

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»



УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета машиностроения
и аэрокосмической техники

В.И. Рязских

«31» августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Тепломассообмен»

Направление подготовки 21.03.01 Нефтегазовое дело

Профиль Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 5 лет

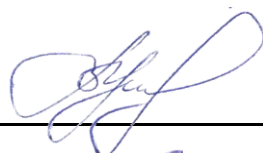
Форма обучения очная / очно-заочная

Год начала подготовки 2021

Автор программы

 /Чуйкин С.В./

И.о. заведующего кафедрой
теплогазоснабжения и
нефтегазового дела

 / Тульская С.Г./

Руководитель ОПОП

 / Валюхов С.Г./

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Целью дисциплины является овладение студентами знаний в области тепломассообмена, создание фундамента для усвоения профилирующих дисциплин направления подготовки, развитие навыков и умения творческого использования основных закономерностей тепломассообмена при решении конкретных задач в области теплоэнергетики, теплогазоснабжения, нефтегазового дела.

1.2. Задачи освоения дисциплины

В процессе изучения курса тепломассообмена у студентов должно сложиться представление о механизме как раздельного теплообмена и массообмена, так и совместного тепломассопереноса.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Тепломассообмен» относится к дисциплинам обязательной части блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Тепломассообмен» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1 - Способен решать задачи, относящиеся к профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общетехнические знания

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	знать современные методы моделирования, математический анализ, естественнонаучные и общетехнические знания для решения задач профессиональной деятельности
	уметь использовать современные образовательные технологии математического анализа для решения задач профессиональной деятельности
	владеть современными методами получения новых знаний в области использования методов моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общетехнические знания для решения задач профессиональной деятельности

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Тепломассообмен» составляет 6 з.е.
Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		4
Аудиторные занятия (всего)	90	90
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	36	36
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
Самостоятельная работа	99	99
Курсовая работа	+	+
Часы на контроль	27	27
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	216	216
зач.ед.	6	6

очно-заочная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
Аудиторные занятия (всего)	54	54
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
Самостоятельная работа	117	117
Курсовая работа	+	+
Часы на контроль	45	45
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	216	216
зач.ед.	6	6

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Введение в тепломассообмен	Способы переноса теплоты. Теплопроводность, конвекция, тепловое излучение. Совместные процессы.	6	6	4	16	32
2	Теплопроводность при стационарном и нестационарном режимах	Стационарное температурное поле. Температурный градиент. Закон Фурье. Критерии при нестационарном режиме. Безразмерная температура. Нестационарное температурное поле.	6	6	4	16	32
3	Конвективный теплообмен в однородной среде	Конвекция. Теплоотдача. Уравнение Ньютона.	6	6	4	16	32

4	Теплообмен при кипении и конденсации	Пузырьковое и пленочное кипение. Температура точки росы. Конденсация.	6	6	2	16	30
5	Теплообмен излучением. Теплообмен при естественной конвекции	Электромагнитные волны. Двойное преобразование тепла. Степень черноты. Естественная конвекция. Свободное течение. Критерий Грасгофа.	6	6	2	18	32
6	Теплопередача. Теплообменные аппараты	Сложные процессы. Коэффициент теплопередачи. Уравнение теплопередачи. Уравнение теплового баланса. Воздухоподогреватели и водяные экономайзеры. Прямоток и противоток. Характеристика теплообменников. Основные типы теплообменных аппаратов.	6	6	2	17	31
Итого			36	36	18	99	189

очно-заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Введение в тепломассообмен	Способы переноса теплоты. Теплопроводность, конвекция, тепловое излучение. Совместные процессы.	4	2	4	18	28
2	Теплопроводность при стационарном и нестационарном режимах	Стационарное температурное поле. Температурный градиент. Закон Фурье. Критерии при нестационарном режиме. Безразмерная температура. Нестационарное температурное поле.	4	2	4	20	30
3	Конвективный теплообмен в однородной среде	Конвекция. Теплоотдача. Уравнение Ньютона.	4	2	4	20	30
4	Теплообмен при кипении и конденсации	Пузырьковое и пленочное кипение. Температура точки росы. Конденсация.	2	4	2	20	28
5	Теплообмен излучением. Теплообмен при естественной конвекции	Электромагнитные волны. Двойное преобразование тепла. Степень черноты. Естественная конвекция. Свободное течение. Критерий Грасгофа.	2	4	2	20	28
6	Теплопередача. Теплообменные аппараты	Сложные процессы. Коэффициент теплопередачи. Уравнение теплопередачи. Уравнение теплового баланса. Воздухоподогреватели и водяные экономайзеры. Прямоток и противоток. Характеристика теплообменников. Основные типы теплообменных аппаратов.	2	4	2	19	27
Итого			18	18	18	117	171

