Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»

Кафедра теплоэнергетики и экологии

УТВЕРЖДАЮ
Директор института металлургии и материаловедения
_____ А.А. Уманский
подпись
«____» _____ 20___ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Тепломассообмен

13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»
(направленность (профиль): «Промышленная теплоэнергетика»)

Квалификация выпускника
Бакалавр

Форма обучения
Заочная форма

Срок обучения: 4 года 6 месяцев

Год начала подготовки 2025

Новокузнецк
2025

СибГИУ
Подлинник электронного документа хранится в системе электронного согласования документов СибГИУ
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭП
Сертификат: f751bff68056aa81d7a4109cd019dba418043418
Владелец: Директор ИМиМ Уманский Александр Александрович
Действителен: с 17 мая 2024 г. по 10 августа 2025 г.
Дата и время: 06-06-2025 12:15:03 ПРОВЕРИТЬ ПОДПИСЬ

1 Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Целями учебной дисциплины являются:

– – формирование у обучающихся знаний и навыков для понимания законов и основных физико-математических моделей переноса теплоты и массы применительно к теплоустановкам.

Задачами учебной дисциплины являются:

– – научить обучающихся проводить расчёты основных способов переноса тепловых потоков, а также температурных полей в потоках жидкостей и газов, в элементах конструкций теплоустановок с целью интенсификации процессов тепломассообмена.

2 Место учебной дисциплины в структуре ООП по направлению подготовки (специальности)

Учебная дисциплина относится к учебным дисциплинам обязательной части **Блока 1 «Дисциплины (модули)»** ООП по направлению подготовки (специальности) 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Учебная дисциплина базируется на предварительном усвоении обучающимися учебных дисциплин:

– Математика;
– Физика;
– Химия.

Учебная дисциплина дополняет знания и умения, получаемые по одновременно изучаемым и последующим учебным дисциплинам:

– Котельные установки и парогенераторы;
– Тепломассообменное оборудование предприятий;
– Техническая термодинамика;
– Гидрогазодинамика;
– Основы теории горения.

3 Планируемые результаты обучения по учебной дисциплине

Процесс изучения учебной дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– Общепрофессиональные компетенции

Наименование категории (группы) ОПК	Код и наименование ОПК	Код и наименование индикатора достижения ОПК	Планируемые результаты обучения
	ОПК-3: Способен применять соответствующий	ОПК-3.2 Применяет основные законы и методы при	– знать: основные законы тепломассообмена.

	физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	решении практических задач	– уметь: использовать основные законы тепломассообмена при решении практических задач.
Теоретическая профессиональная подготовка	ОПК-4: Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	ОПК-4.1 Демонстрирует понимание основных законов движения жидкости и газа	– знать: основные законы движения жидкости и газа. – уметь: использовать законы движения жидкости и газа при решении задач тепломассообмена.
		ОПК-4.3 Понимает основные законы термодинамики и термодинамических соотношений	– знать: основные законы термодинамики. – уметь: использовать законы термодинамики и термодинамических соотношений при решении задач тепломассообмена.

4 Объем и содержание учебной дисциплины

Учебные занятия по учебной дисциплине проводятся в форме контактной работы и в форме самостоятельной работы обучающихся.

Контактная работа включает в себя занятия лекционного типа (лекции), занятия семинарского типа (семинары, практические занятия, практикумы, лабораторные работы, коллоквиумы), промежуточную аттестацию обучающихся и иные формы взаимодействия обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации ООП на иных условиях, в том числе при проведении промежуточной аттестации обучающихся. Контактная работа может проводиться с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

Объем учебной дисциплины

Сессия / курс	***ИТОГО***	***1 сессия / 2 курс***	***2 сессия / 2 курс***	***3 сессия / 2 курс***
Форма промежуточной			*зачет*	*экзамен*

аттестации					
Трудоёмкость	*академ. час.*	***324***	*36*	*108*	*180*
	зачетных единиц	***9***	*1*	*3*	*5*
Лекции, *академ. час.*		***8***	*2*	*2*	*4*
в форме практической подготовки		***0***	*0*	*0*	*0*
Лабораторные работы, *академ. час.*		***4***	*0*	*0*	*4*
в форме практической подготовки		***0***	*0*	*0*	*0*
Практические занятия, *академ. час.*		***8***	*0*	*0*	*8*
в форме практической подготовки		***0***	*0*	*0*	*0*
Курсовая работа / проект, *академ. час.*		***0***	*0*	*0*	*0*
в форме практической подготовки		***0***	*0*	*0*	*0*
Консультации, *академ. час.*		***0***	*0*	*0*	*0*
в форме практической подготовки		***0***	*0*	*0*	*0*
Самостоятельная работа, *академ. час.*		***291***	*34*	*102*	*155*
в форме практической подготовки		***0***	*0*	*0*	*0*
Контроль, *академ. час.*		***13***	*0*	*4*	*9*
в форме практической подготовки		***0***	*0*	*0*	*0*

Содержание учебной дисциплины

Раздел 1 Введение. (Виды теплообмена.);

Раздел 2 Теплопроводность (Основные положение теории теплопроводности. Температурное поле. Градиент температур. Тепловой поток. Коэффициент теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Краевые условия. Теплопроводность при стационарном режиме. Теплопроводность через однослойную плоскую стенку. Теплопроводность через многослойную плоскую стенку. Теплопроводность через однослойную цилиндрическую стенку. Теплопроводность через многослойную цилиндрическую стенку. Теплопроводность при нестационарном режиме. Расчёт нестационарной теплопроводности неограниченной плоской пластины);

Раздел 3 Конвективный теплообмен (Основы теории конвективного теплообмена. Дифференциальные уравнения теплоотдачи. Краевые условия. Основы теории подобия. Подобие процессов конвективного теплообмена. Условия подобия конвективного

теплообмена при вынужденном движении теплоносителя. Условия подобия процессов теплообмена при естественной кон¬векции. Условия подобия процессов конвективного теплообмена при совместном свободно-вынужденном движении теплоносителя. Конвективный теплообмен в вынужденном и свободном потоке жидкости. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости вдоль плоской поверхности (пластины). Теплоотдача при вынужденном ламинарном течении жидкости в трубах. Теплоотдача при турбулентном движении жидкости в трубах. Теплоотдача при поперечном омывании одиночной трубы. Теплоотдача при поперечном омывании пучков труб. Теплоотдача при свободном движении жидкости. Теплообмен при изменении агрегатного состояния вещества. Теплоотдача при кипении жидкости. Теплоотдача при конденсации пара.);

Раздел 4 Тепловое излучение (Основные понятия. Виды лучистых потоков. Законы теплового излучения. Лучистый теплообмен между телами, разделёнными прозрачной средой. Экраны для защиты от излучения. Особенности излучения газов. Сложный теплообмен.);

Раздел 5 Тепловой расчёт теплообменных аппаратов (Общие положения. Теплопередача. Теплопередача через плоскую однослойную и многослойную стенки. Теплопередача теплоты через цилиндрическую однослойную и многослойную стенки. Расчёт рекуперативных теплообменных аппаратов.).

5 Перечень тем лекций

№ раздела / темы дисциплины	**Темы лекций**	**Трудоемкость, *академ.час***	
		всего	**в форме практической подготовки**
Раздел 1.	Введение.	1	
Раздел 2.	Теплопроводность	2	
Раздел 3.	Конвективный теплообмен	2	
Раздел 4.	Тепловое излучение	2	
Раздел 5.	Тепловой расчёт теплообменных аппаратов	1	
Итого:		**8**	**0**

6 Перечень тем практических занятий (семинаров)

№ раздела / темы дисциплины	**Темы практических занятий (семинаров)**	**Трудоемкость, *академ.час***	
		всего	**в форме практической подготовки**
Раздел 2.	1.Закон Фурье для плоской многослойной стенки. 2.Расчеты линейной плотности теплового потока для ци-линдрической	2	

	многослойной стенки. 3.Расчет нагрева металла		
Раздел 3.	.Расчет конвективного коэффициента теплоотдачи с использованием критериальных уравнений.	2	
Раздел 4.	1.Расчет результирующего теплового потока излучением для систем излучения с лучепрозрачной и поглощающей средой. 2.Расчеты теплового потока с использованием суммарного коэффициента теплоотдачи.	2	
Раздел 5.	1.Теплопередача в теплообменных аппаратах. Коэффициент теплопередачи. Среднелогарфмическая разность температур между подвижными теплоносителями. 2.Расчет плотности теплового потока при теплопередаче.	2	
Итого:		**8**	**0**

7 Перечень тем лабораторных работ

№ раздела / темы дисциплины	**Темы лабораторных работ**	**Трудоемкость, *академ.час***	
		всего	**в форме практической подготовки**
Раздел 2.	1.Исследование стационарной теплопроводности через плоскую двухслойную стенку. 2.Нагрев стальной заготовки при постоянной температуре печи.	2	
Раздел 5.	Исследование рекуперативного теплообменника.	2	
Итого:		**4**	**0**

