

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Декан факультета



УТВЕРЖДАЮ
С. А. Яременко
«25» ноября 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«Тепломассообмен»

Направление подготовки 21.03.01 Нефтегазовое дело

Профиль "Проектирование, строительство и эксплуатация
газонефтепроводов и газонефтехранилищ"

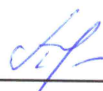
Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 5 лет

Форма обучения очная / очно-заочная

Год начала подготовки 2023

Автор программы

 /Петрикеева Н.А./

И.о. заведующего кафедрой
Теплогазоснабжения и
нефтегазового дела

 /Китаев Д.Н./

Руководитель ОПОП

 / Тульская С.Г./

Воронеж 2022

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 энергетики, теплогазоснабжения, нефтегазового дела, при хранении и транспортировке нефтегазопродуктов.

1.2. Задачи освоения дисциплины

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

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Тепломассообмен» относится к дисциплинам базовой (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)	72	72
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	36	36
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
Самостоятельная работа	99	99
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.	4	2	2	10	18
2	Теплопроводность при стационарном режиме	Стационарное температурное поле. Температурный градиент. Закон Фурье.	6	6	2	12	26
3	Теплопроводность при нестационарном режиме	Критерии при нестационарном режиме. Безразмерная температура. Нестационарное температурное поле.	6	6	2	12	26
4	Конвективный теплообмен в однородной среде	Конвекция. Теплоотдача. Уравнение Ньютона.	4	6	4	12	26
5	Теплообмен при кипении и конденсации	Пузырьковое и пленочное кипение. Температура точки росы. Конденсация.	4	4	-	12	20
6	Теплообмен излучением	Электромагнитные волны. Двойное преобразование тепла. Степень черноты.	4	2	2	12	20
7	Теплообмен при естественной конвекции	Естественная конвекция. Свободное течение. Критерий Грасгофа.	4	4	4	12	24
8	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.	4	6	2	17	29
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.	1	2	2	10	15
2	Теплопроводность при стационарном режиме	Стационарное температурное поле. Температурный градиент. Закон Фурье.	3	6	2	12	23
3	Теплопроводность при нестационарном режиме	Критерии при нестационарном режиме. Безразмерная температура. Нестационарное температурное поле.	3	6	2	12	23
4	Конвективный теплообмен в однородной среде	Конвекция. Теплоотдача. Уравнение Ньютона.	3	6	4	12	25
5	Теплообмен при кипении и конденсации	Пузырьковое и пленочное кипение. Температура точки росы. Конденсация.	2	4	-	12	18
6	Теплообмен излучением	Электромагнитные волны. Двойное преобразование тепла. Степень черноты.	2	2	2	12	18
7	Теплообмен при естественной конвекции	Естественная конвекция. Свободное течение. Критерий Грасгофа.	2	4	4	12	22
8	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	6	2	17	27
Итого			18	36	18	99	171

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Течение жидкости в трубе
2. Определение коэффициента теплопроводности изоляционного материала методом цилиндра
3. Определение теплоотдачи горизонтальной трубы при вынужденной конвекции.
4. Определение теплоотдачи горизонтальной трубы при естественной

конвекции.

5. Определение коэффициента теплопередачи в водо-водяном (водо-воздушном) теплообменнике.

6. Определение степени черноты поверхности металла методом сравнения.

7. 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 и в 5 семестре для очно-заочной формы обучения.

Примерная тематика курсовой работы: «Расчет процессов теплопроводности», «Расчет процессов конвективного теплообмена», «Расчет теплообменного аппарата».

Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы заключаются в:

- расчете стационарных и нестационарных процессов теплопроводности через цилиндрические и плоские многослойные стенки;
- расчете процессов вынужденной конвекции;
- выполнении типового расчет теплообменного аппарата.

Курсовая работа включает в себя расчетно-пояснительную записку.

8. 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	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

	знания для решения задач профессиональной деятельности			
	уметь использовать современные образовательные технологии математического анализа для решения задач профессиональной деятельности	Решение стандартных практических задач.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	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 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 уметь использовать современные образовательные	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и	Продемонстрирован верный ход решения всех,	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве	Задачи не решены

	технологии математического анализа для решения задач профессиональной деятельности		получены верные ответы	но не получен верный ответ во всех задачах	задач	
	владеть современными методами получения новых знаний в области использования методов моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общеинженерные знаний для решения задач профессиональной деятельности	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	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

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) м⁰С/ Вт²;
- в) м/ Вт;
- г) м/ ⁰С.

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.

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) $R_t=0,225$ (м²К)/Вт; $T_{w2}=55$ °С.
- в) $R_t=0,005$ (м²К)/Вт; $T_{w2}=105$ °С.
- г) $R_t=0,069$ (м²К)/Вт; $T_{w2}=2$ °С.

