

**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: Технологии теплоэнергетики (тепловые электрические станции; теплоснабжение и теплотехническое оборудование; технология воды и топлива; автоматизированные теплоэнергетические системы)

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Заочная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Тепломассообмен**

**Москва
2025**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Шацких Ю.В.
	Идентификатор	R6ca75b8e-ShatskikhYV-f045f12f

Ю.В.
Шацких

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Бураков И.А.
	Идентификатор	R6e8dfb19-BurakovIA-87400e32

И.А. Бураков

Заведующий
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Щербатов И.А.
	Идентификатор	R6b2590a8-ShcherbatovIA-d91ec17

И.А.
Щербатов

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. Задачи теплопроводности (Тестирование)
2. Основные понятия тепломассообмена (Тестирование)
3. Процессы массообмена (Тестирование)
4. Свободная конвекция (Тестирование)
5. Теплообмен излучением в системе тел, заполненной лучепрозрачной и лучепоглощающей средой (Тестирование)
6. Теплоотдача при фазовых переходах (Тестирование)

Форма реализации: Письменная работа

1. Задачи вынужденной конвекции (Контрольная работа)
2. Тепловой расчет теплообменного аппарата (Расчетно-графическая работа)

БРС дисциплины

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Основные понятия тепломассообмена (Тестирование)
КМ-2 Задачи теплопроводности (Тестирование)
КМ-3 Свободная конвекция (Тестирование)
КМ-4 Задачи вынужденной конвекции (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	15

Введение в тепломассообмен				
Способы переноса теплоты	+			
Основные определения, терминология	+			
Теплопроводность				
Математическое описание процесса теплопроводности		+		
Стационарная теплопроводность		+		
Нестационарная теплопроводность		+		
Свободная конвекция				
Уравнения теории конвективного теплообмена			+	
Свободная конвекция			+	
Вынужденная конвекция				
Конвективная теплоотдача при течении жидкости в трубах и каналах				+
Внешняя задача конвективного теплообмена				+
Вес КМ:	20	25	25	30

8 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-5 Теплоотдача при фазовых переходах (Тестирование)

КМ-6 Теплообмен излучением в системе тел, заполненной лучепрозрачной и лучепоглощающей средой (Тестирование)

КМ-7 Тепловой расчет теплообменного аппарата (Расчетно-графическая работа)

КМ-8 Процессы массообмена (Тестирование)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
	Срок КМ:	4	8	12	15
Теплообмен при фазовых превращениях					
Теплообмен при кипении	+				
Теплообмен при конденсации пара	+				
Теплообмен излучением					

Основные понятия и законы теплового излучения		+		
Теплообмен излучением между твердыми телами, разделенными прозрачной средой		+		
Расчет теплообмена излучением в системе тел, заполненной излучающей и поглощающей средой		+		
Тепломассообменные аппараты				
Типы теплообменных аппаратов			+	
Инженерные методы расчета тепломассообмена в энергетических установках			+	
Основы массообмена				
Основные понятия массообмена				+
Расчет процессов массообмена				+
Вес КМ:	25	25	25	25

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

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

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ОПК-4	ИД-3опк-4 Демонстрирует понимание основных законов тепломассообмена и применяет их для расчетов элементов теплотехнических установок и систем	Знать: процессы тепло- и массообмена в парогазовом потоке основные понятия тепломассообмена, термины и определения механизмы процессов теплообмена при фазовых переходах законы переноса теплоты при движении теплоносителя Уметь: рассчитывать теплообмен излучением в системе тел, заполненных излучающей и поглощающей средой рассчитывать температурные поля в элементах конструкций тепловых установок рассчитывать процессы конвективного теплообмена	КМ-1 Основные понятия тепломассообмена (Тестирование) КМ-2 Задачи теплопроводности (Тестирование) КМ-3 Свободная конвекция (Тестирование) КМ-4 Задачи вынужденной конвекции (Контрольная работа) КМ-5 Теплоотдача при фазовых переходах (Тестирование) КМ-6 Теплообмен излучением в системе тел, заполненной лучепрозрачной и лучепоглощающей средой (Тестирование) КМ-7 Тепловой расчет теплообменного аппарата (Расчетно-графическая работа) КМ-8 Процессы массообмена (Тестирование)

		выполнять теплогидравлический расчет теплообменных аппаратов	
--	--	---	--

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

7 семестр

КМ-1. Основные понятия тепломассообмена

Формы реализации: Компьютерное задание

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Компьютерное тестирование.

Краткое содержание задания:

Студенту предлагается ответить на тестовые вопросы, касающиеся основных понятий тепломассообмена, терминов и определений, используемых в данной дисциплине.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: основные понятия тепломассообмена, термины и определения	1. Дайте определение плотности теплового потока 1. Это количество тепловой энергии, передаваемое через поверхность площадью 1 м^2 2. Это количество тепловой энергии, передаваемое в единицу времени через поверхность площадью 1 м^2 3. Это количество теплоты, проходящее через произвольную поверхность в единицу времени Ответ: 2 2. Дайте определение вектора плотности теплового потока 1. Это вектор, в направлении которого интенсивность переноса теплоты наименьшая 2. Поверхностный интеграл от скалярного произведения вектора $\mathbf{q}$ и единичного вектора нормали $\mathbf{n}_0$ к элементарной площадке поверхности 3. Это вектор, проекция которого на произвольное направление есть местная плотность теплового потока, проходящего через площадку, перпендикулярную к этому направлению Ответ: 3 3. Отметьте правильные определения: 1. изотермические поверхности пересекаются 2. вектор плотности теплового потока сонаправлен с вектором градиента температурного поля 3. коэффициент теплоотдачи численно равен количеству теплоты, проходящему через единичную поверхность в единицу времени при разности значений температуры поверхности и жидкости в один кельвин 4. при теплопередаче отсутствуют конвекция и теплопроводность 5. плотность теплового потока измеряется в ваттах Ответ: 3

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	4.Какой процесс называется теплопроводностью? 1.процесс передачи теплоты в пространстве, осуществляемый как за счет теплового движения микрочастиц так и посредством перемещения макрочастиц из одной точки пространства в другую 2.теплообмен между поверхностью тела и омывающей его движущейся средой 3.перенос теплоты при непосредственном контакте более нагретых тел или среды с менее нагретыми, осуществляемый посредством хаотического движения и взаимодействия микрочастиц 4. перенос теплоты в пространстве, осуществляемый в результате распространения электромагнитных волн, энергия которых при взаимодействии с веществом переходит в тепловую энергию Ответ: 3 5.Укажите верное определение коэффициента теплопередачи 1.Количество теплоты, передаваемое в единицу времени от одного теплоносителя к другому через разделяющую стенку площадью 1 м^2 при разнице температур между теплоносителями 1 К 2.Количество теплоты, передаваемого в единицу времени от стенки площадью 1 м^2 к омывающему ее теплоносителю при разнице температур 1 К. 3.Тепловой поток, передаваемый от более нагретого тела к менее нагретому через поверхность площадью 1 м^2 при градиенте температур 1 К/м Ответ: 1

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

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

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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

КМ-2. Задачи теплопроводности

Формы реализации: Компьютерное задание

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Компьютерное тестирование.