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Определение коэффициента теплопроводности изоляционного материала методом цилиндра
2. Определение теплоотдачи горизонтальной трубы при естественной конвекции.
3. Определение коэффициента теплопередачи в водо-водяном водо-воздушном) теплообменнике.
4. Определение степени черноты поверхности металла методом сравнения.
5. Измерение температуры различными термометрическим приборами.

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсовой работы в 4 семестре для очной формы обучения.

Примерная тематика курсовой работы: «Расчет процессов стационарной теплопроводности»; «Расчет процессов нестационарной теплопроводности»; «Расчет теплообменного аппарата»; «Расчет процессов конвективного теплообмена»; «Расчет тепловых процессов при излучении».

Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы заключаются в:

- расчете стационарных и нестационарных процессов теплопроводности через цилиндрические и плоские многослойные стенки;
 - выполнении типового расчет теплообменного аппарата;
 - расчет процессов конвективного теплообмена;
 - решение критериальных уравнений конвективного теплообмена;
- Курсовая работа включает в себя расчетно-пояснительную записку.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-1	знать современные методы моделирования, математический анализ, естественнонаучные и общинженерные знания для решения задач профессиональной деятельности	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь уметь использовать современные образовательные технологии математического	Решение стандартных практических задач.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	анализа для решения задач профессиональной деятельности			
	владеть современными методами получения новых знаний в области использования методов моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общинженерные знаний для решения задач профессиональной деятельности	Решение прикладных задач в конкретной предметной области.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 4 семестре для очной формы обучения, 5 семестре для очно-заочной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ОПК-1	знать современные методы моделирования, математический анализ, естественнонаучные и общинженерные знания для решения задач профессиональной деятельности	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь использовать современные образовательные технологии математического анализа для решения задач профессиональной деятельности	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть современными	Решение прикладных	Задачи решены в	Продемонстрирован	Продемонстрирован верный	Задачи не решены

	методами получения новых знаний в области использования методов моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общинженерные знаний для решения задач профессиональной деятельности	задач в конкретной предметной области	полном объеме и получены верные ответы	верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	ход решения в большинстве задач	
--	---	---------------------------------------	--	---	---------------------------------	--

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

Выберите правильный вариант (вес вопроса – 1 балл):

1. Теплопроводность – это:

- а) процесс распространения тепловой энергии при непосредственном соприкосновении отдельных частиц тела, имеющих разные температуры;
- б) перенос тепловой энергии при перемещении объёмов жидкости или газа;
- в) распространение тепловой энергии с помощью электромагнитных волн;
- г) передача теплоты от горячей жидкости к холодной через разделяющую их стенку.

2. Единицы измерения коэффициента теплопроводности:

- а) Вт/ м град;
- б) м °С/ Вт²;
- в) м/ Вт;
- г) м/ °С.

3. Одинаковые единицы измерения имеют следующие коэффициенты:

- а) теплопроводности и теплоотдачи;
- б) теплоотдачи и теплопередачи;
- в) теплопроводности и теплопередачи;
- г) температуропроводности и теплопередачи.

4. Процессы нестационарной теплопроводности характеризует критерий:

- а) Нуссельта;
- б) Фурье;
- в) Грасгофа;
- г) Прандтля.

5. При поглощении электромагнитных волн другими телами они превращаются:

- а) в солнечную энергию;
- б) в тепловую энергию;
- в) в лучистую энергию;

г) ни во что не превращаются.

6. График распределения температур для цилиндрической стенки представляет собой:

- а) логарифмическую кривую;
- б) прямую линию;
- в) гиперболу;
- г) экспоненту.

