

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "ИЖЕВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ"**

Рег. № 000004159



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной и воспитательной работе

С.Л. Воробьева

Кафедра энергетики и электротехнологии

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины (модуля): Теплообмен

Уровень образования: Бакалавриат

Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки: Энергообеспечение предприятий

Очная, заочная, очно-заочная

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника (приказ № 143 от 28.02.2018 г.)

Разработчики:

Артамонова Л. П., кандидат экономических наук, доцент

Ниязов А. М., кандидат технических наук, заведующий кафедрой

Программа рассмотрена на заседании кафедры, протокол № 01 от 30.08.2022 года

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Цель изучения дисциплины - изучение закономерностей основных процессов переноса тепла и массы, освоение методов решения различных задач тепломассообмена, приобретение навыков экспериментального исследования процессов тепломассообмена посредством физического и математического моделирования.

Задачи дисциплины:

- Овладение студентами основными понятиями тепло- и массообмена, терминологией;;
- Овладение студентами основными процессами передачи теплоты и их закономерностями;;
- Овладение студентами методами расчета процессов тепло- и массопереноса;;
- Овладение студентами методами расчета и экспериментального определения термических свойств материалов;;
- Овладение студентами основными требованиями, характеризующими профессиональную деятельность бакалавров.

2. Место дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина «Тепломассообмен» относится к базовой части учебного плана.

Дисциплина изучается на 3 курсе, в 5, 6 семестрах.

Изучению дисциплины «Тепломассообмен» предшествует освоение дисциплин (практик):

Математика;

Физика;

Химия;

Техническая термодинамика;

Инженерная экология;

Материаловедение и технология конструкционных материалов.

Освоение дисциплины «Тепломассообмен» является необходимой основой для последующего изучения дисциплин (практик):

Инженерные прикладные программы в теплоэнергетике;

Котельные установки и парогенераторы;

Источники и системы теплоснабжения предприятий;

Тепловые двигатели и нагнетатели;

Тепломассообменное оборудование предприятий;

Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях;

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы.

В процессе изучения дисциплины студент готовится к видам профессиональной деятельности и решению профессиональных задач, предусмотренных ФГОС ВО и учебным планом.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенций:

- ОПК-2 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

Знания, умения, навыки, формируемые по компетенции в рамках дисциплины, и индикаторы освоения компетенций

Студент должен знать:

Математический аппарат исследования функций, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, рядов, дифференциальных уравнений, теории функций комплексного переменного, численных методов. Физические явления, законы механики, термодинамики, электричества и магнетизма, оптики. Основы автоматического управления и регулирования.

Студент должен уметь:

Применять физико-математический математический аппарат при исследовании и решении профессиональных задач. Выполнять моделирование систем автоматического регулирования

Студент должен владеть навыками:

Физико-математическим аппаратом, законами механики, термодинамики, электричества и магнетизма, оптики, химии при решении профессиональных задач. Основами автоматического управления и регулирования. Методами моделирование систем автоматического регулирования

- ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

Знания, умения, навыки, формируемые по компетенции в рамках дисциплины, и индикаторы освоения компетенций

Студент должен знать:

Основные законы движения жидкости и газа, основы гидрогазодинамики, теплофизических свойств рабочих тел, основных законов термодинамики и термодинамических соотношений, основных законов и способов переноса теплоты и массы.

Студент должен уметь:

Применять основные законы движения жидкости и газа, основы гидрогазодинамики, теплофизических свойств рабочих тел, основных законов термодинамики и термодинамических соотношений, основных законов и способов переноса теплоты и массы для расчетов теплотехнических установок и систем.