Краткое содержание задания:

Студенту предлагается ответить на тестовые задания, касающиеся задач стационарной и нестационарной теплопроводности.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: рассчитывать температурные поля в элементах конструкций тепловых установок	1. Железобетонный бак покрыт тепловой изоляцией. Толщина стенки бака 10 мм, коэффициентом теплопроводности железобетона 1,28 Вт/(м·К). Слой изоляции выполнен из шлаковой ваты толщиной 50 мм с коэффициентом теплопроводности $\lambda=0,069$ Вт/(м·К). Температуры внутренней поверхности стенки бака 270 °С и внешней поверхности изоляции 50 °С. Вычислить температуру на границах слоев изоляции. 52 °С; 58 268°С. Ответ: 3 2.1. Найти температуру наружной поверхности слоя изоляции стального (коэффициент теплопроводности 15 Вт/(м·К)) изолированного трубопровода диаметром 108/102 мм. По трубопроводу течет вода с температурой 150 °С. Температура воздуха в помещении, где проходит трубопровод, 18 °С. Коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха 12 Вт/(м²·К), со стороны воды 1200 Вт/(м²·К). Толщина слоя изоляции 50 мм с коэффициентом теплопроводности 0,081 Вт/(м·К). 58,6 °С; 29,8 °С; 18,1 °С. Ответ: 2 3. По какому из приведенных уравнений можно рассчитать линейный коэффициент теплопередачи через цилиндрическую стенку? $k_l = 1/(1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2)$ $k_l = 1/(1/\alpha_1 + 1/2\lambda \ln\{d_2/d_1\} + 1/\alpha_2)$ $k_l = 1/(1/(\alpha_1 d_1) + 1/2\lambda \ln\{d_2/d_1\} + 1/(\alpha_2 d_2))$ $k_l = 2\pi\lambda \frac{t_1 - t_2}{\ln\{d_2/d_1\}}$ $k_l = \lambda / (\delta \ln(t_1 - t_2))$ Ответ: 3 4. Физический смысл числа Био Bi: - Число Био равно отношению термических сопротивлений:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	внутреннего сопротивления теплопроводности к внешнему сопротивлению теплоотдачи. 2. Число Био равно отношению внешнего термического сопротивления теплоотдачи к внутреннему термическому сопротивлению теплопроводности 3. Число Био характеризует соотношение между интенсивностью теплообмена за счет конвекции и интенсивностью теплообмена за счет теплопроводности Ответ: 1

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

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

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

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

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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

КМ-3. Свободная конвекция

Формы реализации: Компьютерное задание

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Компьютерное тестирование.

Краткое содержание задания:

Студенту предлагается ответить на тестовые вопросы, касающиеся основных понятий конвективного теплообмена

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: законы переноса теплоты при движении теплоносителя	1.Количество теплоты, отдаваемое потоком жидкости 1 м² поверхности в единицу времени при разности температур между ней и поверхностью в 1°С называется: а) коэффициентом теплопроводности б) коэффициентом теплоотдачи в) плотностью потока излучения

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	г) интегральной плотностью потока излучения д) коэффициентом теплопередачи Ответ: б 2.Какие из чисел подобия являются теплофизической характеристикой жидкости? а) число Рейнольдса б) число Нуссельта в) число Прандтля г) число Грасгофа е) число Фурье ж) число Био Ответ: в 3.Горизонтально расположенная стальная труба с температурой 130 °С охлаждается окружающим воздухом, температура которого $t_{\text{возд}} = 18$ °С. Определить коэффициент теплоотдачи от стенки трубы к воздуху, если диаметр внешний трубы равен $d_2 = 210$ мм 4.Каков режим движения среды в круглой трубе, если скорость потока $w = 20$ м/с, диаметр трубы $d = 40$ мм, а коэффициент кинематической вязкости $\nu = 0,6 \cdot 10^{-3}$ м²/с? Поясните ответ. а) ламинарный б) переходный в) турбулентный г) по этим данным определить нельзя Ответ: а 5.В каком случае толщины теплового и динамического пограничных слоев совпадают? а) $Pr < 1$ б) $Pr > 1$ в) $Pr = 1$ г) $Pr = 0$ д) $Pr = 100$ Ответ: в

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

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

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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

КМ-4. Задачи вынужденной конвекции

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 30

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студенту выдается две задачи с индивидуальным набором исходных данных. Задачи решаются самостоятельно. Решенные задачи загружаются для проверки в СДО "Прометей".

Краткое содержание задания:

Студент должен решить две задачи по вынужденной конвекции. Первая задача на вынужденное обтекание пластины, трубы или пучка труб. Вторая на вынужденное движение теплоносителя внутри трубы или канала.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: рассчитывать процессы конвективного теплообмена	1. Определить средний коэффициент теплоотдачи десятирядного коридорного пучка, обтекаемого поперечным потоком трансформаторного масла, если внешний диаметр труб в пучке 25 мм, средняя скорость в узком течении 0,6 м/с, средняя температура масла 50 °С и средняя температура поверхности труб 80 °С. 2. По трубке диаметром 20 мм движется воздух с температурой на входе 20°С. Расход воздуха $G=9$ кг/ч. Средняя температура внутренней поверхности трубки 100°С. Какую длину должна иметь трубка, чтобы температура воздуха на выходе из нее была равна 60 °С?

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

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

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется, если обе задачи выполнены верно с незначительными ошибками

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется, если выполнено верно одна из задач, вторая задача либо не решена либо ее решение содержит грубые ошибки

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется, если обе задачи не выполнены, либо их решение содержит грубые ошибки.

8 семестр

КМ-5. Теплоотдача при фазовых переходах

Формы реализации: Компьютерное задание

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Компьютерное тестирование.

Краткое содержание задания:

Студенту предлагается ответить на тестовые вопросы, касающиеся тепломассообмена при кипении и конденсации

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: механизмы процессов теплообмена при фазовых переходах	1. Выберите правильные предложения: 1. Условием конденсации является перегрев пара относительно температуры насыщения при давлении конденсации; 2 Условием конденсации является наличие центров конденсации в объёме пара или на поверхности конденсации, 3. Туман является примером объёмной конденсации, 4. Конденсация невозможна, если жидкость не смачивает поверхность конденсации, 5. Переохлаждение пара относительно температуры насыщения при давлении паровой фазы является условием конденсации, 6. Диффузионное сопротивление связано с наличием в паровой фазе молекул неконденсирующихся газов. Ответ: 2,3,5,6 2. Выберите верные определения: 1. Для закипания воды её температура всегда должна быть равна 100 градусам по Цельсию. 2. Кипением называют процесс интенсивного парообразования с образованием поверхностей раздела фаз в объёме жидкости и/или на поверхности нагрева. 3. Для процесса кипения необходимо наличие центров парообразования. 4. Если жидкость не смачивает поверхность теплообмена, мы наблюдаем плёночную конденсацию. 5. Противоточная схема движения теплоносителей в рекуперативном теплообменнике является наиболее эффективной. 6. При образовании парового пузырька происходит преобразование теплоты в механическую энергию. Ответ: 2,3,5,6 3. В условиях регулирования температуры поверхности теплообмена при бассейновом кипении

