

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»
в городе Борисоглебске



УТВЕРЖДАЮ

Директор филиала

Е.А. Позднова/

_____ 2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины (модуля)
«Тепломассообмен»**

Направление подготовки 08.03.01 Строительство

Профиль Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения Очная

Год начала подготовки 2023 г.

Автор(ы) программы

Матвеева Л.И.

Заведующий кафедрой
естественнонаучных дисциплин

Матвеева Л.И.

Руководитель ОПОП

Филатова Н.В.

Борисоглебск 2023

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины: формирование системы знаний, умений и навыков в области тепломассообмена, создание фундамента для усвоения дисциплин профилизации, развитие умения творческого использования основных закономерностей тепломассообмена при решении конкретных задач в области теплоэнергетики, теплогазоснабжения, отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха

1.2. Задачи освоения дисциплины:

формирование у обучающихся знаний теплотехнической терминологии, законов теплопередачи и массопереноса, методов подбора тепловых процессов, конструирования теплообменных аппаратов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Тепломассообмен» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

ПК-1 Способен организовывать и совершенствовать производственно-технологические процессы строительно-монтажных работ в сфере теплогазоснабжения, вентиляции, водоснабжения и водоотведения.

ПК-3 Способен управлять производственно-хозяйственной деятельностью в сфере теплогазоснабжения, вентиляции, водоснабжения и водоотведения.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-1	знать основные законы теплообмена и массопереноса, основные методы расчета процессов теплообмена и массопереноса, встречающихся в ходе профессиональной деятельности в сфере теплогазоснабжения и вентиляции
	уметь рассчитывать процессы тепломассообмена; анализировать научно-техническую литературу по тепломассообмену, выявлять достоинства и недостатки известных методов расчета и проектирования теплотехнических систем и оборудования.
	владеть навыками расчета тепло- и массообменных процессов, теплообменного оборудования в сфере теплогазоснабжения и вентиляции
ПК-3	знать основные характеристики и параметры процессов в сфере теплогазоснабжения и вентиляции
	уметь пользоваться справочной и нормативной литературой, подбирать теплообменное оборудование на основе расчетов и анализа теплотехнических характеристик объекта
	владеть навыками работы со специализированными отечественными и зарубежными источниками научно-технической информации, навыками внедрения результатов исследований и практических теплотехнических разработок в сфере теплогазоснабжения и вентиляции

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Тепломассообмен» составляет 5 з. е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
Аудиторные занятия (всего)	72	72
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
Самостоятельная работа	72	72
Курсовая работа (есть)	+	+
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	180	180
зач. ед.	5	5

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Введение в тепломассообмен. Способы переноса теплоты.	Возникновение и история развития науки о теплообмене. Основные понятия и определения: теплопроводность, конвекция, излучение, сложный теплообмен, теплопередача. Роль тепломассообмена в развитии строительной индустрии. Связь с технической термодинамикой.	2	-	-	4	6
2	Теплопроводность при стационарном режиме.	Температурное поле, тепловой поток, температурный градиент, закон Фурье, коэффициент теплопроводности, характеристика теплоизоляционных свойств различных материалов. Вывод дифференциального уравнения теплопроводности. Условия однозначности для процессов теплопроводности. Простейшие задачи стационарной теплопроводности. Теплопроводность через плоскую стенку при граничных условиях первого рода. Теплопроводность через цилиндрическую стенку. Теплопроводность шаровой стенки..	4	2	2	8	16
3	Теплопроводность при нестационарном режиме.	Аналитическое описание процесса охлаждения (нагрева) плоской неограниченной пластины. Анализ полученного решения, частные случаи. Опре-	4	2	-	8	14