8 Перечень тем курсовых работ (проектов)

№ раздела / темы дисциплины	**Темы курсовых работ (проектов)**	**Трудоемкость, *академ.час***	
		всего	**в форме практической**

			подготовки
	Отсутствуют		
Итого:		**0**	**0**

9 Виды самостоятельной работы

№ раздела / темы дисциплины	**Виды самостоятельной работы**	**Трудоемкость, *академ.час***	
		всего	**в форме практической подготовки**
Раздел 1.	1. Изучение лекционного материала; 2. Прохождение тестирования.	31	
Раздел 2.	1. Изучение лекционного материала; 2. Контрольная работа; 3. Подготовка к лабораторной работе; 4. Подготовка к практическому занятию; 5. Прохождение тестирования.	65	
Раздел 3.	1. Изучение лекционного материала; 2. Контрольная работа; 3. Подготовка к практическому занятию; 4. Прохождение тестирования.	65	
Раздел 4.	1. Изучение лекционного материала; 2. Контрольная работа; 3. Подготовка к практическому занятию; 4. Прохождение тестирования.	65	
Раздел 5.	1. Изучение лекционного материала; 2. Подготовка к лабораторной работе; 3. Подготовка к практическому занятию; 4. Прохождение тестирования.	65	
Контроль	*Подготовка к экзамену*	9	
Контроль	*Подготовка к зачёту*	4	
Итого:		**304**	**0**

10 Матрица компетентностных задач по учебной дисциплине

Контролируемые	**Контролируемые**	**Оценочные средства**

разделы (темы) дисциплины	компетенции	
Раздел 1.	ОПК-3; ОПК-4	1. Вопросы для устного обсуждения (опроса); 2. Тестовые задания
Раздел 2.	ОПК-3; ОПК-4	1. Вопросы для устного обсуждения (опроса); 2. Контрольная работа; 3. Наблюдение за работой на лабораторной работе; 4. Наблюдение за работой на практическом занятии; 5. Тестовые задания
Раздел 3.	ОПК-3; ОПК-4	1. Вопросы для устного обсуждения (опроса); 2. Контрольная работа; 3. Наблюдение за работой на практическом занятии; 4. Тестовые задания
Раздел 4.	ОПК-3; ОПК-4	1. Вопросы для устного обсуждения (опроса); 2. Контрольная работа; 3. Наблюдение за работой на практическом занятии; 4. Тестовые задания
Раздел 5.	ОПК-3; ОПК-4	1. Вопросы для устного обсуждения (опроса); 2. Наблюдение за работой на лабораторной работе; 3. Наблюдение за работой на практическом занятии; 4. Тестовые задания
Зачет.	ОПК-3; ОПК-4	1. Вопросы к зачету; 2. Задачи к зачету
Экзамен.	ОПК-3; ОПК-4	1. Вопросы к экзамену; 2. Задачи к экзамену

11 Входной контроль

11.1 Цель входного контроля – определить начальный уровень подготовленности обучающихся и выстроить индивидуальную траекторию обучения. В условиях личностно-ориентированной образовательной среды результаты входного оценивания обучающегося используются как начальные значения в индивидуальном профиле академической успешности обучающегося.

11.2 Описание оценочных средств

Форма проведения входного контроля – индивидуальный или фронтальный устный опрос. В ходе проведения входного контроля

обучающимся предлагается ответить на вопросы по материалу, изученному в процессе освоения ООП ВО.

Шкала оценивания устных ответов обучающихся

Критерии оценки:

– правильность ответа по содержанию задания (учитывается количество и характер ошибок при ответе);

– полнота и глубина ответа (учитывается количество усвоенных фактов, понятий и т.п.);

– сознательность ответа (учитывается понимание излагаемого материала);

– логика изложения материала (учитывается умение строить целостный, последовательный рассказ, грамотно пользоваться специальной терминологией);

– сопровождение ответа примерами (учитывается умение грамотно и с пользой применять фактический материал для подкрепления теоретического при устном ответе);

– рациональность использования времени, отведенного на ответ (не одобряется затянутость выполнения задания, устного ответа во времени).

Оценку «зачтено» получает обучающийся, если он при собеседовании обнаруживает знание и понимание материала, может обосновать свои суждения, применить знания на практике, привести необходимые примеры, в том числе и самостоятельно составленные; при ответе на вопросы излагает материал последовательно и правильно, полно и аргументировано отвечает по содержанию задания; рационально использует время, отведенное на ответ.

Оценку «не зачтено» получает обучающийся, который не рационально использует время, отведенное на ответ; обнаруживает незнание ответа на соответствующий вопрос; допускает ошибки в формулировке определений и правил, искажающие их смысл; беспорядочно и неуверенно излагает материал. Оценка «не зачтено» отмечает такие недостатки в подготовке обучающегося, которые требуют проведения дополнительных индивидуальных консультаций.

Вопросы для входного контроля знаний обучающихся приведены в приложении.

12 Текущий контроль

12.1 Текущий контроль знаний используется для оперативного и регулярного управления учебной деятельностью (в том числе самостоятельной) обучающихся. Данный вид контроля стимулирует у обучающихся стремление к систематической самостоятельной работе

по изучению учебной дисциплины и позволяет оценить степень освоения изученного материала.

Текущий контроль успеваемости осуществляется в течение семестра, в ходе повседневной учебной работы по индивидуальной инициативе педагогического работника, в том числе посредством использования СУО «Moodle».

Формы проведения текущего контроля – вопросы для устного обсуждения (опроса); контрольная работа; наблюдение за работой на лабораторной работе; наблюдение за работой на практическом занятии; тестовые задания.

12.2 Описание оценочных средств

Шкалы оценивания (методики оценки)

12.2.1 Рекомендации по оцениванию устных ответов обучающихся

С целью контроля и подготовки обучающихся к изучению новой темы в начале занятия лекционного типа (лекции) педагогическим работником проводится индивидуальный или фронтальный устный опрос по выполненным заданиям предыдущего раздела (темы).

Критерии оценки:

– правильность ответа по содержанию задания (учитывается количество и характер ошибок при ответе);

– полнота и глубина ответа (учитывается количество усвоенных фактов, понятий и т.п.);

– сознательность ответа (учитывается понимание излагаемого материала);

– логика изложения материала (учитывается умение строить целостный, последовательный рассказ, грамотно пользоваться специальной терминологией);

– рациональность использованных приемов и способов решения поставленной учебной задачи (учитывается умение использовать наиболее прогрессивные и эффективные способы достижения цели);

– своевременность и эффективность использования наглядных пособий и технических средств при ответе (учитывается умение грамотно и с пользой применять наглядность и демонстрационный опыт при устном ответе);

– использование дополнительного материала (обязательное условие);

– рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения задания, устного ответа во времени).

Оценка «отлично» ставится, если обучающийся:

– полно и аргументировано отвечает по содержанию задания;

– обнаруживает понимание материала, может обосновать свои суждения, применить знания на практике, привести необходимые примеры, в том числе самостоятельно составленные;

– излагает материал последовательно и правильно.

Оценка «хорошо» ставится, если обучающийся дает ответ, удовлетворяющий тем же требованиям, что и для оценки «отлично», но допускает 1 – 2 ошибки, которые сам же исправляет.

Оценка «удовлетворительно» ставится, если обучающийся обнаруживает знание и понимание основных положений данного задания, но:

– излагает материал неполно и допускает неточности в определении понятий или формулировке правил;

– не умеет достаточно глубоко и доказательно обосновать свои суждения и привести свои примеры;

– излагает материал непоследовательно и допускает ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если обучающийся обнаруживает незнание ответа на соответствующее задание, допускает ошибки в формулировке определений и правил, искажающие их смысл, беспорядочно и неуверенно излагает материал. Оценка «неудовлетворительно» отмечает такие недостатки в подготовке обучающегося, которые являются серьезным препятствием к успешному освоению последующего материала.

12.2.2 Рекомендации по оцениванию контрольной работы

Контрольная работа – это самостоятельная форма учебной деятельности обучающегося, которая осуществляется без непосредственного руководства и контроля со стороны педагогического работника, но по его поручению.

Критерии оценки:

– правильность ответа по содержанию задания (учитывается количество и характер ошибок при ответе);

– полнота и глубина ответа (учитывается количество усвоенных фактов, понятий и т.п.);

– сознательность ответа (учитывается понимание излагаемого материала);

– логика изложения материала (учитывается умение строить целостный, последовательный ответ, грамотно пользоваться специальной терминологией);

– рациональность использованных приемов и способов решения поставленной учебной задачи (учитывается умение использовать наиболее прогрессивные и эффективные способы достижения цели);

– использование при ответе требований нормативных документов, учебной литературы (обязательное условие);

– использование графических элементов с целью выделения особо значимой информации: таблиц, схем, рисунков и т.п.