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	превышение первой критической плотности теплового потока ведёт к... 1. Увеличению КТО и плотности теплового потока, 2. Снижению плотности теплового потока, но росту КТО, 3. Снижению КТО и неизменной плотности теплового потока, 4. Уменьшению КТО и плотности теплового потока, 5. Переходу к режиму свободной конвекции с ростом КТО, 6. Переходу к развитому плёночному кипению с резким снижением КТО, ростом температуры поверхности и угрозой её разрушения. Ответ: 4 4.Внутри парового пузырька температура пара равна: 1. температуре насыщения при давлении насыщения кипящей жидкости, 2. температуре насыщения при давлении пара внутри парового пузырька, 3. среднему арифметическому значений этих температур, 4. Температура внутри пузырька всегда равна температуре кипящей жидкости. Ответ: 2 5.Выберите правильные предложения: 1. Плёночная конденсация возникает на поверхности, смачиваемой жидкостью, 2. Гидрофобизаторы применяют для перевода капельной конденсации в плёночную, 3. При плёночной конденсации удаётся получить более высокие значения КТО, чем при капельной, 4. Фазовое сопротивление связано с кинетикой процесса конденсации и проявляется при низких давлениях пара и конденсации паров жидких металлов, 5. Основным сопротивлением при плёночной конденсации является сопротивление теплопроводности плёнки конденсата, 6. Плотность теплового потока, передаваемого при конденсации, определяется из закона Ньютона-Рихмана. Ответ: 1,4,5,6

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

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

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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

КМ-6. Теплообмен излучением в системе тел, заполненной лучепрозрачной и лучепоглощающей средой

Формы реализации: Компьютерное задание

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Компьютерное тестирование.

Краткое содержание задания:

Студенту предлагается ответить на тестовые задания, касающиеся задач излучения в лучепрозрачной и лучепоглощающей среде.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: рассчитывать теплообмен излучением в системе тел, заполненных излучающей и поглощающей средой	1. Что называется поглощательной способностью тела (среды) 1. Способность тела поглощать падающее излучение. 2. Поток излучения, падающий на тело за вычетом потока излучения, отражённого телом. 3. Отношение потока, пропущенного телом, к потоку излучения, падающему на это тело. 4. Отношение потока, поглощённого телом, к потоку излучения, падающему на это тело. Ответ: 4 2. Найдите степень черноты дымовых газов указанного состава, воспользовавшись номограммами Хоттеля 3. Вычислить плотность потока результирующего излучения, обусловленного лучеиспусканием от дымовых газов к поверхности газохода, поперечное сечение которого имеет размеры $a \times b \times c$. Газы содержат CO_2 и H_2O. Общее давление газов 98,1 кПа. Температура газов на входе в газоход t_{g1} и на выходе t_{g2}; средняя температура поверхности газохода t_c и степень черноты поверхности 0,85. 4. Три серых тела находятся при одной и той же температуре. Поглощательная способность первого равна 0,1, второго – 0,9, третьего – 0,5. Для какого тела плотность потока собственного излучения наибольшая? 1. Для первого тела 2. Для второго тела 3. Для третьего тела Ответ: 2 5. Две близко расположенные друг к другу пластины с

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	температурами 220 °С и 80 °С и степенью черноты соответственно 0,15 и 0,9 обмениваются лучистой энергией. Определить плотность результирующего теплового потока между пластинами 1. 314,4 Вт/м²; 2. 1204,4 Вт/м²; 3. 19,3 Вт/м²; 4. 364,3 Вт/м² Ответ: 2

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

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

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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

КМ-7. Тепловой расчет теплообменного аппарата

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Расчетно-графическая работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студентам выдается типовое задание с индивидуальными исходными данными. Задание выполняется самостоятельно. Полностью готовая работа загружается в СДО "Прометей" для проверки преподавателем.

Краткое содержание задания:

Провести тепловой и гидравлический расчет змеевикового экономайзера, предназначенного для подогрева воды в количестве G_v , кг/с от температуры на входе $t'_в$, °С до температуры на выходе $t''_в$, °С. Массовый расход дымовых газов G_g , кг/с. Температура газов перед экономайзером $t'_г$, °С. Вода движется внутри труб со скоростью, лежащей в пределах $w_v = 0,3 \div 0,8$ м/с. Газы движутся поперечным потоком снаружи труб. Скорость в узком сечении трубного пучка при средней температуре газа должна лежать в пределах $w_g = 8 \div 14$ м/с. Поверхность нагрева экономайзера состоит из стальных труб диаметром d_2/d_1 , мм, расположенных в шахматном порядке с относительным поперечным шагом S_1/d_2 и относительным продольным шагом S_2/d_2 . ТРЕБУЕТСЯ:

1. Определить поверхность нагрева экономайзера, его основные размеры и конструктивные характеристики (длина и число параллельно включенных змеевиков, число рядов труб по ходу газов, число труб в ряду и др.).
2. Определить гидравлическое сопротивление экономайзера со стороны воды и дымовых газов
3. Выполнить чертеж экономайзера по требованиям ЕСКД.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: выполнять теплогидравлический расчет теплообменных аппаратов	1. Определить поверхность нагрева экономайзера, его основные размеры и конструктивные характеристики (длина и число параллельно включенных змеевиков, число рядов труб по ходу газов, число труб в ряду и др.) 2. Дать схематический чертеж аппарата с указанием габаритных и присоединительных размеров, диаметр труб, количество рядов труб, шагов труб 3. Произвести тепловой расчет змеевикового экономайзера 4. Произвести гидравлический расчет экономайзера 5. Рассчитать коэффициенты теплоотдачи со стороны греющего и нагреваемого теплоносителей

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в полном объеме, представлен чертеж теплообменного аппарата по требованиям ЕСКД

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Полностью выполнен тепловой и гидравлический расчет теплообменного аппарата, чертеж аппарата не представлен

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Полностью выполнен только тепловой расчет теплообменного аппарата, чертеж аппарата не представлен

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Задание не выполнено либо имеет грубые ошибки: ход решения неверный, неверно выбраны расчетные формулы, неверные вычисления, неверно указаны размерности физических величин.

КМ-8. Процессы массообмена

Формы реализации: Компьютерное задание

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Компьютерное тестирование.