7. Термоэлектрический пирометр состоит из:

- а) потенциометра;
- б) термопар и потенциометра;
- в) холодного спая;
- г) горячего спая.

8. Если горячая и холодная жидкости в теплообменном аппарате движутся параллельно и в одном направлении, то такая схема движения теплоносителей называется:

- а) противоток;
- б) перекрестный ток;
- в) прямоток;
- г) параллельный ток.

9. Процесс теплопередачи через стенку включает в себя:

- а) теплоотдачу от греющей среды к стенке;
- б) теплоотдачу от греющей среды к стенке и теплопроводность через стенку;
- в) теплоотдачу от греющей среды к стенке, теплопроводность через стенку и теплоотдачу от стенки к нагреваемой среде;
- г) теплопроводность через стенку и теплоотдачу от стенки к нагреваемой среде.

10. Возрастание температуры по нормали характеризуется:

- а) вектором температуры;
- б) градиентом температуры;
- в) единичным вектором;
- г) проекцией вектора на ось.

11. При одинаковых условиях коэффициент теплоотдачи от труб шахматного пучка:

- а) меньше, чем от труб коридорного пучка;
- б) больше, чем от труб коридорного пучка;
- в) на порядок меньше, чем от труб коридорного пучка;
- г) равен коэффициенту теплоотдачи от труб коридорного пучка.

12. Нестационарными процессами теплопроводности называют такие процессы, когда:

- а) температура во времени не меняется;
- б) с течением времени температура изменяется;
- в) давление с течением времени не меняется;
- г) относительная влажность с течением времени изменяется.

13. При ламинарном течении перенос теплоты осуществляется путем:

- а) теплопроводности;

- б) теплоотдачи;
- в) теплопередачи;
- г) конвекции.

14. 1 Ватт численно равен:

- а) 1 Дж/с;
- б) 10 Дж/с;
- в) 100 Дж/с;
- г) 1000 Дж/с.

15. Абсолютно черные тела – это тела, способные:

- а) поглощать полностью тепловые лучи;
- б) отражать тепловые лучи;
- в) излучать энергию.

16. Материал с каким коэффициентом теплопроводности является теплоизоляционным:

- а) 0,15 Вт/м град;
- б) 10 Вт/м град;
- в) 40 Вт/м град;
- г) 100 Вт/м град.

17. Коэффициент теплопередачи имеет большее значение при:

- а) прямотоке;
- б) противотоке;
- в) перекрестном токе;
- г) не зависит от схемы движения.

18. Поверхность, необходимая для передачи теплового потока Q от горячего теплоносителя к холодному, определяется из:

- а) уравнения Ньютона-Рихмана;
- б) уравнения теплового баланса;
- в) уравнения Фурье;
- г) уравнения теплопередачи.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Определить термическое сопротивление теплопроводности R_t и толщину δ плоской однослойной стенки, если при разности температур ее поверхностей через нее проходит стационарный тепловой поток плотностью $q=3$ кВт/м². Коэффициент теплопроводности стенки $\lambda=2$ Вт/(м·К).

- а) $R_t=0,025$ (м²К)/Вт; $\delta=0,05$ м.
- б) $R_t=0,25$ (м²К)/Вт; $\delta=0,05$ м.
- в) $R_t=0,025$ (м²К)/Вт; $\delta=0,15$ м.
- г) $R_t=0,06$ (м²К)/Вт; $\delta=0,03$ м.

2. Плоская стенка толщиной $\delta=50$ мм с коэффициентом теплопроводности $\lambda=2$ Вт/(м·К) пропускает стационарный тепловой поток, имеющий поверхностную плотность $q=3$ кВт/м². Температура тепловоспринимающей поверхности стенки $T_{w1}=100$ °С. Определить термическое сопротивление теплопроводности стенки R_t и температуру теплоотдающей поверхности T_{w2} .

- а) $R_t=0,025$ (м²К)/Вт; $T_{w2}=25$ °С.