Студент должен владеть навыками:

Основными способами получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

4. Объем дисциплины и виды учебной работы (очная форма обучения)

Вид учебной работы	Всего часов	Пятый семестр	Шестой семестр
Контактная работа (всего)	120	48	72
Практические занятия	46	14	32
Лекционные занятия	42	20	22
Лабораторные занятия	32	14	18
Самостоятельная работа (всего)	141	96	45
Виды промежуточной аттестации	27		27
Зачет		+	
Экзамен	27		27
Общая трудоемкость часы	288	144	144
Общая трудоемкость зачетные единицы	8	4	4

Объем дисциплины и виды учебной работы (заочная форма обучения)

Вид учебной работы	Всего часов	Четвертый семестр	Пятый семестр	Шестой семестр
Контактная работа (всего)	28	16	12	
Практические занятия	8	4	4	

Лекционные занятия	10	6	4	
Лабораторные занятия	10	6	4	
Самостоятельная работа (всего)		92		
Виды промежуточной аттестации	13		4	9
Зачет	4		4	
Экзамен	9			9
Общая трудоемкость часы	288	108	108	72
Общая трудоемкость зачетные единицы	8	3	3	2

Объем дисциплины и виды учебной работы (очно-заочная форма обучения)

Вид учебной работы	Всего часов	Пятый семестр	Шестой семестр
Контактная работа (всего)	44	22	22
Практические занятия	8	4	4
Лекционные занятия	20	10	10
Лабораторные занятия	16	8	8
Самостоятельная работа (всего)			
Виды промежуточной аттестации	13	4	9
Зачет	4	4	
Экзамен	9		9
Общая трудоемкость часы	288	108	180
Общая трудоемкость зачетные единицы	8	3	5

5. Содержание дисциплины

Тематическое планирование (очное обучение)

Номер темы/раздела	Наименование темы/раздела	Всего часов	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
	Пятый семестр, Всего	144	20	14	14	96
Раздел 1	Стационарная теплопроводность	51	6	6	4	35
Тема 1	Теплопроводность. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности	10	2			8
Тема 2	Стационарная теплопроводность плоской однородной стенки без внутренних источников тепла	10	1	2		7
Тема 3	Теплопроводность плоской стенки при наличии внутренних источников тепла	9	1	1		7
Тема 4	Теплопроводность плоской стенки при наличии внутренних источников тепла	12	1	2	4	5

Тема 5	Теплопроводность цилиндрической стенки при наличии внутренних источников тепла	10	1	1		8
Раздел 2	Нестационарная теплопроводность	20	2	2		16
Тема 6	Температурное поле в процессе охлаждения (нагрева) пластины, стержня	10	1	1		8
Тема 7	Температурное поле в процессе охлаждения (нагрева) бесконечно длинного цилиндра, шара и тел неправильной формы	10	1	1		8
Раздел 3	Конвективный теплообмен в однородной среде	73	12	6	10	45
Тема 8	Уравнения теории конвективного теплообмена	10	2			8
Тема 9	Теория подобия в конвективном теплообмене. Числа подобия, характеризующие процессы конвективного теплообмена	9	2	1		6
Тема 10	Теплоотдача при свободной конвекции в большом объеме около вертикальных поверхностей	10	2	1		7
Тема 11	Свободная конвекция около горизонтальных поверхностей. Свободная конвекция в ограниченном пространстве	14	2	1	6	5
Тема 12	Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности	9	2	1		6
Тема 13	Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании труб и пучков труб	11	1	1	4	5
Тема 14	Описание процесса вынужденного течения жидкости в трубах. Определение коэффициентов теплоотдачи.	10	1	1		8
	Шестой семестр, Всего	117	22	32	18	45
Раздел 4	Теплообмен при фазовых превращениях	23	4	8		11
Тема 15	Теплообмен при конденсации неподвижного пара.	9	1	4		4
Тема 16	Теплообмен при конденсации движущегося пара.	4	1			3
Тема 17	Теплообмен при кипении	10	2	4		4
Раздел 5	Лучистый теплообмен	45	8	14	6	17
Тема 18	Основные понятия и законы теплового излучения	10	2	4		4
Тема 19	Теплообмен излучением между твердыми телами, разделенными прозрачной средой.	13	2	4	4	3
Тема 20	Тело с оболочкой и произвольно расположенные тела	9	2	2	2	3
Тема 21	Излучение газов и паров.	6	1	2		3
Тема 22	Лучистый теплообмен между газом и оболочкой.	7	1	2		4
Раздел 6	Теплопередача	32	6	6	12	8
Тема 23	Теплопередача через плоскую стенку	11	2	2	4	3
Тема 24	Теплопередача через цилиндрическую стенку	11	2	2	4	3
Тема 25	Теплообменные аппараты и основы их расчета	10	2	2	4	2
Раздел 7	Массоотдача	17	4	4		9
Тема 26	Основные положения тепло- и массообмена. Тепло- и массообмен в двухкомпонентных средах. Тройная аналогия	7	2	2		3
Тема 27	Тепло- и массоотдача при испарении жидкости в парогазовую среду.	6	1	2		3