Краткое содержание задания:

Студент отвечает на повпросы, касающиеся переноса теплоты и массы в парогазовых потоках

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: процессы тепло- и массообмена в парогазовом потоке	1.Скорость протекания массообменных процессов определяется: А) Концентрацией В) Диффузией С) Временем D) Вязкостью Е) Объёмом Ответ: В 2.Перенос вещества молекулярной диффузией определяется законом: А) Ньютона В) Навье-Стокса С) Стефана-Больцмана D) Фурье Е) Фика Ответ: Е 3.Единицей измерения коэффициента диффузии является: А) м³/кг В) м²/с С) м³/с D) м/с Е) кг/с Ответ: В 4.Каким должно быть давление паров влаги у поверхности высушиваемого материала (P_m) в зависимости от парциального давления паров воды в воздухе (P_p) для протекания сушки? А) $P_m < P_p$ В) $P_m > P_p$ С) $P_m = P_p$ Ответ: В 5.Если перенос вещества осуществляется движущимися частицами носителя и распределяемого вещества, то процесс называется: А) Конвективной диффузией В) Молекулярной диффузией С) Массопередачей D) Массоотдачей Е) Ионной диффузией Ответ: В

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

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

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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

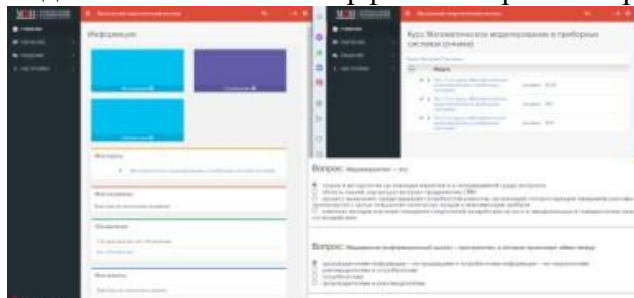
СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

Вид билета связан с интерфейсом сервиса "Прометей"



Процедура проведения

В тесте 20 вопросов встречаются вопросы следующих типов:

1. с одним вариантом ответа (в вопросах «один из многих», система сравнивает ответ слушателя с правильным ответом и автоматически выставляет за него назначенный балл)
2. с выбором нескольких вариантов ответов (в вопросах «многие из многих» система оценивает каждый ответ отдельно; есть возможность разрешить слушателю получить за вопрос 0,75 балла, если он выберет 3 правильных ответа из 4)
3. на соответствие слушатель должен привести в соответствие левую и правую часть ответа (в вопросах «соответствие» система оценивает каждый ответ отдельно; можно разрешить слушателю получить за вопрос 0,75 балла, если он выберет 3 правильных ответа из 4)
4. развернутый ответ, вводится в ручную в специально отведенное поле (ручная оценка преподавателем)

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

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

Вопросы, задания

1.Билет 1

1. Основные способы переноса теплоты. Совместные процессы переноса теплоты. Основные определения процессов, физических величин, размерности
2. Особенности теплоотдачи тонких проволок, теплоотдача в узких прослойках (щелях).
3. Вдоль горячей стенки с постоянной температурой 120 °С направлен поток воздуха со скоростью 5 м/с. Определить средний коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху, если длина стенки 2 м, а температура набегающего воздуха 10 °С

2.Билет 2

1. Основные положения теплопроводности (температурное поле, градиент температуры, тепловой поток, плотность теплового потока - локальная и средняя, вектор плотности теплового потока), Гипотеза Фурье. Коэффициент теплопроводности вещества.
2. Теплоотдача при свободной конвекции на горизонтальном цилиндре. Расчет коэффициента теплоотдачи

3. Стенка неэкранированной топочной камеры парового котла выполнена из слоя шамотного кирпича толщиной 140 мм и слоя красного кирпича толщиной 530 мм. Слои плотно прилегают друг к другу. Плотность теплового потока, проходящего через стенку 1300 Вт/м². Температура на внутренней поверхности топочной камеры 1200 °С. Найти температуру на наружной поверхности топочной камеры. Коэффициент теплопроводности шамотного кирпича $\lambda=0,524$ Вт/(м·К), красного кирпича 0,7 Вт/(м·К)

3.Билет 3

1. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Вывод уравнения

2. Свободное движение около нагретых горизонтальных плит. Расчет коэффициента теплоотдачи

3. Горизонтальный трубопровод диаметром 300 мм проложен в помещении, температура воздуха в котором 20 °С. Найти тепловые потери с поверхности трубопровода, если его длина 5 м, а средняя температура воды в трубе 80 °С. Термическим сопротивлением от воды к внутренней стенке трубы теплопроводности стенки трубы пренебречь

4.Билет 4

1. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности для нестационарных и стационарных задач теплопроводности

2. Теплоотдача при свободной конвекции на вертикальной пластине. Коэффициент теплоотдачи при ламинарном и турбулентном свободном движении вдоль пластины.

3. По стальному трубопроводу внутренним диаметром 150 мм и толщиной стенки 6 мм протекает горячая вода с температурой 130 °С. Трубопровод покрыт слоем изоляции толщиной 50 мм с коэффициентом теплопроводности 0,067 Вт/(м·К). Температуру внутренней стенки трубопровода принять равной температуре горячей воды. Тепловые потери с 1 погонного метра трубы составляют 70 Вт/м. Коэффициент теплопроводности стали принять равным 42 Вт/(м·К). Найти температуру на наружной поверхности изоляции

5.Билет 5

1. Стационарная теплопроводность в однослойной и многослойной плоской стенке при граничных условиях первого рода, постоянной теплопроводности и отсутствии внутренних источников теплоты. Постановка задачи и её аналитическое решение. График изменения температуры по толщине стенки

2. Расчёт теплоотдачи при поперечном обтекании одиночного цилиндра и пучка труб.

3. Лист стали толщиной 24 мм, который имел начальную температуру 25 °С, был помещен в печь с температурой 600 °С. Определить время, необходимое для нагрева листа до температуры 450 °С. Коэффициент теплопроводности стали 45,4 Вт/(м·К), теплоемкость стали 0,502 кДж/(кг·К), плотность стали 7800 кг/м³. Коэффициент теплоотдачи от поверхности листа к окружающему воздуху 23,3 Вт/(м²·К). Ответ указать в секундах. Ответ должен быть целым числом.

6.1. Стационарная теплопроводность в однослойной и многослойной плоской стенке при граничных условиях третьего рода, постоянной теплопроводности и отсутствии внутренних источников теплоты. Уравнение теплопередачи. Понятие термического сопротивления и коэффициента теплопередачи. Тепловой "закон Ома".

2. Теплоотдача при турбулентном течении жидкости в трубе. Эпюра скорости и температуры. Расчет коэффициента теплоотдачи.

3. Найти глубину промерзания стены здания, выполненной из бетона. Толщина стены 370 мм, коэффициент теплопроводности материала стены 1,28 Вт/(м·°С). Температура воздуха внутри здания 20 °С; коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности стены 8,0 Вт/(м²·°С); температура наружного воздуха –25 °С; коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стены 23 Вт/(м²·°С).

7.Билет 7

1. Стационарная теплопроводность в однослойной и многослойной цилиндрической стенке при граничных условиях первого рода, постоянной теплопроводности и

отсутствии внутренних источников теплоты. Постановка задачи и её аналитическое решение. Понятие о линейной плотности теплового потока. Связь линейной и поверхностной плотностей теплового потока.

2. Теплоотдача при вязкостном и вязкостно-гравитационном режимах движения жидкости в трубе. Расчет коэффициента теплоотдачи.