3. Плоская стенка состоит из трёх слоев толщиной $\delta_1=100$ мм, $\delta_2=80$ мм и $\delta_3=50$ мм, коэффициенты теплопроводности слоев соответственно равны $\lambda_1=2$ Вт/(м·К), $\lambda_2=8$ Вт/(м·К) и $\lambda_3=10$ Вт/(м·К). Второй слой имеет температуры поверхностей $T_{1-2}=120$ °С и $T_{2-3}=45$ °С. Определить температуры наружных поверхностей T_{w1} и T_{w2} .

- а) $T_{w1}=495$ °С, $T_{w2}=7,5$ °С.
- б) $T_{w1}=795$ °С, $T_{w2}=7,5$ °С.
- в) $T_{w1}=795$ °С, $T_{w2}=10,5$ °С.
- г) $T_{w1}=495$ °С, $T_{w2}=10,5$ °С.

4. Нагреватель, выполненный из трубки диаметром $d=25$ мм и длиной $l=0,5$ м, погружен вертикально в бак с водой, имеющей температуру $T_y=20$ °С. Определить количество теплоты, передаваемое нагревателем в единицу времени, считая температуру его поверхности постоянной по всей длине и равной $T_w=55,5$ °С.

- а) $Q=1231$ Вт.
- б) $Q=1931$ Вт.
- в) $Q=231$ Вт.
- г) $Q=2500$ Вт.

5. По трубе $d=60$ мм протекает воздух со скоростью $w=5$ 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 $0,27\text{ МПа}$. Температура поверхности $140\text{ }^{\circ}\text{C}$. 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 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$, ее степень черноты $0,8$ и температура другой поверхности $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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·°C); 0,13 Вт/(м·°C); 0,7 Вт/(м·°C). 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 $d_1/d_2 = 100/110$ мм с коэффициентом теплопроводности $\lambda_1 = 50 \text{ Вт/(м·°C)}$ покрыт изоляцией в два слоя одинаковой толщины 50 мм. Температура внутренней поверхности трубы 250 °C, наружной поверхности изоляции 50 °C. Коэффициентом теплопроводности первого слоя изоляции 0,06 Вт/(м·°C), второго слоя изоляции 0,12 Вт/(м·°C). Определить потери теплоты с 1 м трубопровода и температуру на границе соприкасающихся слоев изоляции.

- а) $q_l = 89,5 \text{ Вт/м}$; $t_{c3} = 97 \text{ °C}$.
- б) $q_l = 79,5 \text{ Вт/м}$; $t_{c3} = 107 \text{ °C}$.
- в) $q_l = 79,5 \text{ Вт/м}$; $t_{c3} = 97 \text{ °C}$.
- г) $q_l = 89,5 \text{ Вт/м}$; $t_{c3} = 107 \text{ °C}$.

3. Определить тепловой поток через 1 м² 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 Вт/(м·°C), 0,08 Вт/(м·°C). Температура внутреннего воздуха 18 °C, коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности 7,5 Вт/(м²·°C), температура наружного воздуха минус 30 °C, коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности 20 Вт/(м²·°C). Вычислить также температуры на поверхностях стены (t_{c1} и t_{c3}).

- а) $q = 33,2 \text{ Вт/м}^2$; $t_{c1} = 13,6 \text{ °C}$; $t_{c3} = -28,3 \text{ °C}$.
- б) $q = 33,8 \text{ Вт/м}^2$; $t_{c1} = 18,6 \text{ °C}$; $t_{c3} = -28,3 \text{ °C}$.
- в) $q = 39,5 \text{ Вт/м}^2$; $t_{c1} = 15,6 \text{ °C}$; $t_{c3} = -39,3 \text{ °C}$.
- г) $q = 40,1 \text{ Вт/м}^2$; $t_{c1} = 17,6 \text{ °C}$; $t_{c3} = -39,3 \text{ °C}$.

4. Определить потерю теплоты через кирпичную стенку длиной 5 м, высотой 4 м и толщиной 250 мм, если температуры на поверхностях стенки 110 °C и 40

°С. Коэффициент теплопроводности $0,7 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$. Как должна измениться температура наружной стенки при ее покрытии изоляцией толщиной 25 мм и коэффициентом теплопроводности $0,13 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$, 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 °С , степень черноты $0,82$. Температура поверхности бруска 350 °С , 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 $T_w = 115 \text{ °С}$. Определить средний по высоте коэффициент теплоотдачи от пара к трубе и количество пара G , кг/ч, которое конденсируется на поверхности трубы.

- а) $\alpha = 6740 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$, $G = 7 \text{ кг/ч}$.
- б) $\alpha = 6000 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$, $G = 8 \text{ кг/ч}$.
- в) $\alpha = 7740 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$, $G = 9 \text{ кг/ч}$.
- г) $\alpha = 7000 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$, $G = 10 \text{ кг/ч}$.