Тема 28	Тепло- и массообмен при химических превращениях	4	1			3
---------	---	---	---	--	--	---

На промежуточную аттестацию отводится 27 часов.

Содержание дисциплины (очное обучение)

Номер темы	Содержание темы
Тема 1	Методы исследования тепловых процессов. Основные понятия, используемые при описании процессов переноса тепла. Температурное поле. Температурный градиент. Тепловой поток. Плотность теплового потока. Закон Фурье, коэффициент теплопроводности. Математическая формулировка задач теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Краевые условия задач теплопроводности, различные способы задания граничных условий.
Тема 2	Температурное поле в плоской стенке при граничных условиях первого рода. Приведение уравнений к безразмерному виду. Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры. Теплопроводность через многослойную стенку. Эквивалентный коэффициент теплопроводности плоской стенки.
Тема 3	Плотность объемного тепловыделения. Температурное поле в плоской стенке при наличии тепловыделений. Симметричные условия охлаждения пластины. Пластина с одной теплоизолированной поверхностью. Пластина с разными (постоянными) температурами поверхностей. Критерий Померанцева. Несимметричные условия охлаждения пластины.
Тема 4	Линейная плотность теплового потока. Температурное поле в цилиндрической стенке при граничных условиях первого рода. Теплопроводность через многослойную цилиндрическую стенку. Эквивалентный коэффициент теплопроводности цилиндрической стенки. Теплопроводность через цилиндрическую стенку при граничных условиях третьего рода (теплопередача).
Тема 5	Температурное поле в цилиндрической стенке при наличии внутренних источников тепла. Теплопроводность однородного цилиндрического стержня при наличии тепловыделений. Теплопроводность цилиндрической стенки с внутренними источниками тепла: тепло отводится только через внутреннюю поверхность, тепло отводится только через наружную поверхность, тепло отводится через обе поверхности.
Тема 6	Аналитическое описание процесса. Основные понятия метода нестационарной теплопроводности: безразмерная избыточная температура, критерий Био, критерий Фурье. Нестационарное температурное поле в плоской пластине – решение задачи в безразмерном виде методом разделения переменных. Анализ решения. Зависимость поля температур от числа Фурье. Номограммы. Особенности пересечения касательных к решению на поверхности пластины. Зависимость поля температур бесконечной пластины от числа Био.
Тема 7	Нестационарное температурное поле в сплошном бесконечном цилиндре, в шаре. Анализ решения. Средняя безразмерная избыточная температура, средняя по сечению температура, определение количества теплоты, отданного (полученного) телом в процессе охлаждения (нагревания). Охлаждение (нагревание) тел конечных размеров (параллелепипед, балка прямоугольного сечения, цилиндр конечной длины) – метод перемножения решений.