		деление количества тепла, отдаваемое (воспринимаемое) плоской неограниченной пластиной. Анализ решения охлаждения (нагрева) сплошного неограниченного цилиндра. Расчет нестационарного температурного поля для тел конечных размеров. Зависимость температурного поля от числа Фурье (регулярный тепловой режим). Численные методы решения задач нестационарной теплопроводности. Электротепловая аналогия. Применение аналоговых устройств для решения задач теплопроводности в телах сложной формы.						
4	Конвективный теплообмен в однородной среде.	<p>Основные понятия и определения: виды конвекции, свойства теплоносителей, гидродинамический и тепловой пограничный слой. Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. Условия однозначности. Основы теории подобия. Числа подобия. Критериальные уравнения.</p> <p>Вынужденная конвекция при течении среды в трубах и каналах. Вынужденная конвекция при поперечном омывании одиночных труб и трубных пучков. Теплоотдача при свободной конвекции в неограниченном и ограниченном пространстве.</p>	6	4	4	12	26	
5	Теплообмен при кипении и конденсации.	Теплоотдача при кипении жидкости в большом объеме. Режимы кипения. Теплоотдача при кипении жидкости, движущейся в трубах. Теплообмен при пленочной конденсации неподвижного пара. Теплообмен при пленочной конденсации пара, движущегося внутри труб. Теплообмен при конденсации пара на поверхности горизонтальных труб и трубных пучков.	4	2	2	8	16	
6	Теплообмен излучением.	Основные понятия и определения: интегральная и спектральная плотность излучения. Эффективное и результирующее излучение. Законы теплового излучения: Планка, Кирхгофа, Ламберта, Стефана-Больцмана. Лучистый теплообмен между телами в диатермичной среде. Теплообмен излучением при наличии экранов. Тепловое излучение в поглощающей среде (газах). Степень черноты газового объема. Сложный теплообмен.	4	2	2	8	16	
7	Теплопередача	Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенки при граничных ус-	4	2	4	8	18	

		ловиях третьего рода. Критический диаметр тепловой изоляции. Пути интенсификации теплопередачи. Теплопередача через оребренную стенку. Коэффициент эффективности ребра. Упрощенные формулы для расчета потока в относительно тонких криволинейных стенках.					
8	Массообмен.	Основные понятия и определения. Молекулярная диффузия, закон Фика, стефановский поток. Дифференциальные уравнения тепло- и массообмена. Конвективный массообмен. Коэффициент массоотдачи. Понятие о диффузионном пограничном слое. Аналогия процессов тепло- и массообмена и использование аналогии для расчета массообменных процессов.	4	2	2	8	16
9	Теплообменные аппараты.	Классификация теплообменных аппаратов. Основы теплового расчета рекуперативных теплообменников: уравнения теплового баланса, теплопередачи, коэффициент теплопередачи теплообменного аппарата. Определение среднего температурного напора теплообменного аппарата. Особенности теплового расчета регенеративных теплообменных аппаратов. Конструкторский и поверочный расчет теплообменника. Основы технико-экономической оптимизации теплообменных аппаратов.	4	2	2	8	16
		контроль					36
Итого			36	18	18	72	180

Практическая подготовка при освоении дисциплины учебным планом не предусмотрена

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Определение коэффициента теплопроводности изоляционных материалов.
2. Определение коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции (метод струны)
3. Исследование процессов теплообмена на горизонтальном трубопроводе
4. Определение степени черноты тела методом сравнения

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсовой работы.

Примерная тематика курсовой работы: «Конструктивный тепловой расчет рекуперативного теплообменного аппарата».

Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы:

- рассмотреть физические явления, лежащие в основе работы теплообменных аппаратов;
- рассмотреть классификацию теплообменных аппаратов, привести примеры теплообменников различных видов;
- изучить конструкцию одного из рекуперативных теплообменников согласно индивидуальному варианту задания;
- выполнить конструктивный тепловой расчет выбранного теплообменника: рассчитать коэффициент теплоотдачи, площадь поверхности теплообмена и необходимое число секций.