- б) $R_t = 0,225 \text{ (м}^2\text{К)/Вт}$; $T_{w2} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$.
 в) $R_t = 0,005 \text{ (м}^2\text{К)/Вт}$; $T_{w2} = 105 \text{ }^\circ\text{C}$.
 г) $R_t = 0,069 \text{ (м}^2\text{К)/Вт}$; $T_{w2} = 2 \text{ }^\circ\text{C}$.
3. Плоская стенка состоит из трёх слоев толщиной $\delta_1=100 \text{ мм}$, $\delta_2=80 \text{ мм}$ и $\delta_3=50 \text{ мм}$, коэффициенты теплопроводности слоев соответственно равны $\lambda_1=2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, $\lambda_2=8 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ и $\lambda_3=10 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Второй слой имеет температуры поверхностей $T_{1-2}=120 \text{ }^\circ\text{C}$ и $T_{2-3}=45 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить температуры наружных поверхностей T_{w1} и T_{w2} .
- а) $T_{w1}=495 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_{w2}=7,5 \text{ }^\circ\text{C}$.
 б) $T_{w1}=795 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_{w2}=7,5 \text{ }^\circ\text{C}$.
 в) $T_{w1}=795 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_{w2}=10,5 \text{ }^\circ\text{C}$.
 г) $T_{w1}=495 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_{w2}=10,5 \text{ }^\circ\text{C}$.
4. Нагреватель, выполненный из трубки диаметром $d=25 \text{ мм}$ и длиной $l=0,5 \text{ м}$, погружен вертикально в бак с водой, имеющей температуру $T_y=20 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить количество теплоты, передаваемое нагревателем в единицу времени, считая температуру его поверхности постоянной по всей длине и равной $T_w=55,5 \text{ }^\circ\text{C}$.
- а) $Q=1231 \text{ Вт}$.
 б) $Q=1931 \text{ Вт}$.
 в) $Q=231 \text{ Вт}$.
 г) $Q=2500 \text{ Вт}$.
5. По трубе $d=60 \text{ мм}$ протекает воздух со скоростью $w=5 \text{ м/с}$. Определить значение среднего коэффициента теплоотдачи, если средняя температура воздуха $T_f=100 \text{ }^\circ\text{C}$.
- а) $\alpha=18,8 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$.
 б) $\alpha=38,8 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$.
 в) $\alpha=8,8 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$.
 г) $\alpha=28,8 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$.
6. На наружной поверхности горизонтальной трубы диаметром $d = 20 \text{ мм}$ и длиной $l=2 \text{ м}$ конденсируется сухой насыщенный водяной пар при давлении $p_n=1,013 \cdot 10^5$. Температура поверхности трубы $T_w=94,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить средний коэффициент теплоотдачи от пара к трубе и количество пара G , которое конденсируется на поверхности трубы.
- а) $\alpha=15550 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$, $G=4,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$.
 б) $\alpha=17550 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$, $G=41,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$.
 в) $\alpha=1550 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$, $G=28,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$.
 г) $\alpha=10550 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$, $G=2,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$.
7. Определить коэффициент теплоотдачи и температуру поверхности нагрева при пузырьковом режиме кипения в большом объеме. Давление воды 1 МПа , а плотность теплового потока $q=0,4 \text{ МВт/м}^2$.
- а) $\alpha=35300 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$, $T_w=191,2 \text{ }^\circ\text{C}$.
 б) $\alpha=55300 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$, $T_w=199,2 \text{ }^\circ\text{C}$.
 в) $\alpha=30000 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$, $T_w=91,2 \text{ }^\circ\text{C}$.
 г) $\alpha=35900 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$, $T_w=194,2 \text{ }^\circ\text{C}$.
8. На горизонтальной трубе диаметром 20 мм происходит пленочное

кипение воды при давлении 0,27 МПа. Температура поверхности 140 °С. Рассчитать коэффициент теплоотдачи от стенки к воде.

а) $q=974 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$.

б) $q=2974 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$.

в) $q=3974 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$.

г) $q=1974 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$.

9. Определить приведенную степень черноты системы, состоящей из двух труб, если одна труба с наружным диаметром $d_1=80 \text{ мм}$ находится внутри другой с внутренним диаметром $d_2=200 \text{ мм}$. Степень черноты труб одинакова и равна 0,65.

а) $\epsilon_{пр}=0,570$.