Тема 8	Основные понятия и определения процессов конвективного теплообмена. Физические свойства жидкостей. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена для несжимаемой жидкости. Пример системы дифференциальных уравнений конвективного теплообмена.
Тема 9	Теория подобия как теоретическая основа экспериментального изучения конвективного теплообмена. Критериальные уравнения. Критерии подобия. Методы экспериментального определения коэффициентов теплоотдачи. Осреднение коэффициентов теплоотдачи. Осреднение температуры жидкости по сечению. Осреднение температуры жидкости и температурного напора по длине трубы. Получение эмпирических критериальных уравнений. Определяющий размер. Определяющая температура.
Тема 10	Общие сведения о свободной конвекции. Число Релея. Теплоотдача при свободной конвекции жидкости около вертикальной пластины или вертикальной трубы.
Тема 11	Теплоотдача при свободной конвекции около горизонтальной пластины. Теплоотдача при свободной конвекции на поверхности горизонтального цилиндра. Теплоотдача при малых значениях числа Релея. Свободная конвекция в прослойках и замкнутых полостях. Эквивалентный коэффициент теплопроводности.
Тема 12	Теплоотдача при свободной конвекции около горизонтальной пластины. Теплоотдача при свободной конвекции на поверхности горизонтального цилиндра. Теплоотдача при малых значениях числа Релея. Свободная конвекция в прослойках и замкнутых полостях. Эквивалентный коэффициент теплопроводности
Тема 13	Гидродинамика и теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра. Угол отрыва ламинарного и турбулентного пограничного слоя. Изменение коэффициента теплоотдачи по окружности цилиндра. Теплообмен при поперечном обтекании коридорных и шахматных пучков труб. Зависимость теплоотдачи от номера ряда, соотношения продольного и поперечного шагов пучка. Средний коэффициент теплоотдачи для пучка. Зависимость теплоотдачи труб от угла атаки.
Тема 14	Гидродинамика и теплообмен при течении жидкости в трубах и каналах. Влияние силы тяжести. Вязкостный и вязкостноравитационный режимы теплоотдачи. Математическое описание теплообмена при течении жидкости в круглой трубе. Понятие стабилизированного теплообмена. Теплоотдача при ламинарном и турбулентном течении в гладких трубах. Особенности теплообмена в трубах некруглого сечения. Влияние шероховатости поверхности на теплообмен в трубах. Теплоотдача в изогнутых трубах.
Тема 15	Определение и классификация процессов конденсации. Теплообмен при конденсации чистых паров. Термодинамические условия протекания процесса, пленочная и капельная конденсация. Пленочная конденсация неподвижного пара на поверхности вертикальной плоскости и горизонтального цилиндра. Капельная конденсация пара. Коэффициент теплоотдачи на отдельной трубе. Средний коэффициент теплоотдачи пучка труб.
Тема 16	Конденсация движущегося пара на одиночной трубе. Конденсация движущегося пара на горизонтальном пучке труб. Изменение расхода и скорости пара. Теплоотдача при течении пара с большими скоростями. Адиабатная температура стенки. Изменение физических свойств теплоносителя с температурой.