3. По стальному паропроводу внутренним диаметром 250 мм и толщиной стенки 8 мм протекает пар с температурой 450 °С. Паропровод покрыт слоем изоляции толщиной 150 мм, коэффициент теплопроводности которой 0,1 Вт/(м·К). Температуру внутренней стенки паропровода принять равной температуре пара. Температура наружной поверхности изоляции 50 °С. Коэффициент теплопроводности стали принять равным 35 Вт/(м·К). Найти тепловые потери с 1 погонного метра трубопровода

8.Билет 8

1. Стационарная теплопроводность в однослойной и многослойной цилиндрической стенке при граничных условиях третьего рода, постоянной теплопроводности и отсутствии внутренних источников теплоты. Уравнение теплопередачи для линейной плотности теплового потока. Понятие полного линейного термического сопротивления и коэффициента теплопередачи для цилиндрической стенки. Связь линейного и "поверхностного" коэффициентов теплопередачи.

2. Теплоотдача при ламинарном течении жидкости в трубе. Начальные гидродинамический и тепловой участки, участок стабилизированного теплообмена.

3. Вертикальный трубопровод диаметром 200 мм проложен в помещении, температура воздуха в котором 30 °С. Найти тепловые потери с поверхности трубопровода, если его длина 3 м, а средняя температура воды в трубе 90 °С. Термическим сопротивлением от воды к внутренней стенке трубы теплопроводности стенки трубы пренебречь.

9.Билет 9

1. Решение задачи об охлаждении (нагревании) безграничной пластины в среде с постоянной температурой в безразмерном виде. Числа Био и Фурье.

2. Теплообмен при ламинарном обтекании плоской пластины. Местный и средний коэффициент теплоотдачи.

3. В вертикальной трубе диаметром 22х1 мм и длиной 3,5 м течет трансформаторное масло сверху вниз со скоростью 0,12 м/с и средней температурой 90 °С. Определить средний коэффициент теплоотдачи, если температура стенки трубы 10 °С. Учесть влияние естественной конвекции

10.Билет 10

1. Анализ решения задачи об охлаждении (нагревании) безграничной пластины в среде с постоянной температурой. Поведение решения задачи при малых и больших значениях безразмерного времени.

2. Безразмерные числа (критерии) подобия, применяемые в теории конвективного теплообмена. Критериальные уравнения конвективного теплообмена.

3. Найти время, по истечении которого лист стали толщиной 20 мм нагретый до 400 °С, будучи помещенный в среду температурой 20 °С, примет температуру 25 °С.

Коэффициент теплопроводности стали 45 Вт/(м·К), теплоемкость стали 0,46

кДж/(кг·К), плотность стали 7900 кг/м³. Коэффициент теплоотдачи от поверхности листа к окружающему воздуху 35 Вт/(м²·К). Ответ указать в секундах. Ответ должен быть целым числом.

11. Найти глубину промерзания стены здания, выполненной из бетона. Толщина стены 370 мм, коэффициент теплопроводности материала стены 1,28 Вт/(м·°С). Температура воздуха внутри здания 20 °С; коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности стены 8,0 Вт/(м²·°С); температура наружного воздуха –25 °С; коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стены 23 Вт/(м²·°С).

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Укажите способы передачи теплоты

Ответы:

1. конвекция
2. теплопередача
3. теплообмен излучением
4. теплопроводность
5. конвективный теплообмен
6. излучение
7. теплоотдача

Верный ответ: 3, 4, 5

2. Температурное поле - это

Ответы:

1. направление максимального изменения температуры
2. геометрическое место точек, имеющих в данный момент времени одинаковую температуру
3. совокупность значений температур во всех точках рассматриваемого тела в данный момент времени
4. тепловая энергия, передаваемая от одного тела к другому в течение какого-то времени

Верный ответ: 3

3. Изотермические поверхности:

Ответы:

1. не пересекаются
2. пересекаются
3. совпадают одна с другой

Верный ответ: 1

4. Тепловой поток, проходящий через трехслойную плоскую стенку, будет:

Ответы:

1. больше в два раза для 2-го слоя, чем для 3-го слоя
2. меньше в три раза для 1-го слоя, чем для 3-го слоя
3. меньше в два раза для 2-го слоя, чем для 3-го слоя
4. одинаков для 1-го, 2-го и 3-го слоев

Верный ответ: 4

5. Для математического описания нестационарного процесса теплопроводности дифференциальное уравнение необходимо дополнить условиями однозначности, в том числе граничными условиями:

Ответы:

1. I рода
2. II рода
3. III рода

Верный ответ: 3

6. При нестационарных процессах теплопроводности наиболее быстро температура изменяется:

Ответы:

1. на поверхности тела
2. в центральной плоскости тела
3. одинаково на поверхности и в центральной плоскости тела
4. в произвольных точках

Верный ответ: 1

7. Определить критерий Био для равномерно охлаждаемой бетонной плиты толщиной 0,3 м, если значения коэффициента теплопроводности для бетона составляет 1,28 Вт/(м·К). Коэффициент теплоотдачи с поверхности к воздуху принять равным 15 Вт/(м²·К).

Ответы:

$$\delta = \frac{0,3}{2} = 0,15$$

$$Bi = \frac{\alpha \cdot \delta}{\lambda} = \frac{15 \cdot 0,15}{1,27} = 1,757$$

Верный ответ: 1,757

8. По стальному (коэффициент теплопроводности 40 Вт/(м·К)) неизолированному трубопроводу диаметром 76/63 мм течет хладагент, температура которого –20°C. Температура воздуха в помещении, где проходит трубопровод, 20°C. Коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха 10 Вт/(м²·К), со стороны хладагента 1000 Вт/(м²·К). Найти линейную плотность теплового потока

Ответы:

$$q = \frac{\pi \cdot (t_1 - t_2) \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda} \right)}{\ln \dots}$$

Вт/м

Верный ответ: 94,152 Вт/м

9. По стальному паропроводу внутренним диаметром 250 мм и толщиной стенки 8 мм протекает пар с температурой 450°C. Паропровод покрыт слоем изоляции толщиной 150 мм, коэффициент теплопроводности которой 0,1 Вт/(м·К). Коэффициенты теплоотдачи со стороны пара и окружающего воздуха соответственно равны 200 Вт/(м²·К) и 16 Вт/(м²·К). Определить потери тепла на 1 пог. м паропровода и температуру наружной поверхности изоляции. Коэффициент теплопроводности стали принять равным 35 Вт/(м·К). Температура окружающего воздуха 20°C

Ответы:

$$q = \frac{\pi \cdot (t_1 - t_2) \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_1} \right)}{\ln \dots}$$

Вт/м

Верный ответ: 345,603 Вт/м

10. Определить тепловой поток через 1 м² кирпичной стены помещения толщиной 510 мм с коэффициентом теплопроводности 0,8 Вт/(м·°C). Температура воздуха внутри помещения 18 °C, коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности стенки 7,5 Вт/(м²·°C), температура наружного воздуха –30 °C, коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стены, обдуваемой ветром, 20 Вт/(м²·°C)

Ответы:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{18 - (-30)}{\frac{1}{7,5} + \frac{0,51}{0,8} + \frac{1}{20}} = 58,477 \text{ Вт/м}^2$$

Верный ответ: 58,477 Вт/м²

11. Как изменяется коэффициент теплоотдачи от нагретой горизонтальной трубы к жидкости при свободной конвекции, если уменьшится температура среды внутри трубы?