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 $T_{w1} = 130 \text{ °С}$, а на внешней поверхности войлочного слоя $T_{w2} = 40 \text{ °С}$. 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 T_{1-2} и толщину войлочного слоя при условии, что тепловые потери через 1 м^2 стенки камеры равны $q = 130 \text{ Вт/м}^2$.

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

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 теплоемкости 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 заданий для подготовки к экзамену

1. Виды переноса тепловой энергии. Сложный теплообмен.
2. Температурное поле. Температурный градиент.
3. Удельный тепловой поток. З-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. 3-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 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, выполнение курсовой работы

2	Теплопроводность при стационарном режиме	ОПК-1	Тест, защита лабораторных работ, выполнение курсовой работы
3	Теплопроводность при нестационарном режиме	ОПК-1	Тест, защита лабораторных работ, выполнение курсовой работы
4	Конвективный теплообмен в однородной среде	ОПК-1	Тест, защита лабораторных работ, выполнение курсовой работы
5	Теплообмен при кипении и конденсации	ОПК-1	Тест, защита лабораторных работ, выполнение курсовой работы
6	Теплообмен излучением	ОПК-1	Тест, защита лабораторных работ, выполнение курсовой работы
7	Теплообмен при естественной конвекции	ОПК-1	Тест, защита лабораторных работ, выполнение курсовой работы
8	Теплопередача. Теплообменные аппараты	ОПК-1	Тест, защита лабораторных работ, выполнение курсовой работы

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

Основная литература

1. Дерюгин, В. В. Тепломассообмен [Электронный ресурс] : Учебное пособие / В. В. Дерюгин, В. Ф. Васильев, В. М. Уляшева. - Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2016. - 244 с. - ISBN 978-5-9227-0690-2.

URL: <http://www.iprbookshop.ru/74378.html>

2. Горбачев, М. В. Тепломассообмен [Электронный ресурс] : Учебное пособие / М. В. Горбачев. - Тепломассообмен ; 2025-02-05. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2015. - 443 с. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 05.02.2025 (автопродлонгация). - ISBN 978-5-7782-2803-0. URL: <http://www.iprbookshop.ru/91625.html>

3. Лаптев, А. Г. Основы расчета и модернизация тепломассообменных установок в нефтехимии [Электронный ресурс] : Монография / А. Г. Лаптев, М. И. Фарахов, Н. Г. Минеев. - Основы расчета и модернизация тепломассообменных установок в нефтехимии ; 2024-12-16. - Санкт-Петербург : Страта, 2015. - 576 с. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 16.12.2024 (автопродлонгация). - ISBN 978-5-906150-38-7.

URL: <http://www.iprbookshop.ru/89904.html>

4. Примеры и задачи по тепломассообмену [Электронный ресурс] / Логинов В. С., Крайнов А. В., Юхнов В. Е., Феоктистов Д. В., Шабунина О.С. - 3-е изд., стер. - Лань, 2017. - 256 с. - Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-8114-1132-0.

URL: <https://e.lanbook.com/book/93718>

5. Расчет процессов теплопроводности и конвективного теплообмена [Текст] : методические указания к выполнению курсовой и практической работы по дисциплинам: "Тепломассообмен", "Теплогазоснабжение с основами теплотехники", "Энергосбережение в теплоэнергетике", "Технические средства и методы защиты окружающей среды", "Техническая термодинамика и теплотехника" для бакалавров направлений 08.03.01 "Строительство", 13.03.01 "Теплоэнергетика и теплотехника", 21.03.01 "Нефтегазовое дело", 18.03.01 "Химическая технология" всех форм обучения / ФГБОУ ВО "Воронеж. гос. техн. ун-т", кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела ; сост. : В. Н. Мелькумов, Н. А. Петрикеева. - Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2021. - 38 с. : ил. : табл. - Библиогр.: с. 29 (4 назв.).

6. Экспериментальное исследование процессов теплообмена [Текст] :

методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплинам: "Тепломассообмен", "Теплогазоснабжение с основами теплотехники", "Техническая термодинамика и теплотехника" для студентов направлений подготовки 08.03.01 "Строительство", 13.03.01 "Теплоэнергетика и теплотехника", 21.03.01 "Нефтегазовое дело", 18.03.01 "Химическая технология" всех форм обучения / ФГБОУ ВО "Воронеж. гос. техн. ун-т", кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела ; сост. : В. Н. Мелькумов, Н. А. Петрикеева, А. И. Колосов, Д. М. Чудинов. - Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2021. - 28 с. : ил. : табл. - Библиогр.: с. 27 (4 назв.).