Тема 17	<p>Условия зарождения паровой фазы в объеме перегретой жидкости и на твердой поверхности. Динамика паровых пузырьков при кипении. «Кривая кипения». Механизм теплообмена и расчетные соотношения для теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкостей. Теплообмен при пленочном кипении жидкостей.</p> <p>Кризис пузырькового кипения жидкостей в свободном объеме. Температура предельного перегрева жидкости, минимальная плотность теплового потока при пленочном кипении. Особенности теплообмена при кипении в трубах. Переходное кипение.</p>
Тема 18	<p>Описание процесса лучистого теплообмена. Виды лучистых потоков. Спектральная плотность потока излучения. Интегральная плотность потока излучения. Собственное, отраженное, поглощенное, пропущенное, эффективное, результирующее излучение. Понятие абсолютно черного тела. Излучательные характеристики абсолютно черного тела. Закон Планка. Правило смещения Вина. Закон Стефана-Больцмана. Закон Кирхгофа. Закон Ламберта. Угловые коэффициенты излучения.</p>
Тема 19	<p>Методы исследования процессов лучистого теплообмена. Теплообмен излучением в системе тел с плоскопараллельными поверхностями. Теплообмен при наличии экранов для плоскопараллельных тел. Коэффициент излучения твердых тел и методы его определения (радиационный, калориметрический, регулярного теплового режима, нагревания с постоянной скоростью).</p>
Тема 20	<p>Теплообмен излучением между телом и его оболочкой. Теплообмен при наличии экранов для тела с оболочкой. Теплообмен излучением между двумя телами, произвольно расположенными в пространстве. Методы определения угловых коэффициентов излучения. Геометрические свойства лучистых потоков.</p>
Тема 21	<p>Особенности излучения газов и паров. Степень черноты углекислого газа и водяного пара. Основы переноса излучения в поглощающих, излучающих и рассеивающих средах. Закон Бугера. Сложный теплообмен. Коэффициент теплоотдачи излучением.</p>
Тема 22	<p>Лучистый теплообмен между газом и его оболочкой. Приближенный метод расчета степени черноты дымовых газов. Металлургические нагревательные печи. Определение коэффициента теплоотдачи излучением для нагревательной печи. Определение температуры стенки печи.</p>
Тема 23	<p>Передача тепла при граничных условиях третьего рода (теплопередача). Коэффициент теплопередачи. Термическое сопротивление теплопроводности, теплоотдачи, теплопередачи. Граничные условия второго и третьего рода. Уравнение теплопередачи. Теплопередача через однослойную стенку. Коэффициент теплопередачи. Термическое сопротивление. Теплопередача через многослойную стенку.</p>
Тема 24	<p>Уравнение теплопередачи. Теплопередача через однослойную стенку. Коэффициент теплопередачи. Термическое сопротивление. Теплопередача через многослойную стенку. Расчет изоляции. Критический диаметр изоляции.</p>
Тема 25	<p>Типы теплообменников. Рекуперативные теплообменники. Тепловой расчет рекуперативных теплообменников: конструкционный, поверочный, гидравлический. Среднелогарифмический температурный напор.</p>

Тема 26	Диффузия (массообмен) молекулярная и молярная. Концентрационная диффузия, закон Фика, коэффициент диффузии. Термодиффузия, бародиффузия. Дифференциальные уравнения тепло- и массообмена. Тепло- и массоотдача. Коэффициент массоотдачи. Уравнение конвективной тепло- и массоотдачи. Аналогия переноса импульса, энергии и массы компонента (тройная аналогия). Расчет массоотдачи в случае ламинарного пограничного слоя при вынужденном движении. Расчет массоотдачи при турбулентном течении жидкости на основе уравнений теплоотдачи.
Тема 27	Влажный воздух. Давление насыщенного пара. Состояния и основные характеристики влажного воздуха. Испарение воды. Температура мокрого термометра. Испарение неподвижной капли, константа испарения. Испарение капли при вынужденной конвекции. Обдуваемая капля. Летящая капля.
Тема 28	Основные уравнения тепло- и массообмена при химических превращениях. Число Льюиса-Семенова. Теплообмен между газовой смесью и поверхностью раздела фаз.

Тематическое планирование (заочное обучение)

Номер темы/раздела	Наименование темы/раздела	Всего часов				
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
	Всего	275	10	8	10	247
Раздел 1	Стационарная теплопроводность	50	2	2	2	44
Тема 1	Теплопроводность. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности	10				10
Тема 2	Стационарная теплопроводность плоской однородной стенки без внутренних источников тепла	10	1			9
Тема 3	Теплопроводность плоской стенки при наличии внутренних источников тепла	11		1		10
Тема 4	Теплопроводность плоской стенки при наличии внутренних источников тепла	9			2	7
Тема 5	Теплопроводность цилиндрической стенки при наличии внутренних источников тепла	10	1	1		8
Раздел 2	Нестационарная теплопроводность	21	1			20
Тема 6	Температурное поле в процессе охлаждения (нагрева) пластины, стержня	10				10
Тема 7	Температурное поле в процессе охлаждения (нагревания) бесконечно длинного цилиндра, шара и тел неправильной формы	11	1			10
Раздел 3	Конвективный теплообмен в однородной среде	73	2	3	4	64