б) $\epsilon_{пр}=0,500$.

в) $\epsilon_{пр}=0,510$.

г) $\epsilon_{пр}=0,675$.

10. Определить плотность результирующего теплового потока при теплообмене излучением двух плоских поверхностей, если температура одной поверхности 800 °С, ее степень черноты 0,8 и температура другой поверхности 600 °С, а её степень черноты 0,4.

а) $q_{w2}=15354,7 \text{ Вт/м}^2$.

б) $q_{w2}=1554,5 \text{ Вт/м}^2$.

в) $q_{w2}=25354,0 \text{ Вт/м}^2$.

г) $q_{w2}=15379,2 \text{ Вт/м}^2$.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Обмуровка печи состоит из слоев шамотного и красного кирпича, между которыми расположена засыпка. Толщина шамотного слоя 120 мм, засыпки 50 мм, красного кирпича 250 мм. Коэффициенты теплопроводности материалов соответственно равны: 0,93 Вт/(м·°С); 0,13 Вт/(м·°С); 0,7 Вт/(м·°С).

Какой толщины следует сделать слой из красного кирпича, если отказаться от применения засыпки, чтобы тепловой поток через обмуровку остался неизменным?

а) 500 мм.

б) 1500 мм.

в) 250 мм.

г) 750 мм.

2. Стальной трубопровод диаметром $d_1/d_2 = 100/110 \text{ мм}$ с коэффициентом теплопроводности $\lambda_1 = 50 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{С)}$ покрыт изоляцией в два слоя одинаковой толщины 50 мм. Температура внутренней поверхности трубы 250 °С, наружной поверхности изоляции 50 °С. Коэффициентом теплопроводности первого слоя изоляции 0,06 Вт/(м·°С), второго слоя изоляции 0,12 Вт/(м·°С). Определить потери теплоты с 1 м трубопровода и температуру на границе соприкасающихся слоев изоляции.

а) $q_l = 89,5 \text{ Вт/м}$; $t_{c3} = 97 \text{ }^\circ\text{С}$.

б) $q_l = 79,5 \text{ Вт/м}$; $t_{c3} = 107 \text{ }^\circ\text{С}$.

в) $q_l = 79,5 \text{ Вт/м}$; $t_{c3} = 97 \text{ }^\circ\text{С}$.

г) $q_l = 89,5 \text{ Вт/м}$; $t_{c3} = 107 \text{ }^\circ\text{C}$.

3. Определить тепловой поток через 1 м^2 стены помещения, состоящей из кирпича и изоляции, с толщиной слоя кирпича 510 мм и толщиной слоя изоляции 50 мм , с коэффициентами теплопроводности соответственно $0,8 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$, $0,08 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$. Температура внутреннего воздуха $18 \text{ }^\circ\text{C}$, коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности $7,5 \text{ Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)}$, температура наружного воздуха $-30 \text{ }^\circ\text{C}$, коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности $20 \text{ Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)}$. Вычислить также температуры на поверхностях стены (t_{c1} и t_{c3}).

а) $q = 33,2 \text{ Вт/м}^2$; $t_{c1} = 13,6 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{c3} = -28,3 \text{ }^\circ\text{C}$.

б) $q = 33,8 \text{ Вт/м}^2$; $t_{c1} = 18,6 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{c3} = -28,3 \text{ }^\circ\text{C}$.

в) $q = 39,5 \text{ Вт/м}^2$; $t_{c1} = 15,6 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{c3} = -39,3 \text{ }^\circ\text{C}$.

г) $q = 40,1 \text{ Вт/м}^2$; $t_{c1} = 17,6 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{c3} = -39,3 \text{ }^\circ\text{C}$.

4. Определить потерю теплоты через кирпичную стенку длиной 5 м , высотой 4 м и толщиной 250 мм , если температуры на поверхностях стенки $110 \text{ }^\circ\text{C}$ и $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Коэффициент теплопроводности $0,7 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$. Как должна измениться температура наружной стенки при ее покрытии изоляцией толщиной 25 мм и коэффициентом теплопроводности $0,13 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$, если потери теплоты остаются прежними?

а) $Q = 3920 \text{ Вт}$.

б) $Q = 3500 \text{ Вт}$.

