 10^{-5}$ м²К/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 $6 + 0.1 \cdot (\text{Ном. Гр.} + \text{Вариант}) \times 12 + 0.1 \cdot (\text{Ном. Гр.} + \text{Вариант})$ [м], температура и относительная влажность воздуха $25 + 0.1 \cdot (\text{Ном. Гр.} + \text{Вариант})$ 0С и $50\% + 1 \cdot (\text{Ном. Гр.} + \text{Вариант})$, соответственно. Ветер обдувает поверхность воды вдоль длинной стороны со скоростью $w = 1.5 + 0.1 \cdot (\text{Ном. Гр.} + \text{Вариант})$ [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. Тепломассообмен: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МЭИ, 2011.
2. Цветков Ф.Ф., Керимов Р.В., Величко В.И. Задачник по тепломассообмену. – М.: МЭИ, 2008.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: методики расчета теплообменных аппаратов энергетических установок и принципы и методы интенсификации теплопередачи (6)	1.Конструкторский и поверочный тепловой расчет теплообменного аппарата
Уметь: разрабатывать компьютерные модели теплогидравлических процессов и выполнять численные эксперименты (6)	1.Применить eps-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

Оценка: 2

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

КМ-6. Защита цикла лабораторных работ «Теплообмен при кипении/конденсации. Теплообменные аппараты»

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 кривую кипения на поверхности в большом объеме

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: самостоятельно анализировать процессы тепломассообмена и принимать оптимальные решения при конструировании и эксплуатации тепломассообменного оборудования энергетических установок (6)	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

Оценка: 2

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

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

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.	Вода при температуре 70 0С и давлении 4 бар поступает в надземный трубопровод (типоразмер трубы $d_2 \times \delta = 50 \times 2$ мм), проложенный на открытом воздухе. Расход воды $G = 0.3$ кг/с. КТО $\alpha_1 = 1000$ Вт/м ² К. Материал трубопровода – углеродистая сталь. Трубопровод обдувается в поперечном направлении атмосферным воздухом, имеющем температуру -30 0С при КТО $\alpha_2 = 20$ Вт/м ² К. Определить, на каком расстоянии (L) от входа в трубу среднемассовая температура воды станет равна 0 0С.

Процедура проведения

Очно по билетам устно

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

1. Компетенция/Индикатор: ИД-2_{ПК-1} Демонстрирует понимание основных законов тепломассообмена и применяет их для расчетов элементов теплоэнергетических 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 нагрева (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
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:

изучение лекционного материала, из литературных источников

Верный ответ: изучение 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

Оценка: 2

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

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 6 семестр

6 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-2_{ПК-1} Демонстрирует понимание основных законов тепломассообмена и применяет их для расчетов элементов теплоэнергетических установок и систем

Вопросы, задания

1.	
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.	ε -NTU метод расчета рекуперативных теплообменных аппаратов. Расчет эффективности (ε) для прямоточного теплообменного аппарата (вывод). ε -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

Оценка: 2

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

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 6 семестр. Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.