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
ПК-1	знать основные законы теплообмена и массопереноса, основные методы расчета процессов теплообмена и массопереноса, встречающихся в ходе профессиональной деятельности в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	Активная работа на практических и лабораторных занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсовой работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь рассчитывать процессы тепломассообмена; анализировать научно-техническую литературу по тепломассообмену, выявлять достоинства и недостатки известных методов расчета и проектирования теплотехнических систем и оборудования.	Решение стандартных практических заданий, написание курсовой работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками расчета тепло- и массообменных процессов, теплообменного оборудования в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение плана работ по разработке курсовой работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-3	знать основные характеристики и параметры про-	Активная работа на практических и лабораторных занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсовой работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

цессов в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	нениях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсовой работы	дусмотренный в рабочих программах	ренный в рабочих программах
уметь пользоваться справочной и нормативной литературой, подбирать теплообменное оборудование на основе расчетов и анализа теплофизических характеристик объекта	Решение стандартных практических заданий, написание курсовой работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
владеть навыками работы со специализированными отечественными и зарубежными источниками научно-технической информации, навыками внедрения результатов исследований и практических теплотехнических разработок в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение плана работ по разработке курсовой работы	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 5 семестре по системе:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-1	знать основные законы теплообмена и массопереноса, основные методы расчета процессов теплообмена и массопереноса, встречающихся в ходе профессиональной деятельности в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	Тест	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь рассчитывать процессы тепломассообмена; анализировать научно-техническую литературу по тепломассообмену, выявлять достоинства и недостатки известных методов расчета и проектирования теплотехнических систем и оборудования.	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 навыками расчета тепло- и массообменных процессов, теплообменного оборудования в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	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

ПК-3	знать основные характеристики и параметры процессов в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	Тест	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь пользоваться справочной и нормативной литературой, подбирать теплообменное оборудование на основе расчетов и анализа теплофизических характеристик объекта	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 навыками работы со специализированными отечественными и зарубежными источниками научно-технической информации, навыками внедрения результатов исследований и практических теплотехнических разработок в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	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

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. Возрастание температуры по нормали к изотермической поверхности характеризуется...

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

3. Единица измерения коэффициента теплопроводности:

- а) Вт/ м град;
- б) м⁰С/ Вт²;
- в) м/ Вт;
- г) м/ ⁰С.

4. График распределения температур для цилиндрической стенки представляет собой...

- а) логарифмическую кривую;
- б) прямую линию;
- в) гиперболу;

г) экспоненту.

5. 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.

6. 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.

7. Одинаковые единицы измерения имеют следующие коэффициенты:

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

8. При ламинарном течении перенос теплоты осуществляется путем...

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

9. 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.

10. 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.

11. Абсолютно черные тела – это тела, способные...

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

12. 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.

13. 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. Теплота передается теплопроводностью через 2-слойную плоскую стенку поверхностью $F = 0,8 \text{ м}^2$. Определить удельный тепловой поток q в $\text{Вт}/\text{м}^2$, если: $\delta_1 = 0,2 \text{ м}$; $\lambda_1 = 1 \text{ Вт}/(\text{мК})$; $t_{c1} = 550 \text{ }^\circ\text{C}$; $\delta_2 = 0,02 \text{ м}$; $\lambda_2 = 0,1 \text{ Вт}/(\text{мК})$; $t_{c2} = 350^\circ\text{C}$

2. Какое из приведенных выражений является уравнением Ньютона – Рихмана?

А) $q = k(t_{ж1} - t_{ж2})$

Б) $q = \varepsilon c_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$

В) $q = -\lambda \left(\frac{dt}{dn} \right)$

Г) $q = \alpha(t_1 - t_2)$

3. Какое выражение является числом подобия Грасгофа?

А) $\frac{wl}{\nu}$

Б) $g\beta\theta_c \frac{l^3}{\nu^2}$

В) $\frac{\nu}{a}$

Г) $\frac{\alpha l_0}{\lambda}$

4. Рассчитать тепловой поток излучения от обогревателя, сделанного из полированной стали в виде экрана размерами $(0,5 \times 0,8 \times 0,02) \text{ м}^3$, если температуры поверхности обогревателя и стен комнаты соответственно равны 80°C и 20°C .