в) $Q = 4500 \text{ Вт}$.

г) $Q = 7000 \text{ Вт}$.

5. Стальной брусок нагревается в электропечи. Температура внутренней поверхности печи $800 \text{ }^\circ\text{C}$, степень черноты $0,82$. Температура поверхности бруска $350 \text{ }^\circ\text{C}$, степень черноты $0,65$. Заготовка лежит на поду печи. Площадь излучающей поверхности бруска меньше площади излучающей поверхности печи в 4 раза. Определить плотность результирующего лучистого потока от стенок печи на поверхность бруска.

а) $q = 41810 \text{ Вт/м}^2$.

б) $q = 49810 \text{ Вт/м}^2$.

в) $q = 52810 \text{ Вт/м}^2$.

г) $q = 68810 \text{ Вт/м}^2$.

6. На наружной поверхности вертикальной трубы диаметром 20 мм и высотой $H = 2 \text{ м}$ конденсируется сухой насыщенный водяной пар при давлении $p_n = 1,98 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Температура поверхности трубы $T_w = 115 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить средний по высоте коэффициент теплоотдачи от пара к трубе и количество пара G , кг/ч, которое конденсируется на поверхности трубы.

а) $\alpha = 6740 \text{ Вт/(м}^2\text{K)}$, $G = 7 \text{ кг/ч}$.

б) $\alpha = 6000 \text{ Вт/(м}^2\text{K)}$, $G = 8 \text{ кг/ч}$.

в) $\alpha = 7740 \text{ Вт/(м}^2\text{K)}$, $G = 9 \text{ кг/ч}$.

г) $\alpha = 7000 \text{ Вт/(м}^2\text{K)}$, $G = 10 \text{ кг/ч}$.

7. Стены сушильной камеры выполнены из слоя красного кирпича толщиной $\delta_1 = 250 \text{ мм}$ и слоя строительного войлока. Температура на внутренней поверхности кирпичного слоя $T_{w1} = 130 \text{ }^\circ\text{C}$, а на внешней

поверхности войлочного слоя $T_{w2}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Коэффициент теплопроводности красного кирпича $0,7\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ и строительного войлока $0,0465\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Вычислить температуру в плоскости соприкосновения слоев T1-2 и толщину войлочного слоя при условии, что тепловые потери через 1 м^2 стенки камеры равны $q=130\text{ Вт/м}^2$.

- а) $T_{1-2}=83,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\delta=15,6\text{ мм}$.
- б) $T_{1-2}=103,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\delta=17,6\text{ мм}$.
- в) $T_{1-2}=95,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\delta=18,6\text{ мм}$.
- г) $T_{1-2}=73,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\delta=16,6\text{ мм}$.

8. В трубчатом пароводяном теплообменнике сухой насыщенный пар с давлением $p=3,61\cdot 10^5\text{ Па}$ конденсируется на внешней поверхности труб. Вода, движущаяся по трубам, нагревается от $t'_2=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t''_2=90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определить среднелогарифмический температурный напор в этом теплообменнике и расход пара, если расход воды $G_2=3\text{ кг/с}$.

- а) $G_1=0,45\text{ кг/с}$, $\Delta t=69,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- б) $G_1=0,65\text{ кг/с}$, $\Delta t=79,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- в) $G_1=0,55\text{ кг/с}$, $\Delta t=99,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- г) $G_1=0,75\text{ кг/с}$, $\Delta t=89,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

9. Определить среднюю разность температур, площадь поверхности нагрева и расходные теплоспособности обоих теплоносителей в противоточном рекуперативном теплообменнике, если горячий теплоноситель (масло МК) имеет на входе температуру $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, на выходе $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, холодный (воздух) имеет температуру на входе $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, а на выходе $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тепловой поток, передаваемый в теплообменнике, $0,2\text{ МВт}$. Коэффициент теплопередачи $70\text{ Вт/(м}^2\text{К)}$.