Ответы:

- а) не меняется
- б) уменьшается
- в) увеличивается
- г) характер изменения зависит от материала стенки трубы
- д) характер изменения зависит от теплофизических свойств жидкости

Верный ответ: б

12. Чем различаются между собой свободная и вынужденная конвекции?

Ответы:

- а) скоростью изменения температуры
- б) природой сил, вызывающих конвекцию
- в) ничем, это условное деление
- г) скоростью движения среды

Верный ответ: б

13. Найти тепловой поток с поверхности нагретой вертикальной трубы диаметром 51 мм и длиной 3 м, проложенной в бассейне с температурой 10 °С, температура поверхности трубы 30 °С.

Ответы:

Свойства воды при $t=20$ °С: $\nu = 1.006 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $\beta = 1.82 \cdot 10^{-4}$ 1/К; $Pr=7.02$; $\lambda = 0.599$ Вт/(м·К)

Определяющая температура: $t = \frac{10+30}{2} = 20$ °С

Число

Грасгофа

$$Gr = \frac{9.8 \cdot 1.82 \cdot 10^{-4} \cdot (30-10) \cdot 3^3}{1.006 \cdot 10^{-6}}$$

Число Рэлея $Ra = 9.523 \cdot 10^{11} \cdot 7.02 = 6.685 \cdot 10^{12} > 10^{12}$ - режим турбулентный

$$\Psi = \left(1 + \left(\frac{0.492}{7.02}\right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{1}{4}} \left(-\frac{16}{9}\right)^{\frac{1}{4}} = 0.69$$

Число

Нуссельта

$$Nu = 0.15 \cdot (6.685 \cdot 10^{12} \cdot 0.69)^{0.333} = 2.507 \cdot 10^3$$

$$\text{Коэффициент теплоотдачи } \alpha = 2.507 \cdot 10^3 \cdot \frac{0.599}{3} = \frac{500.467 \text{ Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$\text{Тепловой поток } Q = 3.14 \cdot 0.051 \cdot 3 \cdot 500.467 \cdot (30 - 10) = 4.811 \cdot 10^3 \text{ Вт}$$

Верный ответ: 4.811 кВт

14. Найти потери теплоты от наружной стены здания, если температура стены 5 °С, высота стенки 3 м, ширина стены 12 м. Температура наружного воздуха -25 °С..

Ответы:

Свойства воздуха при $t=-10$ °С: $\nu = 12.43 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $Pr=0.712$; $\lambda = 0.0236$ Вт/(м·К)

Определяющая температура: $t = \frac{5-15}{2} = -10$ °С

$$\beta = \frac{1}{-10+273} = 0.004 \text{ 1/К;}$$

Число

Грасгофа

$$Gr = \frac{9.8 \cdot 0.004 \cdot (5 - (-15)) \cdot 12^3}{12.43 \cdot 10^{-6}}$$

$$\text{Число Рэлея } Ra = 1.954 \cdot 10^{11} \cdot 0.712 = 1.391 \cdot 10^{11} < 10^{12}$$

Число Нуссельта

$$Nu = \left(0.825 + \frac{0.387 \cdot (1.391 \cdot 10^{11})^{\frac{1}{4}}}{\left(1 + \left(\frac{0.387}{1.391 \cdot 10^{11}}\right)^{\frac{1}{4}}\right)^{\frac{1}{4}}}\right)^{\frac{1}{4}}$$

$$\text{Коэффициент теплоотдачи } \alpha = 584.783 \cdot \frac{0.0236}{3} = \frac{4.6 \text{ Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$\text{Тепловой поток } Q = 12 \cdot 3 \cdot 4.6 \cdot (5 - (-15)) = 4.968 \cdot 10^3 \text{ Вт}$$

Верный ответ: 4,968 кВт

15. По трубке диаметром 20 мм движется воздух с температурой на входе 20°С. Расход воздуха $G=9$ кг/ч. Средняя температура внутренней поверхности трубки 100°С. Какую длину должна иметь трубка, чтобы температура воздуха на выходе из нее была равна 60 °С?

Ответы:

Дано	Решение
$t_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	Средняя температура воздуха
$t_2 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	$t = \frac{t_1 + t_2}{2} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$
$d = 20\text{ mm}$	Свойства воздуха при $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$
$t_c = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\nu = 16.96 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ $Pr = 0.699$ $\lambda = 0.0276 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
$G = 9 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} = 0.003 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$	$\rho = 1.128 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ $c_p = 1.005 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Найти l – ?	$\beta = \frac{1}{t} = 0.003 \frac{1}{\text{K}}$
Скорость воздуха	$w = \frac{4 \cdot G}{\rho \cdot \pi \cdot d^2} = 7.055 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Число Рейнольдса	$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = 8.319 \cdot 10^3$ $Re > 4 \cdot 10^3$ режим турбулентный
Число Нуссельта	$Nu = 0.021 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.43} = 24.627$
Коэффициент теплоотдачи	$\alpha = Nu \cdot \frac{\lambda}{d} = 33.985 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$
Тепловой поток	$Q = G \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1) = 100.5 \text{ W}$
Поверхность теплообмена	$F = \frac{Q}{\alpha \cdot (t_c - t)} = 0.049 \text{ m}^2$
Длина трубы	$l = \frac{F}{\pi \cdot d} = 0.784 \text{ m}$

Верный ответ: 0,784 м

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

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

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

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

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

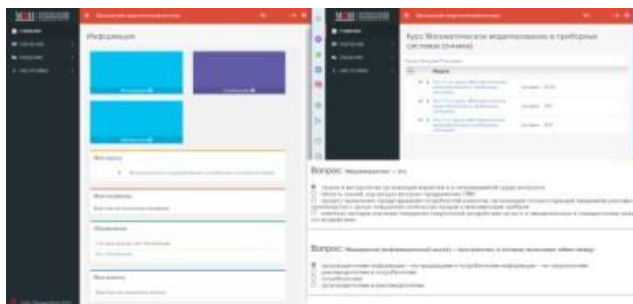
Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».