5. Чему равна приведенная степень черноты двух параллельных поверхностей, если: $\varepsilon_1 = 0,25$; $\varepsilon_2 = 0,5$?

6. Излучательная способность стенки летательного аппарата равна $4,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}^4)$, а длина волны, отвечающая максимуму спектральной плотности излучения, $\lambda_m = 2,9 \text{ мкм}$. Вычислить плотность потока энергии собственного излучения летательного аппарата в $\text{кВт}/\text{м}^2$.

7. Рассчитать тепловой поток излучением (в кВт) от стальной трубы наружным диаметром $d=15$ см и длиной 12 м, используемой для обогрева помещения площадью 40 м^2 с температурой стен 15°C , если температура стенки трубы 90°C

8. Две плоские поверхности со степенями черноты 0,67 имеют различные температуры и разделены экраном. Какую степень черноты должен иметь экран, чтобы плотность теплового потока была в 4 раза меньшей, чем в отсутствие экрана?

9. Температуры двух близко расположенных стальных поверхностей равны 500К и 300К. Во сколько раз увеличится плотность теплового потока между ними, если температура горячей стенки возрастет до 1000К?

10. Определить тепловой поток (в $\text{Вт}/\text{м}^2$) между стенками сосуда для хранения жидкого азота, если на внутренней поверхности наружной стенки температура равна 0°C . Стенки сосуда покрыты слоем серебра, площади их примерно одинаковы и равны $0,1 \text{ м}^2$.

11. Определить тепловой поток (в $\text{Вт}/\text{м}^2$) между стенками сосуда для хранения жидкого водорода, если на внутренней поверхности наружной стенки температура равна 0°C . Стенки сосуда покрыты слоем материала со степенью черноты 0,01, площади их примерно одинаковы и равны $0,1 \text{ м}^2$

12. Теплота передается от горячего теплоносителя к холодному через плоскую стенку поверхностью $F = 0,2 \text{ м}^2$. Определить коэффициент теплопередачи, если $\alpha_1 = 500 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$; $\alpha_2 = 50 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$; $\delta = 0,1 \text{ м}$; $\lambda = 1 \text{ Вт}/(\text{мК})$.

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: $0,93 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$; $0,13 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$; $0,7 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$. 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 $\lambda_1 = 50 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ 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 $0,06 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$, второго слоя изоляции $0,12 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$. Определить потери теплоты с 1 м трубопровода и температуру на границе соприкасающихся слоев изоляции. а) $q_1 = 89,5 \text{ Вт}/\text{м}$; $t_{c3} = 97^\circ\text{C}$. б) $q_1 = 79,5 \text{ Вт}/\text{м}$; $t_{c3} = 107^\circ\text{C}$. в) $q_1 = 79,5 \text{ Вт}/\text{м}$; $t_{c3} = 97^\circ\text{C}$. г) $q_1 = 89,5 \text{ Вт}/\text{м}$; $t_{c3} = 107^\circ\text{C}$.

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 $0,8 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$, $0,08 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$. Температура внутреннего воздуха 18°C , коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности $7,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$, температура на-

ружного воздуха $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности $20\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$. Вычислить также температуры на поверхностях стены (t_{c1} и t_{c3}). а) $q = 33,2\text{ Вт}/\text{м}^2$; $t_{c1} = 13,6\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{c3} = -28,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. б) $q = 33,8\text{ Вт}/\text{м}^2$; $t_{c1} = 18,6\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{c3} = -28,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. в) $q = 39,5\text{ Вт}/\text{м}^2$; $t_{c1} = 15,6\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{c3} = -39,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. г) $q = 40,1\text{ Вт}/\text{м}^2$; $t_{c1} = 17,6\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{c3} = -39,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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 $0,7\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$. Как должна измениться температура наружной стенки при ее покрытии изоляцией толщиной 25 мм и коэффициентом теплопроводности $0,13\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$, 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) $q = 41810\text{ Вт}/\text{м}^2$. б) $q = 49810\text{ Вт}/\text{м}^2$. в) $q = 52810\text{ Вт}/\text{м}^2$. г) $q = 68810\text{ Вт}/\text{м}^2$.