Критерии оценки контрольной работы

Наименование параметра оценки	Оценка
Обучающийся выполнил задание в полном объёме; полно и аргументировано отвечает по содержанию задания; обнаруживает понимание материала; может обосновать свои суждения, применить знания на практике, привести необходимые примеры, в том числе самостоятельно составленные; излагает материал последовательно и правильно.	отлично
Обучающийся выполнил задание, удовлетворяющее тем же требованиям, что и для оценки «отлично», но допускает несколько незначительных ошибок.	хорошо
Обучающийся обнаруживает знание и понимание основных положений задания, но излагает материал неполно и допускает неточности в определении понятий или формулировке ответа; не умеет достаточно глубоко и доказательно обосновать свои суждения и привести примеры; излагает материал непоследовательно и допускает ошибки.	удовлетворительно
Обучающийся обнаруживает незнание ответа на соответствующее задание, допускает ошибки в формулировке определений или ответа в целом, искажающие их смысл, беспорядочно и неуверенно излагает материал. Оценка «неудовлетворительно» отмечает такие недостатки в подготовке обучающегося, которые являются серьезным препятствием к успешному освоению последующего материала.	неудовлетворительно

12.2.3 Рекомендации по оцениванию результатов тестирования обучающихся

Тестирование проводится по изученным разделам (темам) учебной дисциплины для выявления уровня знаний и умений обучающегося, мотивирования обучающегося к активизации самостоятельной работы по усвоению учебного материала, выявления и устранения пробелов в знаниях, повышения дисциплины и организации учебной деятельности обучающегося.

Тестирование проводится в СУО «Moodle» в рамках часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся. Для тестирования используется 20 вопросов из базы типовых тестовых заданий по изученным разделам (темам) учебной дисциплины. Обучающийся выбирает один ответ из предложенных вариантов ответа. В случае выбора неправильного ответа обучающийся получает за данный вопрос 0 баллов; в случае правильного ответа – 1 балл.

Оценка формируется в соответствии с критериями таблицы:

Максимальный балл	Проходной балл	Оценка
20	не менее 18	отлично

17	не менее 14	хорошо
13	не менее 10	удовлетворительно
9	–	неудовлетворительно

12.2.4 Рекомендации по оцениванию в процессе наблюдения за работой на практическом занятии

Наблюдение за работой на практическом занятии – важнейший компонент контроля деятельности обучающихся и качества их обучения.

Критерии оценки в процессе наблюдения за работой на практическом занятии:

– самостоятельность выполнения задания и работы с методическими указаниями (учитывается работа в течение занятия, быстрота и способность нахождения в методических указаниях нужной информации);

– правильность выполнения работы (учитывается последовательность выполняемых действий, умение работать с инструментами и/или средствами вычислительной техники);

– рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения работы с учетом индивидуальных особенностей обучающихся);

– активность обучающегося при выполнении практической работы (учитывается индивидуальная работа и работа в группе).

Критерии оценки по результатам наблюдения за работой на практическом занятии

Наименование параметра оценки	Максимальное количество баллов
Самостоятельно выполняет задания; умеет работать с методическими указаниями.	2,5
Указанные в методических указаниях действия выполняет в правильной последовательности; умеет работать с инструментами и/или средствами вычислительной техники.	1,25
Рационально использует время, отведенное на задание; проявляет активность при выполнении практической работы.	1,25
Итого	**5**

Максимальное количество – 5 баллов соответствует оценке «отлично», 4 балла – «хорошо», 3 балла – «удовлетворительно», 2 балла – «неудовлетворительно».

12.2.5 Рекомендации по оцениванию в процессе наблюдения за работой на лабораторном занятии

Наблюдение за работой на лабораторном занятии – важнейший компонент контроля деятельности обучающихся и качества их обучения.

Критерии оценки в процессе наблюдения за работой на лабораторном занятии:

– самостоятельность выполнения задания и работы с методическими указаниями (учитывается работа в течение занятия, быстрота и способность нахождения в методических указаниях нужной информации);

– правильность выполнения работы (учитывается последовательность выполняемых действий, умение работать с инструментами и/или средствами вычислительной техники);

– рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения работы с учетом индивидуальных особенностей обучающихся);

– активность обучающегося при выполнении лабораторной работы (учитывается индивидуальная работа и работа в группе).

Критерии оценки по результатам наблюдения за работой на лабораторном занятии

Наименование параметра оценки	Максимальное количество баллов
Самостоятельно выполняет задания; умеет работать с методическими указаниями.	2,5
Указанные в методических указаниях действия выполняет в правильной последовательности; умеет работать с инструментами и/или средствами вычислительной техники.	1,25
Рационально использует время, отведенное на задание; проявляет активность при выполнении лабораторной работы.	1,25
Итого	**5**

Максимальное количество – 5 баллов соответствует оценке «отлично», 4 балла – «хорошо», 3 балла – «удовлетворительно», 2 балла – «неудовлетворительно».

Задания и вопросы для текущего контроля знаний обучающихся по разделам (темам) учебной дисциплины приведены в приложении.

13 Промежуточная аттестация

13.1 Оценочные материалы для промежуточной аттестации обучающихся по учебной дисциплине предназначены для оценки степени достижения запланированных результатов обучения по завершению изучения учебной дисциплины в установленной учебным планом форме и позволяют определить качество усвоения изученного материала.

Итоговой формой контроля сформированности компетенций у обучающихся по учебной дисциплине является: зачет; экзамен.

Оценочные материалы для промежуточной аттестации обучающихся включают: вопросы к зачету; вопросы к экзамену; задачи к экзамену.

13.2 Оценивание обучающегося на зачете

Оценка	Требования к знаниям
зачтено	Оценка «зачтено» выставляется обучающемуся, если он твердо знает программный материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, обладает необходимыми умениями и приемами их выполнения, а также имеет достаточно полное представление о значимости знаний по учебной дисциплине.
не зачтено	Оценка «не зачтено» выставляется обучающемуся, который не знает значительной части программного материала, неуверенно отвечает, допускает серьезные ошибки, не имеет представлений по методике выполнения практической работы. Как правило, оценка «не зачтено» ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по данной учебной дисциплине.

13.3 Оценивание обучающегося на экзамене

Оценка	Требования к знаниям
отлично	Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал различной литературы, правильно обосновывает принятое нестандартное решение, обладает приемами выполнения практических задач по формированию компетенций.
хорошо	Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, обладает необходимыми умениями и приемами их выполнения.
удовлетворительно	Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, испытывает сложности при выполнении практических работ и затрудняется связать теорию вопроса с практикой.
неудовлетворительно	Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает значительной части программного материала, неуверенно отвечает, допускает серьезные ошибки, не имеет представлений по методике выполнения практической работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по данной учебной дисциплине.

Задания и вопросы для промежуточной аттестации обучающихся приведены в приложении.

14 Учебно-методическое и информационное обеспечение учебной дисциплины

а) литература:

1 Дерюгин, В. В. Тепломассообмен : учебное пособие / В. В. Дерюгин, В. Ф. Васильев, В. М. Уляшева. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 240 с. — ISBN 978-5-8114-3027-7. – URL: https://e.lanbook.com/book/107285 (дата обращения: 05.06.2025);

2 Практикум по теплопередаче : учебное пособие для вузов / А. П. Солодов, Ф. Ф. Цветков, А. В. Елисеев, В. А. Осипова ; под ред. А. П. Солодова. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 297 с.;

3 Самохвалов, Г. В. Тепломассообмен (физико-математические основы) : учебное пособие для вузов / Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк : СибГИУ, 2004. – 119 с. : ил. – Библиогр.: с.119. – ISBN 5780601798. – URL: https://library.sibsiu.ru/LibrEduMethodSectionsEditionsFilesDownload.asp?lngSection=18&lngEdition=56&lngFile=57&strParent=LibrEduMethodSectionsEditionsFiles (дата обращения: 05.06.2025);

4 Теплотехника : учебник для вузов / В. Н. Луканин, М. Г. Шатров, Г. М. Камфер [и др.] ; под ред. В. Н. Луканина. – 7-е изд., испр. – Москва: Высшая школа, 2000. – 671 с.;

5 Замалеев, З. Х. Основы гидравлики и теплотехники : учебное пособие / З. Х. Замалеев, В. Н. Посохин, В. М. Чефанов. – 1-е изд. – Санкт-Петербург : Лань, 2014. – 352 с. – ISBN 978-5-8114-1531-1. – URL: https://e.lanbook.com/book/39146 (дата обращения: 05.06.2025).

б) ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

1 Электронный каталог : сайт / Научно-техническая библиотека СибГИУ. – Новокузнецк, [199 –]. – URL: http://libr.sibsiu.ru. – URL: https://libr.sibsiu.ru;

2 Электронная библиотека // Научно-техническая библиотека СибГИУ : сайт. – Новокузнецк, [200 –]. – URL: http://library.sibsiu.ru/LibrELibraryFullText.asp. – Режим доступа: для авторизир. пользователей. – URL: https://library.sibsiu.ru/LibrELibraryFullText.asp;

3 Консультант студента : электронно-библиотечная система / ООО «КОНСУЛЬТАНТ СТУДЕНТА». – Москва, [200 –]. – URL: http://www.studentlibrary.ru. – Режим доступа: для авторизир. пользователей;

4 ЛАНЬ : электронно-библиотечная система : [коллекция «Единая профессиональная база знаний для технических вузов - Издательство

Лань" ЭБС»] / ООО «Издательство ЛАНЬ». – Санкт-Петербург, [200 –]. – URL: http://e.lanbook.com. – Режим доступа: для авторизир. пользователей;

5 Образовательная платформа ЮРАЙТ / ООО «Электронное издательство ЮРАЙТ». – Москва, [200 –]. – URL: https://urait.ru. – Режим доступа: для авторизир. пользователей;

6 Университетская библиотека онлайн : электронно-библиотечная система / ООО «Директ-Медиа». – Москва, [200 –]. – URL: https://biblioclub.ru. – Режим доступа: для авторизир. пользователей. – URL: http://www.biblioclub.ru;

7 Электронная библиотека УМЦ ЖДТ : [коллекция «Эксплуатация железных дорог»] / ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». – Москва, [2013 –]. – URL: https://umczdt.ru/books/. – Режим доступа: для авторизир. пользователей;

8 НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА eLIBRARY.RU : база данных / ООО «НЭБ». – Москва, [200 –]. – URL: http://elibrary.ru. – Режим доступа: по подписке;

9 Электронные периодические издания ИВИС : универсальная база данных / ООО «ИВИС». – Москва, [200 –]. – URL: http://eivis.ru. – Режим доступа: по подписке.

в) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– 7-Zip;
– Adobe Acrobat Reader;
– Astra Linux Special Edition;
– Kaspersky Endpoint Security;
– Microsoft Office;
– Microsoft Windows;
– OnlyOffice;
– Р7-Офис.

г) базы данных и информационно-справочные системы:

1 ГАРАНТ : справочно-правовая система / ООО «Правовой центр «Гарант». – Кемерово, [200 –]. – Режим доступа: компьютерная сеть Сиб. гос. индустр. ун-та.;

2 КонсультантПлюс : справочно-правовая система / ООО «Информационный центр АНВИК». – Новокузнецк, [199 –]. – Режим доступа: компьютерная сеть библиотеки Сиб. гос. индустр. ун-та.;

3 Техэксперт : информационно-справочная система / ООО «Группа компаний «Кодекс». – Кемерово, [200 –]. – Режим доступа: компьютерная сеть Сиб. гос. индустр. ун-та.

15 Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины включает учебные аудитории, оснащенные оборудованием, компьютерной техникой, и техническими средствами обучения, в том числе:
- учебную аудиторию для проведения занятий лекционного типа, оборудованную учебной доской, экраном и мультимедийным проектором;
- учебную аудиторию для проведения занятий семинарского типа (практических занятий);
- учебную аудиторию для проведения занятий семинарского типа (лабораторных работ);
- учебную аудиторию (помещения) для групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду, научно-техническую библиотеку СибГИУ.

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Составитель(и):

старший преподаватель Медведская Елена Васильевна (кафедра теплоэнергетики и экологии).

Рабочая программа дисциплины рассмотрена и утверждена на заседании кафедры.

Согласована:

Начальник техбюро производственно-технического отдела ООО «Центральная ТЭЦ»  А.Ю. Поромов

Приложение

Вопросы для входного контроля знаний обучающихся

1.Что такое теплота?
2.Единицы измерения теплоты?
3.Что такое работа?
4. Единицы измерения работы?
5.Как перевести ккал в кДж?
6 Как перевести ккал/ч в Вт?
7.Как связаны теплота и мощность?
8.Что такое утилизация тепла?
9.Как связаны кДж и кВт?

Задания и вопросы для текущего контроля знаний обучающихся по разделам учебной дисциплины

Раздел 1. Теплопроводность

1 Устный опрос на лекции

Перечень вопросов для устного опроса:

1. Что называют температурным полем, градиентом температуры?
2. Дайте определение изотермической поверхности и изотермы.
3. Дайте определение и назовите единицы измерения следующих физических величин: тепловой поток, плотность теплового потока, коэффициент теплопроводности.
4. Сформулируйте законы Фурье и Ньютона – Рихмана.
5. Перечислите диапазон значений коэффициента теплопроводности металлов, неметаллов, жидкостей и газов

2 Тестирование по результатам освоения лекционного материала и самостоятельной работы

Тестирование проводится для определения степени усвоения материалов лекций, а также выполнения самостоятельной работы в рамках часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся, в СУО «Moodle».

Перечень вопросов для тестирования:

1. Теплопроводность

a. Перенос тепла в движущихся жидкостях или газах за счет перемещения объемов среды из области с одной температурой в область с другой

b. Процесс теплообмена между двумя средами, разделенными твердой перегородкой

c. Перенос тепла за счет хаотического теплового движения или тепловых колебаний микрочастиц

d. Передача тепла с помощью электромагнитных волн

e. Процесс теплообмена, протекающий в двухфазной системе на границе раздела фаз

2. *Понятие температурного поля*

a. Совокупность значений координат точек тела, определяющих его среднюю температуру

b. Геометрическое место точек , имеющих одинаковую температуру

c. Совокупность значений температур, неизменных во времени

d. Совокупность значений температур на границах тела

e. Совокупность значений температур для всех точек пространства в данный момент времени

3. *Понятие градиента температуры*

a. Совокупность значений температур на границах тела

b. Геометрическое место точек , имеющих одинаковую температуру

c. Совокупность значений температур для всех точек пространства в данный момент времени

d. Совокупность значений температур, неизменных во времени

e. Вектор, направленный по нормали к изотермической поверхности в сторону возрастания температуры, численно равный первой производной температуры по этой нормали

4. *Условие стационарности температурного поля* _____

5. *Условие нестационарности температурного поля*_____

6. *Гипотеза (постулат) Фурье*

a. $q = -\lambda \text{ grad } t$

b. $q = -\lambda \, dt/d\tau$

c. $\text{grad } t = dt/dx$

d. $dt/d\tau = a \, d^2t/dx^2$

e. $q = -\lambda/\delta \text{ grad } t$

7. *Факторы, влияющие на коэффициент теплопроводности*

a. Не зависит ни от каких факторов

b. Температура, толщина стенки

c. Свойства материала, температура

d. Свойства материала, толщина стенки

e. Толщина стенки

8. *Размерность коэффициента теплопроводности*

a. (Вт/м^2 К)

b. (Дж/кг К)

c. (Вт/м К)

d. (Вт/с м^2 К)

e. (м^2 /с)

9. *Уравнение для определения плотности теплового потока через однослойную плоскую стенку*

a. $q = \alpha (t_1 - t_2)$

b. $q = \delta/\lambda (t_1 - t_2)$

c. $q = \lambda/\delta\ (t_1 - t_2)$

d. $q = k S \Delta t_{ср}$

e. $q = \varepsilon_{пр} C_0 (T_1/100)^4 - (T_2/100)^4$

10. Физический смысл коэффициента теплопроводности

a. Количество тепла, необходимое для нагрева 1 кг вещества на 1°С

b. Количество тепла, проходящее в единицу времени через проводник длиной 1м при перепаде температур на концах этого проводника в 1°С

c. Количество тепла, проходящее в единицу времени через единицу поверхности от одной среды к другой через разделительную стенку при разности температур между этими средами в 1°С

d. Количество тепла, проходящее в единицу времени через единицу поверхности при разности температур между поверхностью и средой в 1°С

e. Скорость распространения теплового потока

11. В уравнении Фурье $q = -\lambda dt/dn$ величина λ - это коэффициент_____

12.В уравнении Фурье $q = -\lambda dt/dn$ величина dt/dn – это _____

13.Толщина стенки – 500мм, коэффициент теплопроводности – 20Вт/м К . Тепловое сопротивление стенки равно_____

14.Размерность теплового сопротивления стенки

a.$м^2$ К/ Вт

b.Вт/($м^2$ К)

c.$м^3$ К/ Вт

d.Вт/ (м К)

e.К/Вт

15.Коэффициент теплопроводности твердого тела зависит от:

a. Толщины материала

b. Давления

c. Температуры

d. Химического состава материала

4 Выполнение практических работ

Задания для практических работ, теоретический и методический материал для самостоятельного изучения и вопросы для собеседования представлены в методических указаниях к практическим занятиям.

Задача 1. Определить плотность теплового потока, передаваемого через плоскую стенку от газа к воде, если температура газа 1000 °С, коэффициент теплоотдачи от газа к стенке α_1 = 35 Вт/(м2·К), температура воды 150 °С, коэффициент теплоотдачи от стенки к воде α_2= 5830 Вт/(м К). Толщина стенки 10 мм, коэффициент теплопроводности материала λ = 58,3 Вт/(м·К). Определить также температуру стенки со стороны воды и со стороны газа. Решить эту же задачу, если стенка со стороны воды покрыта накипью ($\lambda_н$ = 0,93

Вт/(м·К)) толщиной 5 мм, а со стороны газа покрыта сажей толщиной 1 мм (λ_c = 0,093 Вт/(м·К)).