Тема 8	Уравнения теории конвективного теплообмена	10				10
Тема 9	Теория подобия в конвективном теплообмене. Числа подобия, характеризующие процессы конвективного теплообмена	10				10
Тема 10	Теплоотдача при свободной конвекции в большом объеме около вертикальных поверхностей	11	1	1		9
Тема 11	Свободная конвекция около горизонтальных поверхностей. Свободная конвекция в ограниченном пространстве	11			2	9
Тема 12	Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности	10		1		9
Тема 13	Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании труб и пучков труб	11	1		2	8
Тема 14	Описание процесса вынужденного течения жидкости в трубах. Определение коэффициентов теплоотдачи.	10		1		9
Раздел 4	Теплообмен при фазовых превращениях	30	1			29
Тема 15	Теплообмен при конденсации неподвижного пара.	10				10
Тема 16	Теплообмен при конденсации движущегося пара.	10	1			9
Тема 17	Теплообмен при кипении	10				10
Раздел 5	Лучистый теплообмен	52	2	1	2	47
Тема 18	Основные понятия и законы теплового излучения	10	1			9
Тема 19	Теплообмен излучением между твердыми телами, разделенными прозрачной средой.	12	1	1	2	8
Тема 20	Тело с оболочкой и произвольно расположенные тела	10				10
Тема 21	Излучение газов и паров.	10				10
Тема 22	Лучистый теплообмен между газом и оболочкой.	10				10
Раздел 6	Теплопередача	25	2	2	2	19
Тема 23	Теплопередача через плоскую стенку	11		1	2	8
Тема 24	Теплопередача через цилиндрическую стенку	10	1			9
Тема 25	Теплообменные аппараты и основы их расчета	4	1	1		2
Раздел 7	Массоотдача	24				24
Тема 26	Основные положения тепло- и массообмена. Тепло- и массообмен в двухкомпонентных средах. Тройная аналогия	8				8
Тема 27	Тепло- и массоотдача при испарении жидкости в парогазовую среду.	8				8
Тема 28	Тепло- и массообмен при химических превращениях	8				8

На промежуточную аттестацию отводится 13 часов.

Содержание дисциплины (заочное обучение)