8 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

Вид билета связан с интерфейсом сервиса "Прометей"



Процедура проведения

В тесте 20 вопросов встречаются вопросы следующих типов:

1. с одним вариантом ответа (в вопросах «один из многих», система сравнивает ответ слушателя с правильным ответом и автоматически выставляет за него назначенный балл)
2. с выбором нескольких вариантов ответов (в вопросах «многие из многих» система оценивает каждый ответ отдельно; есть возможность разрешить слушателю получить за вопрос 0,75 балла, если он выберет 3 правильных ответа из 4)
3. на соответствие слушатель должен привести в соответствие левую и правую часть ответа (в вопросах «соответствие» система оценивает каждый ответ отдельно; можно разрешить слушателю получить за вопрос 0,75 балла, если он выберет 3 правильных ответа из 4)
4. развернутый ответ, вводится в ручную в специально отведенное поле (ручная оценка преподавателем)

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

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

Вопросы, задания

1. Определите средний температурный напор при противоточном движении теплоносителей в теплообменнике. Температура греющего теплоносителя меняется от 450 °С до 380 °С, температура нагреваемого теплоносителя меняется от 20 °С до 260 °С.
2. Определить поверхность теплообмена теплообменника тепловой мощностью 2,5 кВт, если средний температурный напор равен 160 °С, а коэффициент теплопередачи 42 Вт/(м²·К)
3. Расчет среднелогарифмического температурного напора в рекуперативных теплообменниках
4. Эффективным потоком излучения называют:
 1. поток излучения АЧТ;
 2. разность между потоками падающего и поглощённого излучения плюс поток собственного излучения;
 3. сумму потоков результирующего и отраженного излучения;
 4. поток излучения, испускаемого телом в пространство
5. Отметьте правильные определения:
 1. интегральный поток излучения поверхности тела зависит от природы тела, температуры его поверхности и длины волны излучения;
 2. для диффузной поверхности плотность потока излучения в π раз больше интенсивности её излучения;
 3. абсолютно чёрное тело поглощает всё излучение, а само не излучает;
 4. поверхность твердого тела излучает в пространственный угол 2π;

5. если закон Кирхгофа выполняется для спектральных лучистых характеристик тела, то он справедлив и для интегральных
6. Две близко расположенные друг к другу пластины с температурами $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ и степенью черноты соответственно 0,15 и 0,9 обмениваются лучистой энергией. Определить: плотность результирующего теплового потока между пластинами.
7. Найти плотность результирующего теплового потока между двумя коаксиальными цилиндрами. Температура, диаметр и степень черноты внутреннего цилиндра, соответственно: $440\text{ }^{\circ}\text{C}$, 50 мм, 0,8. Температура, диаметр и степень черноты наружного цилиндра, соответственно: $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, 200 мм, 0,4.
8. Частота генерации паровых пузырей при прочих равных условиях...
1. растёт с ростом комплекса $\lambda \times \rho \times C_p$ поверхности нагрева,
 2. Падает с ростом комплекса $\lambda \times \rho \times C_p$ поверхности нагрева,
 3. Не зависит от теплоёмкости, но зависит от теплопроводности и плотности материала поверхности нагрева,
 4. Не зависит от свойств материала поверхности нагрева,
 5. Зависит от комплекса $\lambda/(\rho \times C_p)$.
9. В условиях бассейнового кипения коэффициент теплоотдачи (КТО) зависит от температурного напора $\alpha \sim \Delta t_n$. Выберите правильные значения показателя степени n для зоны подогрева жидкости до температуры насыщения в условиях ламинарной свободной конвекции:
- 0,5
-0,25
0
0,25
0,5
10. Выберите правильные предложения:
1. Число Рейнольдса плёнки конденсата является основным режимным параметром процесса конденсации,
 2. При ламинарном стекании плёнки конденсата локальный КТО уменьшается с координатой, а при турбулентном её течении - возрастает,
 3. КТО при плёночной конденсации увеличивается с ростом температурного напора,
 4. КТО при плёночной конденсации не зависит от температурного напора,
 5. Скорость конденсации $w_{пл}$ определяется как отношение плотности теплового потока q к произведению плотности паровой фазы на теплоту парообразования $r \cdot \rho''$,
 6. Критическое значение числа Рейнольдса плёнки конденсата равно 2300.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Что называется результирующим потоком излучения?
 Ответы:
 1. Разность между поглощённым и собственным потоком излучения.
 2. Разность между поглощённым и отражённым потоком излучения.
 3. Сумма собственного и отражённого потока излучения.
 4. Сумма падающего и эффективного потока
 Верный ответ: 1
2. Какая формула определяет плотность потока эффективного излучения?
 Ответы:
 1. $E = E_{погл} - E_{соб}$
 2. $E = E_{соб} + R \cdot E_{пад}$
 3. $E = R \cdot E_{пад}$
 4. $E = \{A(E)\}_0 - E_{пад}$
 Верный ответ: 2
3. Что называется плотностью потока излучения?

Ответы:

1. Отношение потока излучения, испускаемого в бесконечно малом интервале длин волн, к величине этого интервала длин волн.
2. Поток излучения, проходящий через единицу поверхности.
3. Поток излучения, проходящийся на единицу телесного угла.

Верный ответ: 2

4. Металлическая поверхность нагрета до температуры $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ и имеет коэффициент излучения $3,6\text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{K}^4)$. Найти плотность потока собственного излучения на поверхности

Ответы:

1. $22,96\text{ кВт}$
2. $68,2\text{ кВт}/\text{м}^2$
3. $130,2\text{ кВт}/\text{м}^2$
4. $6,63 \times 10^{-9}\text{ кВт}/\text{м}^2$

Верный ответ: 2

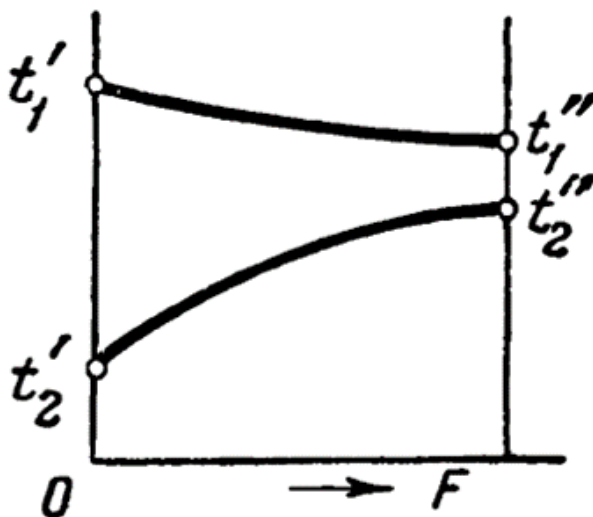
5. Определить потери теплоты в час за счет лучеиспускания стального паропровода с коэффициентом излучения $0,45$. Наружный диаметр паропровода 150 мм , длина 200 м , температура наружной поверхности трубопровода $160\text{ }^{\circ}\text{C}$. Степень черноты стали принять $0,8$.