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

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 $0,7\text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$ и строительного войлока $0,0465\text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$. 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 $q = 130\text{ Вт}/\text{м}^2$. 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 $G_2 = 3\text{ кг}/\text{с}$. а) $G_1 = 0,45\text{ кг}/\text{с}$, $\Delta t = 69,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. б) $G_1 = 0,65\text{ кг}/\text{с}$, $\Delta t = 79,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. в) $G_1 = 0,55\text{ кг}/\text{с}$, $\Delta t = 99,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. г) $G_1 = 0,75\text{ кг}/\text{с}$, $\Delta t = 89,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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 тем-

пературу 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 $70\text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$. а) $W_2=4000\text{ Вт}/\text{К}$, $\Delta t=12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. б) $W_2=5000\text{ Вт}/\text{К}$, $\Delta t=11,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. в) $W_2=4500\text{ Вт}/\text{К}$, $\Delta t=12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. г) $W_2=5500\text{ Вт}/\text{К}$, $\Delta t=11,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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 $G_2=0,2\text{ кг}/\text{с}$. Определить расход греющего пара. а) $G_1=0,24\text{ кг}/\text{с}$. б) $G_1=0,14\text{ кг}/\text{с}$. в) $G_1=0,34\text{ кг}/\text{с}$. г) $G_1=0,44\text{ кг}/\text{с}$.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрен учебным планом

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Виды переноса тепловой энергии: теплопроводность, конвекция, излучение. Сложный теплообмен. Теплоотдача и теплопередача.

2. Основные понятия теории теплопроводности. Температурное поле, температурный градиент, тепловой поток, плотность теплового потока. Закон Фурье – основной закон теплопроводности. Коэффициент теплопроводности.

3. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Температуропроводность. Условия однозначности. Граничные условия.

4. Стационарная теплопроводность при граничных условиях первого рода. Простейшие одномерные задачи стационарной теплопроводности. Теплопроводность через плоскую стенку, однородную и многослойную.

5. Стационарная теплопроводность через цилиндрическую стенку, однородную и многослойную.

6. Применение электротепловой аналогии к решению задач стационарной теплопроводности. Термическое сопротивление однородной и многослойной стенок.

7. Нагрев (охлаждение) бесконечной пластины.

8. Нагрев (охлаждение) бесконечного цилиндра.

9. Нагрев (охлаждение) тел конечных размеров.

10. Общие понятия конвективного теплообмена. Закон Ньютона – Рихмана. Коэффициент теплоотдачи, его зависимость от характера движения жидкости. Виды движения теплоносителя. Теория пограничного слоя Прандтля.

11. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. Условия однозначности.

12. Основные идеи теории подобия. Критерии подобия. Общий вид критериального уравнения конвективного теплообмена.

13. Теплоотдача при течении жидкости в каналах. Критериальные уравнения для ламинарного и турбулентного режимов.

14. Теплоотдача при внешнем обтекании тел. Поперечное обтекание трубы. Обтекание пучка труб. Зависимость теплоотдачи от номера ряда, соотношения продольного и поперечного шагов пучка.

15. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости вдоль пластины.