- а) $W_2=4000\text{ Вт/К}$, $\Delta t=12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- б) $W_2=5000\text{ Вт/К}$, $\Delta t=11,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- в) $W_2=4500\text{ Вт/К}$, $\Delta t=12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- г) $W_2=5500\text{ Вт/К}$, $\Delta t=11,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

10. В испарителе кипит вода при давлении $p_2=1\text{ бар}$. Греющий пар при давлении $p_1=20\text{ бар}$ конденсируется и удаляется при температуре насыщения. Расход воды $G_2=0,2\text{ кг/с}$. Определить расход греющего пара.

- а) $G_1=0,24\text{ кг/с}$.
- б) $G_1=0,14\text{ кг/с}$.
- в) $G_1=0,34\text{ кг/с}$.
- г) $G_1=0,44\text{ кг/с}$.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Виды переноса тепловой энергии. Сложный теплообмен.
2. Температурное поле. Температурный градиент.
3. Удельный тепловой поток. 3-н Фурье.
4. Коэффициент теплопроводности, теплоизоляционные материалы.
5. Дифференциальное уравнение теплопроводности.
6. Условия однозначности. Граничные условия.
7. Теплопроводность через плоскую стенку.

8. Теплопроводность через цилиндрическую стенку.
9. Теплопередача через плоскую стенку.
10. Теплопередача через цилиндрическую стенку.
11. Коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи.
12. Пути интенсификации теплопередачи.
13. Нагрев (охлаждение) бесконечной пластины.
14. Нагрев (охлаждение) бесконечного цилиндра.
15. Нагрев (охлаждение) тел конечных размеров.
16. Основные критерии подобия.
17. Условия подобия физических процессов.
18. Определяющие параметры.
19. Режимы течения потока. Критериальные уравнения.
20. Теплоотдача при вынужденном движении потока в трубах.
21. Теплоотдача при поперечном обтекании труб.
22. Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской пластины.
23. Пучки труб.
24. Теплоотдача при естественной конвекции.
25. Кипение.
26. Теплообмен при пузырьковом кипении.
27. Теплообмен при пленочном кипении.
28. Конденсация пара.
29. Тепловое излучение.
30. З-ны теплового излучения.
31. Виды лучистых потоков (абс. черные тела, серые и др.)
32. Теплообменные аппараты (классификация, опред.)
33. Схемы течения теплоносителей. Температурный напор.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится путем организации специального опроса в устной и (или) письменной форме. В билете содержится два теоретических вопроса и одна специальная задача. Оценка отлично ставится в случае полного, развернутого ответа на вопросы экзамена и верного решения специальной задачи. Оценка хорошо ставится в случае частичного, недостаточно развернутого ответа на вопросы экзамена и не полного решения специальной задачи. Оценка удовлетворительно ставится в случае отсутствия ответа, на какой либо вопрос или отсутствии решения задачи. Оценка неудовлетворительно ставится в случае отсутствия ответа, на какой либо вопрос и отсутствии решения задачи.

Экзамен может проводиться по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.)

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение в тепломассообмен	ОПК-1	Тест, защита лабораторных работ, курсовая работа, экзамен
2	Теплопроводность при стационарном и нестационарном режимах	ОПК-1	Тест, защита лабораторных работ, курсовая работа, экзамен
3	Конвективный теплообмен в однородной среде	ОПК-1	Тест, защита лабораторных работ, курсовая работа, экзамен
4	Теплообмен при кипении и конденсации	ОПК-1	Тест, защита лабораторных работ, курсовая работа, экзамен
5	Теплообмен излучением. Теплообмен при естественной конвекции	ОПК-1	Тест, защита лабораторных работ, курсовая работа, экзамен
6	Теплопередача. Теплообменные аппараты	ОПК-1	Тест, защита лабораторных работ, курсовая работа, экзамен