Ответы:

1. $2,802\text{ кВт}$;
2. 2802 кВт ;
3. $26,54\text{ кВт}$;
4. $150,5\text{ кВт}$

Верный ответ: 4

6. Укажите, какая из схем движения теплоносителей показана на графике:



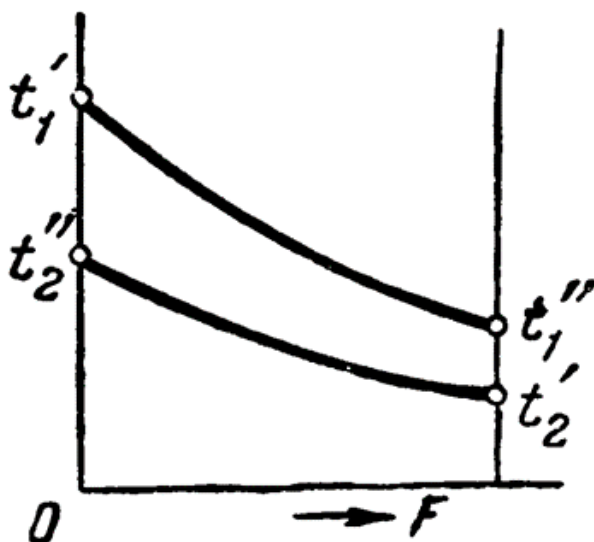
Ответы:

1. Прямоток. $C_1 = C_2$
2. Прямоток. $C_1 > C_2$
3. Прямоток. $C_1 < C_2$
4. Противоток. $C_1 = C_2$
5. Противоток. $C_1 > C_2$
6. Противоток. $C_1 < C_2$

Здесь C – полная расходная теплоемкость, $\text{Вт}/\text{K}$

Верный ответ: 2

7. Укажите, какая из схем движения теплоносителей показана на графике



Ответы:

1. Прямоток. $C_1 = C_2$
2. Прямоток. $C_1 > C_2$
3. Прямоток. $C_1 < C_2$
4. Противоток. $C_1 = C_2$
5. Противоток. $C_1 > C_2$
6. Противоток. $C_1 < C_2$

Здесь C – полная расходная теплоемкость, Вт/К

Верный ответ: 6

8. Определить тепловую мощность рекуперативного газозоудушного теплообменника при прямоточной схеме движения теплоносителей, если поверхность теплообмена равна 35 м², если средний коэффициент теплопередачи от продуктов сгорания к воздуху 20 Вт/(м²К), начальные и конечные температуры воздуха соответственно равны 10 °С; 290 °С; начальные и конечные температуры продуктов сгорания соответственно равны 590 °С; 380 °С

Ответы:

$$\begin{aligned} \Delta t_{\delta} &:= t_{21} - t_{81} = 580 \text{ K} & \Delta t_M &:= t_{22} - t_{82} = 90 \text{ K} \\ \Delta t_{cp} &:= \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_M}{\ln \left(\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_M} \right)} = 262.986 \text{ K} \\ Q &:= K \cdot F \cdot \Delta t_{cp} = (1.841 \cdot 10^5) \text{ W} \end{aligned}$$

Верный ответ: 184,1 кВт

9. Определить конечную температуру греющей воды на выходе из водо-водяного теплообменника, если ее расход 2 кг/с, а начальная температура равна 110 °С. Расход холодной воды 1,5 кг/с, начальные и конечные температуры холодной воды соответственно равны 15 °С; 85 °С

Ответы:

$$t_2 := \frac{t'_2 + t''_2}{2} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$c_p := 4.174 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$Q := G_2 \cdot c_p \cdot (t''_2 - t'_2) = (4.383 \cdot 10^5) \text{ W}$$

$$t''_1 := t'_1 - \frac{Q}{G_1 \cdot c_p} = 57.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Верный ответ: 57.5

10. Как называется тонкий слой жидкости вблизи поверхности тела, в котором происходит изменение скорости жидкости от значения скорости невозмущенного потока вдали от стенки до нуля, непосредственно на стенке:

Ответы:

1. тепловым пограничным слоем
2. гидродинамическим пограничным слоем
3. ламинарным подслоем турбулентного пограничного слоя
4. турбулентным подслоем ламинарного пограничного слоя

Верный ответ: 2

11. Определить тепловую нагрузку при кипении воды, если температура стенки 110 °С. Давление воды 0,101 МПа.

Ответы:

Дано	$p := 0.101$	$t_c := 110 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Решение		
1. Температура насыщения воды	$t_s := 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$	
2. Перепад температур		
	$\Delta t := (t_c - t_s) = 10 \text{ K}$	
3. Плотность теплового потока		
	$q := \left(\frac{3.4 \cdot (p \cdot 10)^{0.18}}{1 - 0.0045 \cdot p \cdot 10} \cdot \Delta t \right)^3 = (4.006 \cdot 10^4) \frac{\text{s}^3 \cdot \text{K}^3}{\text{kg}} \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$	

Верный ответ: 40.06 кВт/м²

12. На наружной поверхности горизонтальной трубки диаметром 20 мм конденсируется сухой насыщенный водный пар при давлении 0,01233 МПа. Температура стенки 20 °С. Определить коэффициент теплоотдачи

Ответы:

Дано	Решение
$d := 20 \text{ mm}$	Температура насыщения при $p = 0,015 \text{ МПа}$
$p := 0.01233 \text{ МПа}$	$t_s := 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$
$t_c := 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Свойства воды при $t = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$
$\nu := 0.556 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$	$\rho := 988.1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
	$\lambda := 0.648 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
	$\rho_f := 0.08303 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
$r := 2382 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	
$\alpha := 0.728 \cdot \left(\frac{\lambda^3 \cdot r \cdot (\rho - \rho_f) \cdot 9.81}{\nu \cdot (t_s - t_c) \cdot 0.02} \right)^{0.25}$	$= (8.528 \cdot 10^3) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$

Верный ответ: 8.528 кВт/(м²*К)

13.Ниже приведена формула для вычисления коэффициента теплоотдачи (КТО).Определите соответствие между формулой и её описанием

$$Re = 3.8 \cdot Z^{0.78}$$

Ответы:

1. Средний КТО при конденсации на вертикальной поверхности. Течение турбулентно-волновое.
2. Средний КТО при конденсации на вертикальной поверхности. Течение ламинарно-волновое.
3. Средний КТО при конденсации на вертикальной поверхности. Течение смешанное, с учётом переменности свойств.
4. Средний КТО при вынужденной конвекции вдоль вертикальной поверхности. Течение турбулентное.

Верный ответ: 2

14.Ниже приведена формула для вычисления коэффициента теплоотдачи (КТО).Определите соответствие между формулой и её описанием

$$Re = \left[253 + 0.069 \cdot Pr^{0.5} \cdot \epsilon_{\text{f}} \cdot (Z - 2300) \right]^{\frac{4}{3}}$$

Ответы:

1. Средний КТО при плёночной конденсации на вертикальной поверхности. Течение турбулентно-волновое.
2. Средний КТО при капельной конденсации на вертикальной поверхности. Течение ламинарно-волновое.
3. Средний КТО при плёночной конденсации на вертикальной поверхности. Течение смешанное, с учётом переменности свойств.
4. Средний КТО при вынужденной конвекции в круглой трубе. Течение ламинарное.

Верный ответ: 3

15.Ниже приведена формула для вычисления коэффициента теплоотдачи (КТО).Определите соответствие между формулой и её описанием

$$\alpha(x) := \sqrt[4]{\frac{\chi'^3 \cdot r \cdot \rho' \cdot \Delta \rho \cdot g}{4 \cdot \Delta t \cdot \mu' \cdot x}}$$

Ответы:

1. Формула Нуссельта для плёночной конденсации на вертикальной поверхности. Течение ламинарное.
2. Формула для плёночной конденсации на вертикальной поверхности. Течение ламинарно-волновое.
3. Формула для плёночной конденсации на вертикальной поверхности. Течение турбулентно-волновое.
4. Формула Нуссельта для плёночной конденсации на горизонтальной трубе.

Верный ответ: 1

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

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

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

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

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».