Задача 2. Стальной паропровод наружным/внутренним диаметрами 110/112 мм (коэффициент теплопроводности стали λ= 50 Вт/(м·К)) покрыт двумя слоями тепловой изоляции: толщина первого слоя 50 мм (λ_1 = 0,06 Вт/(м·К)), толщина второго слоя 60 мм (λ_2 = 0,12 Вт/(м·К)). Определить потери теплоты с единицы длины трубо-провода и температуру на границе соприкосновения слоев тепловой изоляции, если внутри трубы течет вода, температура которой 80 °С, коэффициент теплоотдачи от воды к внутренней стенке трубы α_1 = 3500 Вт/(м^2·К), а снаружи находится воздух, его температура 10 °С, коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности изоляции к воздуху α_2 = 11 Вт/(м^2·К).

Задача 3. Стальная болванка цилиндрической формы диаметром 200 мм и длиной 400 мм в начальный момент времени имеет температуру 800 °С. Болванка охлаждается на воздухе, имеющем температуру 20 °С. Определить температуру в центре болванки (на ее оси) через 60 минут после начала охлаждения. Коэффициент теплоотдачи 100 Вт/($м^2 \cdot$ К). Коэффициент теплопроводности стали 25 Вт/(м·К), коэффициент температуропроводности 0,0216 $м^2$/час.

5 Выполнение лабораторных работ

Задания для лабораторных работ, теоретический и методический материал для самостоятельного изучения и вопросы для собеседования представлены в методических указаниях к лабораторным работам.

Лабораторная работа 1.

Исследование стационарной теплопроводности через плоскую двухслойную стенку

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы:

1.Привести примеры передачи теплоты теплопроводностью.

2.Какое свойство вещества характеризует коэффициент теплопроводности?

3.Каков характер изменения коэффициента теплопроводности магнезита и шамота с ростом температуры?

Лабораторная работа 2.

Нагрев стальной заготовки при постоянной температуре печи

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы:

1.Опишите порядок выполнения лабораторной работы.

2.Почему температура печи не может быть идеально постоянной?

3.Какие вы знаете граничные условия нагрева?

4.Что задаётся в начальных условиях для дифференциального уравнения теплопроводности?

6 Выполнение контрольной работы

Контрольная работа, теоретический и методический материал для самостоятельного её выполнения представлены в методических указаниях к практическим занятиям и организации самостоятельной работы обучающихся.

Задание. Определить потери тепла через кладку печи размерами a * b * h в условиях стационарного режима, если температура внутренней поверхности кладки равна tкл, температура окружающей среды tокр. Толщина шамотной кладки δшам , толщина изоляционной кладки из диатомитового кирпича δдиат.

Варианты заданий:

Вариант Величина	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Длина a, м	0,75	0,75	0,75	0,75	0,9	1,2	1,2	1,2	0,75
Ширина b, м	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,9	0,9	0,9	0,6
Высота h, м	0,5	0,5	0,5	0,5	0,75	0,7	0,7	0,7	0,5
Толщина слоя шамота $\delta_{шам}$, м	0,46	0,46	0,46	0,23	0,46	0,46	0,23	0,115	0,46
Толщина слоя диатомита $\delta_{диат}$, м	0,23	0,115	0,23	0,115	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
Температура кладки $t_{кл}$, °C	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1500
Температура среды $t_{окр}$, °C	-30	-30	20	-30	20	20	20	20	20

Варианты заданий:

Величина и вариант	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Длина a, м	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	1,4	1,2	0,75
Ширина b, м	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	1,2	0,9	0,6
Высота h, м	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,9	0,7	0,5
Толщина слоя шамота $\delta_{шам}$, м	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,345	0,46
Толщина слоя диатомита $\delta_{диат}$, м	0,23	0,345	0,23	0,23	0,465	0,23	0,23	0,23	0,23
Температур	1000	1200	1200	1200	1200	1350	1200	1200	1200

а кладки $t_{кл}$, °С									
Температура среды $t_{окр}$, °С	20	-30	20	-50	-30	20	20	20	40

Справочные данные :

Коэффициент теплопроводности шамотного кирпича λ = 0,88 Вт/(м*К)

Коэффициент теплопроводности диатомитового кирпича λ = 0,163 Вт/(м*К)

Раздел 2. Конвективный теплообмен

1 Устный опрос на лекции

Перечень вопросов для устного опроса:

1. В чем сущность конвективного теплообмена?
2. Почему в конвективном теплообмене при переходе ламинарного движения в турбулентное условия теплообмена улучшаются?
3. Какие режимы движения жидкости существуют и как их отличить?
4. Что такое определяющий размер?
5. Что определяет число Рейнольдса?
6. Для чего используется теория подобия?
7. Каков физический смысл коэффициента теплоотдачи и от каких факторов он зависит?
8. Из какого числа подобия можно вычислить коэффициент теплоотдачи?
9. Влияет ли вязкость жидкости на коэффициент теплоотдачи?
10. Каково строение потока при ламинарном, турбулентном режимах течения и как осуществляется теплоотдача в этих условиях?

3 Тестирование по результатам освоения лекционного материала и самостоятельной работы

Тестирование проводится для определения степени усвоения материалов лекций, а также выполнения самостоятельной работы в рамках часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся, в СУО «Moodle».

Перечень вопросов для тестирования:

1.Конвекция

a.Процесс теплообмена между двумя средами, разделенными твердой перегородкой

b.Процесс теплообмена, протекающий в двухфазной системе на границе раздела фаз

c.Перенос тепла за счет хаотического теплового движения или тепловых колебаний микрочастиц

d.Перенос тепла в движущихся жидкостях или газах за счет перемещения объемов среды из области с одной температурой в область с другой

e. Передача тепла с помощью электромагнитных волн

2.Закон Ньютона-Рихмана

a. $q = \alpha (t_1 – t_2)$

b. $q = \delta / \lambda (t_1 – t_2)$

c. $q = \lambda / \delta (t_1 – t_2)$

d. $q = k S \Delta t_{ср}$

e. $q = \varepsilon_{пр} C_0 (T_1/100)^4 – (T_2/100)^4$

3.Физический смысл коэффициента теплоотдачи

a.Количество тепла, необходимое для нагрева 1 кг вещества на 1^oC

b.Количество тепла, проходящее в единицу времени через проводник длиной 1м при перепаде температур на концах этого проводника в 1^oC

c. Количество тепла, проходящее в единицу времени через единицу поверхности от одной среды к другой через разделительную стенку при разности температур между этими средами в 1^oC

d.Количество тепла, проходящее в единицу времени через единицу поверхности при разности температур между поверхностью и средой в 1^oC

e.Скорость распространения теплового потока

4.Размерность коэффициента теплоотдачи

a.($Вт/м^2 К$)

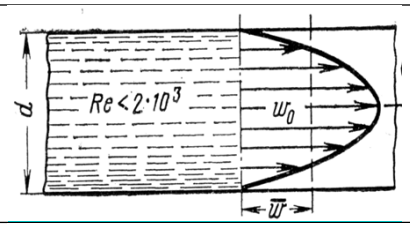
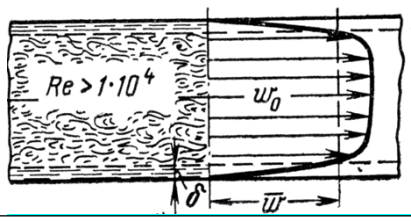
b.(Дж/кг К)

c.(Вт/м К)

d.($Вт/с м^2 К$)

e.($м^2$ /с)

5. Установите соответствие между режимами течения жидкости или газа и схемами распределения скоростей по сечению потока

А) ламинарный режим течения	
Б) турбулентный режим течения	

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б

6.Установите соответствие между уравнениями, описывающими конвективный теплообмен

А) *уравнение подобия свободной конвекции*	1. Nu = f (Gr, Pr)
Б) *уравнение подобия вынужденной конвекции*	2. Nu = f (Re, Pr)

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б

7. Установите соответствие между критериями подобия

А) критерий Рейнольдса	1.характеризует соотношение подъемных сил к силе вязкости
Б) критерий Нуссельта	2.характеризует теплофизические свойства жидкости
В) критерий Прандтля	3.характеризует интенсивность конвективного теплообмена на границе твердое тело-жидкость
Г) критерий Грасгофа	4.характеризует режим движения жидкости

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г

8. Установите соответствие между режимами течения жидкости или газа и значением критерия Рейнольдса

А) ламинарный режим течения	3. $2100 \geq Re \geq 2300$
Б) турбулентный режим течения	4. $Re < 2100$
В) переходный режим течения	5. Re > 2300

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В

9.Теория подобия применяется

a. Для расчета задач теплопроводности

b. С ее помощью зависимости, полученные для одного процесса или явления, можно распространить на целый класс подобных процессов или явлений

c. Для нахождения чисел подобия

d. Для расчета лучистого теплообмена

10.В числе Грасгофа $\mathbf{Gr = \frac{gl^3}{\nu^2}\beta\Delta t}$ *величина* β *- это коэффициент* _____

11.Какой из перечисленных ниже физических параметров не влияет на коэффициент теплоотдачи α

a.Скорости
b.Плотность
c.Вязкость
d.Температура
e.Степень черноты

12.Значения физических параметров при обработке опытных данных по теплообмену берутся при _____ температуре

4 Выполнение практических работ

Задания для практических работ, теоретический и методический материал для самостоятельного изучения и вопросы для собеседования представлены в методических указаниях к практическим занятиям.