16. Теплоотдача при кипении жидкости. Пузырьковый и пленочный режимы кипения.
17. Теплоотдача при конденсации пара.
18. Теплообмен излучением. Поток излучения, поверхностная плотность излучения. Коэффициенты отражения, поглощения, пропускания. Собственное и эффективное излучение тел.
19. Законы излучения абсолютно черного тела: Планка, Стефана-Больцмана, Вина, Кирхгофа. Степень черноты серого тела.
20. Лучистый теплообмен между телами в диатермичной среде.
21. Теплообмен излучением при наличии экранов.
22. Тепловое излучение в поглощающей среде (газах). Степень черноты газа.
23. Сложный теплообмен.
24. Теплопередача. Уравнение теплопередачи. Коэффициент теплопередачи. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенки.
25. Пути интенсификации теплопередачи. Теплопередача через оребренную стенку. Коэффициент оребрения.
26. Теплоизоляция.
27. Назначение теплообменных аппаратов. Классификация теплообменников.
28. Виды тепловых расчетов теплообменников. Основы теплового расчета рекуперативных теплообменников: уравнения теплового баланса и теплопередачи.
29. Расчет среднего температурного напора и коэффициента теплопередачи теплообменного аппарата.
30. Порядок конструктивного расчета рекуперативного теплообменника типа «труба в трубе».

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 задача. Оценка «отлично» ставится в случае полного, развернутого ответа на вопросы экзамена и верного решения задачи. Оценка «хорошо» ставится в случае частичного, недостаточно развернутого ответа на вопросы экзамена и неполного 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.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение в тепломассообмен. Способы переноса теплоты.	ПК-1, ПК-3	Тест, вопросы к экзамену
2	Теплопроводность при	ПК-1, ПК-3	Тест, самостоятельная рабо-

	стационарном режиме.		та, защита лабораторных работ, вопросы к экзамену
3	Теплопроводность при нестационарном режиме.	ПК-1, ПК-3	Тест, вопросы к экзамену
4	Конвективный теплообмен в однородной среде.	ПК-1, ПК-3	Тест, самостоятельная работа, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе, вопросы к экзамену
5	Теплообмен при кипении и конденсации.	ПК-1, ПК-3	Тест, вопросы к экзамену
6	Теплообмен излучением.	ПК-1, ПК-3	Тест, самостоятельная работа, защита лабораторных работ, вопросы к экзамену
7	Теплопередача	ПК-1, ПК-3	Тест, самостоятельная работа, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе, вопросы к экзамену
8	Массообмен.	ПК-1, ПК-3	Тест
9	Теплообменные аппараты.	ПК-1, ПК-3	Тест, самостоятельная работа, требования к курсовой работе

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 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. Мирам, А. О. Техническая термодинамика. Тепломассообмен [Текст] : учебник : рек. УМО РФ / А.О. Мирам, В.А.Павленко. - М. : АСВ, 2011 - 351 с.
2. Экспериментальное исследование процессов теплообмена [Текст] : метод. указания к выполнению лаборат. работ для студ. спец. 190205, 270106, 270109, 270112, 270113, 280101 всех форм обучения по дисциплинам "Тепломассообмен", "Теплотехника", "Теплогазоснабжение и вентиляция" / Воронеж. гос. архит.-строит. ун-т ; сост.: В. Н. Мелькумов, Н. А. Петрикеева, А. И. Колосов, Д. М. Чудинов. - Воронеж : [б. и.], 2010. - 26 с.
3. Жуков А.Д. Тепловые процессы и установки в технологии строительных изделий [Электронный ресурс]: учебное пособие/ А.Д. Жуков, А.Э. Бегляров, В.А. Гусев— Электрон. текстовые данные.— М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2014.— 252 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/27038>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