7. Расчет процессов теплопроводности [Текст] : методические указания к выполнению курсовой и практической работы по дисциплинам "Тепломассообмен", "Теплогазоснабжение с основами теплотехники", "Техническая термодинамика и теплотехника" для студентов направлений подготовки 08.03.01 "Строительство", 13.03.01 "Теплоэнергетика и теплотехника", 21.03.01 "Нефтегазовое дело", 18.03.01 "Химическая технология" всех форм обучения / ФГБОУ ВО "Воронеж. гос. техн. ун-т", кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела ; сост. : В. Н. Мелькумов, Н. А. Петрикеева, Г. Н. Мартыненко. - Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2021. - 36 с. : ил. : табл. - Библиогр.: с. 30 (4 назв.).-

8. Теплопередача при течении жидкости в трубе и ее охлаждении в условиях вынужденной конвекции [Текст] : методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине "Тепломассообмен" для студентов направлений подготовки 08.03.01 "Строительство", 13.03.01 "Теплоэнергетика и теплотехника", 21.03.01 "Нефтегазовое дело" всех форм обучения / ФГБОУ ВО "Воронеж. гос. техн. ун-т", кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела ; сост. : Н. А. Петрикеева, С. В. Чуйкин, Д. О. Бугаевский. - Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2021. - 38 с. : ил. : табл. - Библиогр.: с. 35 (7 назв.).

Дополнительная литература

1. Арзамасцев, А. Г. Исследование естественной конвекции на горизонтальных трубах [Электронный ресурс] : 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. - ISBN 2227-8397.

URL: <http://www.iprbookshop.ru/75072.html>

2. Шаров, Ю. И. Тепломассообмен [Электронный ресурс] : Учебное пособие / Ю. И. Шаров, О. К. Григорьева. - Тепломассообмен ; 2025-02-05. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2018. - 164 с. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 05.02.2025 (автопродлонгация). - ISBN 978-5-7782-3557-1.

URL: <http://www.iprbookshop.ru/91450.html>

3. Цветков, О.Б. Термодинамика. Тепломассообмен. Термодинамика и

теплопередача. Прикладной тепломассообмен [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / Ю.Н. Ширяев; Ю.А. Лаптев; О.Б. Цветков. - Санкт-Петербург : Университет ИТМО, Институт холода и биотехнологий, 2014. - 64 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/68191.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

- Microsoft Office Word 2013/2007;
- Microsoft Office Excel 2013/2007;
- Microsoft Office Power Point 2013/2007;
- Гранд-Смета;
- Acrobat Professional 11.0 MLP;
- Maple v18;
- AutoCAD;
- 7zip;
- PDF24 Creator;
- Программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах «Антиплагиат.ВУЗ»

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- Российское образование. Федеральный образовательный портал: учреждения, программы, стандарты, Вузы, ... код доступа: <http://www.edu.ru/>
- Образовательный портал ВГТУ, код доступа: <https://old.education.cchgeu.ru>

Информационные справочные системы

- Бесплатная электронная библиотека онлайн «Единое окно к образовательным ресурсам», код доступа: <http://window.edu.ru/>;
- ВГТУ: wiki, код доступа: <https://wiki.cchgeu.ru/>;
- ЭБС Издательства «ЛАНЬ», код доступа <http://e.lanbook.com/>;
- ЭБС IPRbooks, код доступа: <http://www.iprbookshop.ru/>;
- научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, код доступа: <http://elibrary.ru/>

Современные профессиональные базы данных

- East View, код доступа: <https://dlib.eastview.com/>
- Academic Search Complete, код доступа: <http://search.ebscohost.com/>
- Нефтегаз.ру, код доступа: <https://neftegaz.ru/>

- «Геологическая библиотека» – интернет-портал специализированной литературы, код доступа: <http://www.geokniga.org/maps/1296>
- Электронная библиотека «Горное дело», код доступа: <http://www.bibl.gorobr.ru/>
- «ГОРНОПРОМЫШЛЕННИК» – международный отраслевой ресурс, код доступа: <http://www.gornoprom.ru/>
- MINING INTELLIGENCE & TECHNOLOGY – Информационно-аналитический портал, код доступа: <http://www.infomine.com/>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Материально-техническая база включает:

- Специализированные лекционные аудитории, оснащенные оборудованием для лекционных демонстраций и проектором, стационарным экраном.
- Учебные аудитории, оснащенные необходимым оборудованием. Аудитории для проведения практических занятий, оборудованные проекторами, стационарными экранами и интерактивными досками.
- Помещения для самостоятельной работы студентов, оснащенные компьютерной техникой с выходом в сеть "Интернет".
- Библиотечный электронный читальный зал с доступом к электронным ресурсам библиотеки и доступом в образовательный портал ВГТУ.

9. 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 текущим

опросом, 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 работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению 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 начинаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.