Задача 1. Пластина длиной l = 125 мм омывается продольным потоком воздуха, температура которого $t_ж$= 20 °С, а скорость w = 10 м/с. Определить средний коэффициент теплоотдачи по длине пластины, если температура ее поверхности t_c= 50 °С.

Задача 2. Определить коэффициент теплоотдачи при течении воды в горизонтальной трубе внутренним диаметром d = 10 мм и длиной l = 1,2 м. Температура воды на входе в трубу $t_{ж1}$= 10 °С, на выходе $t_{ж2}$ = 30 °С, средняя по длине трубы температура стенки t_c= 60 °С. Расход воды G = 20 кг/ч.

Задача 3. На вертикальной поверхности высотой 0,3м происходит пленочная конденсация сухого насыщенного водяного пара. Давление пара 2,7 бар, температура поверхности 123°С. Определить средний по поверхности коэффициент теплоотдачи.

Задача 4. На поверхности горизонтальной трубки с наружным диаметром 30 мм и длиной 0,6 м кипит вода под давлением 3,61 бар. Трубка с внутренней стороны нагревается за счет тока, протекающего по спирали. Мощность нагрева 7 кВт. Определить температуру на наружной поверхности трубки. Режим кипения пузырьковый.

5 Выполнение контрольной работы

Контрольная работа, теоретический и методический материал для самостоятельного её выполнения представлены в методических указаниях к практическим занятиям и организации самостоятельной работы обучающихся.

Задание. По горизонтально расположенной стальной трубе с коэффициентом теплопроводности λ со скоростью W течет вода, имеющая температуру $t_в$. Снаружи труба охлаждается окружающим воздухом, температура которого $t_{возд}$. Определить:

коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2, соответственно, от воды к стенке трубы и от стенки трубы к воздуху;

коэффициент теплопередачи К и тепловой поток q_1 , отнесенный к 1 м длины трубы, если внутренний диаметр трубы D_1, а внешний диаметр – D_2.

Указание: для определения α_2 в первом приближении принять температуру наружной поверхности трубы равной температуре воды ($t_2 = t_в$).

Варианты задания:

Величина и вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
λ, Вт/м*К	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
W, м/с	2,1	2,5	2,8	3,2	3,5	3,8	4,0	4,2	4,5	4,8
$t_в$, °С	170	250	170	250	170	250	170	250	170	250
$t_{возд}$, °С	16	30	16	30	16	30	16	30	16	30
D_1, мм	180	180	200	200	180	200	180	200	200	180
D_2, мм	200	200	220	220	200	220	200	220	220	200

Величина и вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
λ, Вт/м*К	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
W, м/с	3,8	4,0	4,2	4,5	4,8	2,1	2,5	2,8	3,2	3,5
$t_в$, °С	250	170	250	170	250	170	250	170	250	170
$t_{возд}$, °С	30	16	30	16	30	16	30	16	30	16
D_1, мм	180	180	200	200	180	200	180	200	200	180
D_2, мм	200	200	220	220	200	220	200	220	220	200

Раздел 3. Тепловое излучение

1 Устный опрос на лекции

Перечень вопросов для устного опроса:

1.Какова особенность излучения газов по сравнению с твердыми телами?

2.Что показывает коэффициент поглощения?

3.Какие тела называют зеркальными?

4.Как называются окружающие нас тела?

5.Как определить суммарный тепловой поток при переносе теплоты конвекцией и излучением?

3 Тестирование по результатам освоения лекционного материала и самостоятельной работы

Тестирование проводится для определения степени усвоения материалов лекций, а также выполнения самостоятельной работы в

рамках часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся, в СУО «Moodle».

Перечень вопросов для тестирования:

1.Излучение

1.Передача тепла с помощью электромагнитных волн

2.Перенос тепла за счет хаотического теплового движения или тепловых колебаний микрочастиц

3.Процесс теплообмена между двумя средами, разделенными твердой перегородкой

4.Процесс теплообмена, протекающий в двухфазной системе на границе раздела фаз

5.Перенос тепла в движущихся жидкостях или газах за счет перемещения объемов среды из области с одной температурой в область с другой

2.Определение углового коэффициента излучения φ

1.Доля всей излучаемой энергии, попадающая с одного тела на другое

2.Спектральная плотность излучения, отнесенная к рассматриваемой длине волны

3.Мощность, излучаемая элементом поверхности в полупространство

4.Отношение плотности теплового потока данного тела к плотности теплового потока абсолютно черного тела

5.Мощность излучения, отнесенная к единице поверхности

3.Определение степени черноты тела ε

1.Доля всей излучаемой энергии, попадающая с одного тела на другое

2.Спектральная плотность излучения, отнесенная к рассматриваемой длине волны

3.Мощность, излучаемая элементом поверхности в полупространство

4.Отношение плотности теплового потока данного тела к плотности теплового потока абсолютно черного тела

5.Мощность излучения, отнесенная к единице поверхности

4.Определение плотности излучения E

1.Доля всей излучаемой энергии, попадающая с одного тела на другое

2.Спектральная плотность излучения, отнесенная к рассматриваемой длине волны

3.Мощность, излучаемая элементом поверхности в полупространство

4.Отношение плотности теплового потока данного тела к плотности теплового потока абсолютно черного тела

5.Мощность излучения, отнесенная к единице поверхности

5.Факторы, влияющие на степень черноты газов ε

1.Температура T, парциальное давление P

2.Температура T, молекулярная масса m

3.Температура T, парциальное давление P, эффективная длина луча λ

4.Температура T, молекулярная масса m, эффективная длина луча λ

5.Парциальное давление P, молекулярная масса m, эффективная длина луча λ

6.Формула для расчета лучистого теплообмена двух серых тел, образующих замкнутую систему

1. $q = \alpha (t_1 - t_2)$
2. $q = \delta / \lambda (t_1 - t_2)$
3. $q = \lambda / \delta (t_1 - t_2)$
4. $q = k S \Delta t_{ср}$
5. $q = \varepsilon_{пр} C_0[(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4]$

7. Установите соответствие между лучеиспускательной способностью тел и ее значением

А) серого тела	6. больше единицы
Б) абсолютно прозрачного тела	7. меньше единицы
В) абсолютно белого тела	8. равна единице
Г) абсолютно черного тела	9. равна нулю

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г

8. Установите соответствие между законами излучения и их формулировкой

А) *Закон Стефана-Больцмана*	1. Связь между энергиями излучения и поглощения поверхностями серых и абсолютно черных тел
Б) *Закон Планка*	2. Зависимость плотности потока интегрального полусферического излучения абсолютно черного тела от температуры
В) *Закон Кирхгофа*	3. Связь между потоком излучения и его направлением
Г) *Закон Ламберта*	4. Зависимость интенсивности теплового излучения от температуры и длины волны для абсолютно черного тела

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г

9. При установка 3 экранов между теплообменивающимися поверхностями(степени черноты экранов и теплообменивающихся поверхностей одинаковы) интенсивность лучистого теплообмена уменьшается в _____ раза

10.Газы, обладающие максимальной поглощающей и излучающей способностью

1.N_2, O_2, H_2

2.CO_2, H_2O

3.SO_2, NO_2

4.Воздух

5.NO_2, O_2, N_2

11.Величина коэффициента излучения абсолютно черного тела C_0 равна_____ ($Вт/м^2 К^4$)

12.Теплообмен излучением осуществляется путем

1.Последовательной передачи кинетической энергии от атома к атому

2.Переноса тепловой энергии атомными колебаниями

3.Переноса тепловой энергии электронами

4.Распространения электромагнитных волн

5.Переноса тепловой энергии от участков с более высокой температурой к участкам с более низкой температурой

4 Выполнение практических работ

Задания для практических работ, теоретический и методический материал для самостоятельного изучения и вопросы для собеседования представлены в методических указаниях к практическим занятиям.

Задача 1. Трубопровод наружным диаметром 150 мм и длиной 15 м проложен в помещении, температура воздуха в котором 25 °С. Определить тепловые потери с поверхности трубопровода, если она покрыта масляной краской и имеет температуру 35 °С.