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам

практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Андреев, В.В. Теплотехника: учебник / В.В. Андреев, В.А. Лебедев, Б.И. Спесивцев; под редакцией В.А. Лебедев. – Санкт-Петербург: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2016. – 288 с. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/71706.html>;
2. Теория тепломассообмена: учебник для вузов / С.И. Исаев, И.А. Кожин, В.И. Кофанов [и др.]; под редакцией А.И. Леонтьева. – 3-е изд. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2018. – 464 с. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/93924.html>;
3. Шаров, Ю.И. Термодинамика и теплопередача: учебник / Ю. И. Шаров. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2019. – 311 с. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/98680.html>
4. Дерюгин, В. В. Тепломассообмен: учебное пособие / В.В. Дерюгин, В.Ф. Васильев, В.М. Уляшева. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2016. – 244 с. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/74378.html>;
5. Горбачев, М. В. Тепломассообмен: учебное пособие / М. В. Горбачев. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2015. – 443 с. – <http://www.iprbookshop.ru/91625.html>;
6. Цветков, О. Б. Термодинамика. Тепломассообмен. Термодинамика и теплопередача. Прикладной тепломассообмен: учебно-методическое пособие / О. Б. Цветков, Ю. А. Лаптев, Ю. Н. Ширяев. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, Институт холода и биотехнологий, 2014. – 64 с. – RL: <http://www.iprbookshop.ru/68191.html>;
7. Стоянов, Н. И. Теоретические основы теплотехники (техническая термодинамика и тепломассообмен): учебное пособие / Н. И. Стоянов, С. С. Смирнов, А. В. Смирнова. – Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2014. – 226 с. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/63139.html>;
8. Мракин, А. Н. Расчет тепломассообменного оборудования: практикум / А. Н. Мракин. – Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, ЭБС АСВ, 2015. – 44 с. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/76509.html>;
9. Арзамасцев, А. Г. Исследование естественной конвекции на горизонтальных трубах: методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Тепломассообмен» / А. Г. Арзамасцев, В. Я. Губарев, А.Г. Ярцев. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2016. – 17 с. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/75072.html>;
10. Атомные станции теплоснабжения: учебное пособие / составители

В. Н. Мелькумов [и др.]. – Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2016. – 64 с. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/72907.html>;

11. Епифанов, В. С. Техническая термодинамика и теплопередача: лабораторный практикум / В. С. Епифанов, А. М. Степанов. – Москва: Московская государственная академия водного транспорта, 2015. – 65 с. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/47961.html>;

12. Лабораторный практикум по теплопередаче. Часть II: учебно-методическое пособие / О. Б. Цветков, Ю. А. Лаптев, Ю. Н. Ширяев [и др.]; под редакцией О. Б. Цветков, Ю. А. Лаптев. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2015. – 57 с. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/67245.html>.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

- Лицензионное программное обеспечение: ABBYY FineReader 9.0; Microsoft Office Word 2013/2007; Microsoft Office Excel 2013/2007; Microsoft Office Power Point 2013/2007; Maple v18; AutoCAD; Adobe Acrobat Reader; PDF24 Creator; 7zip.

- Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»: <http://www.edu.ru>; Образовательный портал ВГТУ; программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах «Антиплагиат.ВУЗ».

- Информационные справочные системы: единое окно доступа к образовательным ресурсам – <http://window.edu.ru>; Справочная система ВГТУ – <https://wiki.cchgeu.ru>; СтройКонсультант; Справочная Правовая Система КонсультантПлюс; Электронно-библиотечная система IPRbooks; «Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки»; ЭБС Лань; Научная электронная библиотека Elibrary;

- Современные профессиональные базы данных: Национальная информационная система по строительству – <http://www.know-house.ru>; Портал Российской академии архитектуры и строительных наук – <http://www.raasn.ru>; Электронная библиотека строительства – <http://www.zodchii.ws>; Портал АВОК – <https://www.abok.ru>.

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Для проведения лекционных занятий предусматривается аудитория, оснащенная видеопроектором, плакатами и пособиями по профилю. Для проведения практических занятий предусматривается аудитории оснащенные спецоборудованием: ауд. 2135 – лабораторный стенд для изучения теплообменных процессов; ноутбук с необходимым программным обеспечением; проектор; ауд. 2129 – модель тепловых сетей, лабораторный

стенд для изучения теплообменных процессов солнечного коллектора; измеритель теплопроводности; принтер; ауд. 2122 – газорегуляторная установка ШП-2 и элементы газовых сетей; ноутбук с необходимым программным обеспечением; газосчетчик барабанный ГСБ-400.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Тепломассообмен» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовая работа.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета процессов теплопередачи. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсовой работы изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсовой работы должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсовой работы, защитой курсовой работы.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому

работа	усвоения учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.