Дополнительная литература

1. Мелькумов, В.Н. Расчет процессов теплопроводности и конвективного теплообмена. Часть 2. Метод. указания к выполнению курсовой работы для студентов специальности 290700 всех форм обучения по дисциплине «Тепломассообмен»./В.Н. Мелькумов, Н.А. Петрикеева.// Воронеж, ВГАСУ. - 2009.- 16 с.
2. Примеры и задачи по тепломассообмену [Текст] : учеб. пособие : рек. УМО. - 2-е изд., испр. и доп. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2011. - 254 с.
3. Теплотехника [Текст] : учебник / под ред. А. П. Баскакова. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. :
4. Михеев, М.А. Основы теплопередачи [Текст] /М.А. Михеев, И.М. Михеева. - 3-е изд., репринт. - М. - 342 с.
5. Техническая термодинамика: учеб. пособие: рек. ВГАСУ / А.Т. Курносов, Д.Н. Китаев; Воронеж. Гос.архит.-строит. ун-т.- Воронеж, 2007.-109 с.
6. Исследование термодинамических параметров газов: метод. указания к выполнению лаб. работ для студ. / Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т; сост.: Д.Н. Китаев, Г.Н. Мартыненко. – Воронеж, 2009. - 36с.
7. Термодинамические основы производства тепловой и электрической энергии на ТЭЦ, КЭС и в районных котельных [Текст]: метод. указания к выполнению курс. работы для студ. спец. 270109/Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т; сост.: Д.Н. Китаев, Г.Н. Мартыненко. - Воронеж, 2008. - 46 с.

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:

Информационные технологии:

- мультимедийные презентации. Используется компьютерная техника для демонстрации слайдов с помощью программных приложений Microsoft Power

Point.

- самостоятельный поиск дополнительного учебного и научного материала, с использованием поисковых систем и сайтов сети Интернет, электронных энциклопедий и баз данных.

- Применяемое лицензионное программное обеспечение: Microsoft Office Word, Microsoft Office Power Point.

- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля):

- <https://lektsia.com>

- <https://studopedia.ru>

- Информационные справочные системы

Обучающиеся могут при необходимости использовать возможности информационно-справочных систем, электронных библиотек и архивов.

Адрес электронного каталога электронно-библиотечной системы ВГТУ: <http://catalog2.vgasu.vrn.ru/MarcWeb2/>

Другие электронной информационно-образовательной ресурсы доступны по ссылкам на сайте ВГТУ - см. раздел Электронные образовательные информационные ресурсы. В их числе: библиотечные серверы в Интернет, серверы науки и образования, периодика в интернет, словари и энциклопедии.

- Электронно-библиотечная система «IPRbooks» <http://www.iprbookshop.ru>

- Электронно-библиотечная система «Elibrary» <http://elibrary.ru>

- Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки <http://www.diss.rsl.ru>

- ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <http://biblioclub.ru>

- Электронно-библиотечная система «Лань» <https://e.lanbook.com>

- Национальная Электронная Библиотека <https://нэб.рф>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Материально-техническая база соответствует действующим санитарно-техническим нормам и обеспечивает проведение всех видов занятий.

Лекционные и практические занятия по дисциплине проводятся в аудиториях, с использованием интерактивных досок, проекционного и мультимедийного оборудования.

В самостоятельной и аудиторной работе студентами активно используются единая информационная база (новая литература, периодика, электронные образовательные ресурсы, электронные учебники, справочники, цифровые образовательные ресурсы):

- IBM PC - совместимые компьютеры;

- мультимедийное оборудование, видеофильмы;

- плакаты

- виртуальные лабораторные установки по основным разделам термодинамики и теплообмена

10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

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 теплообмена, характеристик теплообменных аппаратов. 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; пометать 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.
Курсовая работа	Выполнение курсовой работы позволяет углубить и систематизировать знания, полученные в процессе изучения дисциплины, приобрести опыт их применения для решения инженерных задач. Задание для курсовой работы студенты получают в первой половине семестра после изучения тем «Теплопроводность» и «Конвективный теплообмен». Это позволяет им сразу приступить к выполнению ряда задач курсовой работы. Остальные задачи решаются студентами в процессе дальнейшего освоения учебного материала. По всем вопросам, связанным с выполнением курсовой работы студенты могут обращаться к преподавателю, который

	является руководителем курсовой работы. К концу семестра работа должна быть выполнена и представлена в электронном виде на кафедру. В установленный и указанный в задании срок работа должна быть защищена. Защита предусматривает выступление с докладом и презентацией, ответы на вопросы членов комиссии. Оценка выставляется с учетом выступления студента на защите.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> - 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 три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1	2	3	4
1			
2			