Задача 2. Шахматный пучок труб, наружный диаметр которых 52 мм, продольный шаг пучка 90 мм, поперечный шаг 70 мм, поперечно обтекается дымовыми газами. Температура газов на входе 1000 °С, а на выходе 800 °С. Температура поверхности труб 230 °С. Степень черноты поверхности труб − 0,8. Определить плотность теплового потока, передаваемого излучением от газа к трубам.

5 Выполнение контрольной работы

Контрольная работа, теоретический и методический материал для самостоятельного её выполнения представлены в методических указаниях к практическим занятиям и организации самостоятельной работы обучающихся.

Задание. Определить удельный лучистый тепловой поток между двумя параллельно расположенными стенками, имеющими температуры t_1 и t_2 и степени черноты ε_1 и ε_2, если между ними нет экрана. Определить удельный лучистый тепловой поток при наличии экрана со степенью черноты ε э .

Варианты задания

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_1	500	500	500	500	500	700	700	700	700	700
t_2	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
ε_1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
ε_2	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
ε э	0,032	0,015	0,032	0,015	0,032	0,015	0,032	0,015	0,032	0,015

Варианты задания

Вариант ы	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t_1	600	600	600	600	600	800	800	800	800	800
t_2	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
ε_1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ε_2	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
ε э	0,052	0,035	0,052	0,035	0,052	0,035	0,052	0,035	0,052	0,035

Раздел 4. Тепловой расчёт теплообменных аппаратов

1 Устный опрос на лекции

Перечень вопросов для устного опроса:

1. Что называется теплообменным аппаратом?
2. На какие группы делятся теплообменные аппараты?
3. По каким схемам осуществляется движение теплоносителей в теплообменных аппаратах?
4. Основное уравнение теплопередачи и теплового баланса.
5. Графики изменения температур рабочих жидкостей в аппаратах прямотоком и противотоком?
6. Написать уравнение средне логарифмического температурного напора для аппаратов с прямотоком и противотоком.
7. При каких условиях в расчётах теплообменных аппаратов принимают среднеарифметический температурный напор?
8. Как рассчитать необходимую поверхность нагрева теплообменника?

3 Тестирование по результатам освоения лекционного материала и самостоятельной работы

Тестирование проводится для определения степени усвоения материалов лекций, а также выполнения самостоятельной работы в рамках часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся, в СУО «Moodle».

Перечень вопросов для тестирования:

1.Теплопередача

1.Передача тепла с помощью электромагнитных волн

2.Процесс теплообмена между двумя средами, разделенными твердой перегородкой

3.Перенос тепла в движущихся жидкостях или газах за счет перемещения объемов среды из области с одной температурой в область с другой

4.Процесс теплообмена, протекающий в двухфазной системе на границе раздела фаз

5.Перенос тепла за счет хаотического теплового движения или тепловых колебаний микрочастиц

2.Физический смысл коэффициента теплопередачи

1.Количество тепла, необходимое для нагрева 1 кг вещества на 1^oC

2.Количество тепла, проходящее в единицу времени через проводник длиной 1м при перепаде температур на концах этого проводника в 1^oC

3.Количество тепла, проходящее в единицу времени через единицу поверхности от одной среды к другой через разделительную стенку при разности температур между этими средами в 1^oC

4.Количество тепла, проходящее в единицу времени через единицу поверхности при разности температур между поверхностью и средой в 1^oC

5.Скорость распространения теплового потока

3.Размерность коэффициента теплопередачи

1.(Вт/$м^2$ К)

2.(Дж/кг К)

3.(Вт/м К)

4.(Вт/с $м^2$ К)

5.($м^2$ /с)

4.Сложный теплообмена в рабочем пространстве печи включает

1.Излучение и конвекцию

2.Излучение и теплопроводность

3.Конвекцию и теплопроводность

4.Излучение, конвекцию и теплопроводность

5.Излучение

5.Процесс теплопередачи включает

1.Излучение и конвекцию

2.Излучение и теплопроводность

3.Конвекцию и теплопроводность

4.Излучение, конвекцию и теплопроводность

5.Теплопроводность

6.Разность температур (Δt) при расчете процесса теплопередачи от одной среды к другой через разделяющую их стенку определяют между …

1. Двумя средами
2. Двумя поверхностями
3. Средой и поверхностью
4. Поверхностью и средой

7.Установите соответствие в уравнении коэффициента теплопередачи через стенку от одной среды к другой

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

А) λ	1. тепловое сопротивление среды
Б) α	2. тепловое сопротивление стенки
В) $1/\alpha$	3. коэффициент теплопроводности стенки
Г) δ/λ	коэффициент теплоотдачи среды

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	Г	Д

8.Перенос тепловой энергии от одной среды к другой через разделяющую их стенку осуществляется _____

4 Выполнение практических работ

Задания для практических работ, теоретический и методический материал для самостоятельного изучения и вопросы для собеседования представлены в методических указаниях к практическим занятиям.

Задача 1. В маслоохладителе трансформаторное масло охлаждается от t'_1 = 80 °С до t''_1 = 30 °С. Охлаждающая вода входит с температурой t'_2 = 15 °С. Расходы масла и воды соответственно G_1 = 0,28 кг/с, G_2 = 0,56 кг/с. Определить температуру воды на выходе из маслоохладителя. Рассчитать среднеинтегральный температурный напор для прямоточной и противоточной схем движения теплоносителей.

Задача 2. Определить поверхность теплообмена, если через нее передается 1000 кВт теплоты. Коэффициент теплопередачи 2000 Вт/($м^2$ ·К), температура первого теплоносителя на входе 300 °С, а на выходе 100 °С. Температура второго теплоносителя на входе 10 °С, а на выходе 80 °С. Расчет сделать для прямоточной, противоточной и перекрестной схем движения теплоносителей. Сравнить полученный результат и сделать вывод.

5 Выполнение лабораторных работ

Задания для лабораторных работ, теоретический и методический материал для самостоятельного изучения и вопросы для собеседования представлены в методических указаниях к лабораторным работам.

Лабораторная работа.
Исследование рекуперативного теплообменника

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы:

1. Что такое теплообменный аппарат?
2. Назовите типы теплообменных аппаратов.
3. Для какой цели используются рекуперативные теплообменники?
4. Какие виды теплообмена возможны в рекуператоре?
5. Каков физический смысл коэффициента теплопередачи?

6 Выполнение контрольной работы

Контрольная работа, теоретический и методический материал для самостоятельного её выполнения представлены в методических указаниях к практическим занятиям и организации самостоятельной работы обучающихся.

Задание. Определить поверхность нагрева рекуперативного газо-воздушного теплообменника при прямоточной и противоточной схемах движения теплоносителей, если объемный расход нагреваемого воздуха при нормальных условиях $V_В$, средний коэффициент теплопередачи от продукта сгорания и воздуха К, начальные и конечные температуры продукта сгорания и воздуха соответственно равны. Кроме того, изобразить на графиках изменение температур теплоносителей для обоих случаев. Определить объемный расход продуктов сгорания для вашего варианта задачи, приняв их объемную теплоемкость при постоянном давлении равной $С_Р$=1,5 кДж/($м^3$·К).

Номер варианта	$V_В \cdot 10^{-3}$, $\frac{м^3}{ч}$	К, $\frac{Вт}{м^2 \times К}$	t_{11}, °С	t_{12}, °С	t_{21}, °С	t_{22}, °С
1	1	18	500	300	5	200
2	2	19	525	300	10	200
3	3	20	550	325	15	250

4	4	21	575	325	20	250
5	5	22	600	350	80	250
6	6	23	625	350	10	250
7	7	24	650	400	45	300
8	8	25	675	400	100	300
9	9	26	700	500	20	350
10	10	27	725	500	20	400
11	11	28	750	525	30	400
12	12	29	775	550	25	450
13	13	30	800	600	15	500
14	14	31	825	600	90	500
15	15	30	850	650	30	300
16	16	29	875	675	35	400
17	17	28	900	700	40	500
18	18	27	875	675	45	575
19	19	26	850	650	50	550
20	20	25	825	625	55	525
21	21	24	800	600	60	500
22	22	23	775	575	65	475
23	23	22	750	550	70	450
24	24	21	725	525	75	425
25	25	20	700	700	80	600
26	26	19	600	400	85	300
27	27	18	650	450	90	350
28	28	17	500	300	100	200

Вопросы к зачёту для промежуточной аттестации

1. Основные положение теории теплопроводности.
2. Механизм процесса теплопроводности в газах, жидкостях, металлах, диэлектриках.
3. Градиент температуры. Закон Фурье.
4. Коэффициент теплопроводности. Коэффициент температуропроводности.
5. Краевые условия для процесса теплопроводности; граничные условия первого, второго, третьего и четвертого рода.
6. Закон Ньютона-Рихмана для теплоотдачи. Общие представления о методах решения задач теплопроводности.

7. Теплопроводность при стационарном режиме. Передача теплоты через однослойную и многослойную плоские стенки при граничных условиях I и III рода.

8. Распределение температур при постоянном и переменном коэффициентах теплопроводности.

9. Коэффициент теплопередачи. Передача теплоты через однослойную и многослойную цилиндрические стенки при граничных условиях I и III рода.

10. Линейный коэффициент теплопередачи. Критический диаметр теплоизоляции.

11. Теплопроводность при нестационарном режиме. Методы решения задач нестационарной теплопроводности для тонкой пластины, длинного цилиндра при граничных условиях III рода. Критерии Био и Фурье.

12. Нагревание (охлаждение) параллелепипеда и цилиндра конечной длины.

13. Определение количества теплоты, отдаваемой или воспринимаемой телом в процессе нестационарной теплопроводности.

14. Основные положения теории конвективного теплообмена.

15. Основной закон теплоотдачи.

16. Теплообмен при ламинарном и турбулентном течениях жидкости.

17. Метод подобия, моделирование конвективного теплообмена

18. Критерии подобия, условия подобия, теоремы подобия.

19. Критерии Нуссельта, Рейнольдца, Грасгофа, Прандтля. Критериальные уравнения.

20. Теплоотдача при вынужденном течении вдоль плоской поверхности.

21. Теплоотдача при ламинарном и турбулентном течении в пограничном слое, расчетные уравнения.

22. Теплоотдача при вынужденном течении в трубах при ламинарном и турбулентном режимах течения.

23. Теплоотдача при поперечном омывании цилиндра, влияние различных условий омывания.

24. Теплоотдача в коридорных и шахматных пучках труб, влияние угла атаки.

25. Теплоотдача при свободном движении жидкости.

26. Теплообмен при свободном движении вдоль вертикальной стенки.

27. Теплоотдача у горизонтальных труб и пластин.

28. Естественная конвекция в ограниченном пространстве.

Задачи к зачёту для промежуточной аттестации

1.Трубу с кипящим холодильным агентом диаметром 30мм необходимо покрыть тепловой изоляцией, толщина которой по

конструктивным соображениям не должна превышать 10мм. Коэффициент внешней теплоотдачи α=4 Вт/(м^2·К). Подберите материал изоляции для снижения тепловых потерь в два раза и покажите график распределения температуры по направлению теплообмена.

2.Вдоль металлической стенки аппарата с обеих сторон движутся турбулентные потоки двух жидкостей. Коэффициент теплоотдачи с одной стороны α_1 =230, а с другой - α_2= 400Вт/(м^2·К). Во сколько раз увеличится передаваемый через стенку тепловой поток, если при прочих равных условиях, скорость первого потока жидкости возрастет в два раза? Термическое сопротивление стенки можно не учитывать.

3.Стальной трубопровод диаметром d= 30х2мм и длиной L=100м необходимо покрыть изоляцией для снижения тепловых потерь не менее, чем в два раза. По трубопроводу движется вода со скоростью 0,4м/с, температура ее на входе t_1=90°С. Температура окружающего воздуха t_2=25°С, а коэффициент теплоотдачи α_2=10Вт/(м^2·К). Подберите тепловую изоляцию $\lambda_{из}$ и толщину покрытия ($\delta_{из}$). Покажите график распределения температуры.

4.Определите потери тепловой мощности Q, Вт, паропроводом диаметром 0,1м, длиной 20м при движении по нему насыщенного водяного пара давлением 2,8МПа; температура окружающего воздуха 30°С, а коэффициент теплоотдачи α_2=9Вт/(м2·К). Двухслойная изоляция паропровода изготовлена из ньювеля (λ_1=0,08Вт/м·К, δ_1=0,02м) и асбозурита (λ_2=0,15Вт/м·К, δ_2=0,03м). Покажите график распределения температуры при указанном и измененном порядках наложения слоев изоляции.

5.Кипящая вода воспринимает теплоту от дымовых газов парогенератора через стальную стенку толщиной 15мм. Температура газов 900°С, температура воды 200°С, коэффициенты теплоотдачи равны соответственно 120 и 2300Вт/(м2·К), коэффициент теплопроводности стали λ=48Вт/(м·К). Постепенное отложение сажи (λс=0,12Вт/(м·К)) и накипи ($\lambda_н$=1,3Вт/(м·К)) привело к снижению плотности теплового потока в 2,2 раза и к повышению температуры стенки на 60°С. Определите толщину слоев сажи и накипи, вычислите плотность теплового потока q и коэффициент теплопередачи к

6.Определите потери тепла стальным паропроводом (λ=45Вт/(м·К)) диаметром d=20х2мм и длиной L=50м, если он покрыт слоем изоляции из асбеста (λ=0,15 Вт/(м·К)) толщиной δ=15мм. По трубопроводу течет насыщенный водяной пар, давление которого 30 бар. Температура окружающего воздуха 27°С, а коэффициент теплоотдачи α_2=5,8Вт/(м2·К). Определите потери тепла трубопроводом без изоляции, проанализируйте ситуацию и покажите график распределения температуры.

Вопросы к экзамену для промежуточной аттестации

1. Теплообмен при конденсации пара.
2. Пленочная и капельная конденсация.
3. Расчет теплообмена при ламинарном течении пленки конденсата.
4. Конденсация пара на горизонтальных трубах и пучках труб.
5. Теплообмен при кипении. Возникновение кипения, рост, отрыв и всплывание паровых пузырьков. Центры парообразования.
6. Зависимость коэффициента теплоотдачи от плотности теплового потока температурного напора, кризисы кипения. Пленочное кипение. Кипение недогретой жидкости.
7. Теплообмен двухфазного потока при кипении жидкости в трубах, кризисы кипения I и II рода.
8. Тепловое излучение. Понятие лучистого теплообмена, природа теплового излучения.
9. Лучистый тепловой поток, его плотность. Интенсивность излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способность тел.
10. Законы излучения абсолютно черного тела: Планка, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа.
11. Серое тело, степень черноты. Закон Стефана-Больцмана для серого тела. Закон Ламберта.
12. Теплообмен излучением между телами. Коэффициенты облученности, взаимные поверхности излучения.
13. Теплообмен излучением в замкнутой системе из двух серых тел: когда одно из тел находится в полости другого и для тел с плоскопараллельными поверхностями.
14. Применение экранов.
15. Особенности теплообмена излучением в поглощающих средах.
16. Сложный теплообмен (комбинация конвективного и лучистого).
17. Основы теплового расчета теплообменников, проектный и поверочный тепловые расчеты. Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи.
18. Среднелогарифмический температурный напор, его определение для основных схем движения теплоносителей равнение прямотока и противотока. Расчет конечных температур теплоносителей.

Задачи к экзамену для промежуточной аттестации

1.Определите тепловой поток от стального паропровода, проложенного горизонтально внутри цехового помещения, стенки которого имеют температуру tм =25°С. Наружный диаметр трубопровода d= 150мм, длина 200м. По трубопроводу течет влажный водяной пар давлением 1МПа. Температура воздуха в цехе 27°С. Степень черноты поверхности паропровода ε=0.8.

2.В теплообменнике воздух в количестве 0,5 кг/с охлаждается от 170 до 60°С водой, которая подается насосом. Температура воды на входе в насос 18°С, а на выходе из теплообменного аппарата 42°С, давление воды в аппарате снижается на 0,7бар. Коэффициент теплопередачи аппарата k=30(Вт/м2·К). Определить температуру воды после насоса и его мощность NH, если к.п.д. насоса 0,7, тепловую нагрузку Q аппарата и потребную поверхность теплообмена F.

3.Трубчатый воздухоподогреватель производительностью 15т/час изготовлен из труб диаметром 20х3мм. Внутри течет горячий газ со средней температурой 300°С. Воздух подогревается от 27 до 420°С. Трубки выполнены из стали (λ=23Вт/(м·К)). Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке α_1=70Вт/(м2·К), а от стенки воздуху α_2=40Вт/(м2·К). Определите поверхность нагрева F подогревателя и оцените погрешность расчета для плоской эквивалентной стенки.

4.Теплообменник выполнен из латунных труб диаметром 38х2мм. Греющая среда - воздух с температурой на входе =35О°С, а на выходе =240°С. Расход подогреваемой воды G_2=2т/час, начальная температура =30°С и конечная =200°С. Коэффициенты теплоотдачи от воздуха к трубам α_1=50 и от труб к воде α_2=200Вт/(м2·К). Найдите площадь поверхности нагрева аппарата F для противоточного включения и необходимый расход воздуха G_1.

5.В прямоточном теплообменнике вода охлаждает жидкость. Расход воды и её начальная температура соответственно 0,25кг/с и 15°С. Те же величины для жидкости соответственно 0,07кг/с и 140°С. Коэффициент теплопередачи k=35Вт/(м2·К), а поверхность нагрева F=8м2. Теплоёмкость жидкости 3кДж/(кг·К). Определите конечные температуры воды и жидкости и переданный тепловой поток Q.