Номер темы	Содержание темы
------------	-----------------

Тема 1	<p>Методы исследования тепловых процессов. Основные понятия, используемые при описании процессов переноса тепла. Температурное поле. Температурный градиент. Тепловой поток. Плотность теплового потока. Закон Фурье, коэффициент теплопроводности. Математическая формулировка задач теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности.</p> <p>Краевые условия задач теплопроводности, различные способы задания граничных условий.</p>
Тема 2	<p>Температурное поле в плоской стенке при граничных условиях первого рода. Приведение уравнений к безразмерному виду. Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры. Теплопроводность через многослойную стенку. Эквивалентный коэффициент теплопроводности плоской стенки.</p>
Тема 3	<p>Плотность объемного тепловыделения. Температурное поле в плоской стенке при наличии тепловыделений. Симметричные условия охлаждения пластины. Пластина с одной теплоизолированной поверхностью. Пластина с разными (постоянными) температурами поверхностей. Критерий Померанцева. Несимметричные условия охлаждения пластины.</p>
Тема 4	<p>Линейная плотность теплового потока. Температурное поле в цилиндрической стенке при граничных условиях первого рода. Теплопроводность через многослойную цилиндрическую стенку. Эквивалентный коэффициент теплопроводности цилиндрической стенки. Теплопроводность через цилиндрическую стенку при граничных условиях третьего рода (теплопередача).</p>
Тема 5	<p>Температурное поле в цилиндрической стенке при наличии внутренних источников тепла. Теплопроводность однородного цилиндрического стержня при наличии тепловыделений. Теплопроводность цилиндрической стенки с внутренними источниками тепла: тепло отводится только через внутреннюю поверхность, тепло отводится только через наружную поверхность, тепло отводится через обе поверхности.</p>
Тема 6	<p>Аналитическое описание процесса. Основные понятия метода нестационарной теплопроводности: безразмерная избыточная температура, критерий Био, критерий Фурье. Нестационарное температурное поле в плоской пластине – решение задачи в безразмерном виде методом разделения переменных. Анализ решения. Зависимость поля температур от числа Фурье. Номограммы. Особенности пересечения касательных к решению на поверхности пластины. Зависимость поля температур бесконечной пластины от числа Био.</p>
Тема 7	<p>Нестационарное температурное поле в сплошном бесконечном цилиндре, в шаре. Анализ решения. Средняя безразмерная избыточная температура, средняя по сечению температура, определение количества теплоты, отданного (полученного) телом в процессе охлаждения (нагрева). Охлаждение (нагревание) тел конечных размеров (параллелепипед, балка прямоугольного сечения, цилиндр конечной длины) – метод перемножения решений.</p>
Тема 8	<p>Основные понятия и определения процессов конвективного теплообмена. Физические свойства жидкостей. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена для несжимаемой жидкости. Пример системы дифференциальных уравнений конвективного теплообмена.</p>

Тема 9	Теория подобия как теоретическая основа экспериментального изучения конвективного теплообмена. Критериальные уравнения. Критерии подобия. Методы экспериментального определения коэффициентов теплоотдачи. Осреднение коэффициентов теплоотдачи. Осреднение температуры жидкости по сечению. Осреднение температуры жидкости и температурного напора по длине трубы. Получение эмпирических критериальных уравнений. Определяющий размер. Определяющая температура.
Тема 10	Общие сведения о свободной конвекции. Число Релея. Теплоотдача при свободной конвекции жидкости около вертикальной пластины или вертикальной трубы.
Тема 11	Теплоотдача при свободной конвекции около горизонтальной пластины. Теплоотдача при свободной конвекции на поверхности горизонтального цилиндра. Теплоотдача при малых значениях числа Релея. Свободная конвекция в прослойках и замкнутых полостях. Эквивалентный коэффициент теплопроводности.
Тема 12	Теплоотдача при свободной конвекции около горизонтальной пластины. Теплоотдача при свободной конвекции на поверхности горизонтального цилиндра. Теплоотдача при малых значениях числа Релея. Свободная конвекция в прослойках и замкнутых полостях. Эквивалентный коэффициент теплопроводности
Тема 13	Гидродинамика и теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра. Угол отрыва ламинарного и турбулентного пограничного слоя. Изменение коэффициента теплоотдачи по окружности цилиндра. Теплообмен при поперечном обтекании коридорных и шахматных пучков труб. Зависимость теплоотдачи от номера ряда, соотношения продольного и поперечного шагов пучка. Средний коэффициент теплоотдачи для пучка. Зависимость теплоотдачи труб от угла атаки.
Тема 14	Гидродинамика и теплообмен при течении жидкости в трубах и каналах. Влияние силы тяжести. Вязкостный и вязкостноравитационный режимы теплоотдачи. Математическое описание теплообмена при течении жидкости в круглой трубе. Понятие стабилизированного теплообмена. Теплоотдача при ламинарном и турбулентном течении в гладких трубах. Особенности теплообмена в трубах некруглого сечения. Влияние шероховатости поверхности на теплообмен в трубах. Теплоотдача в изогнутых трубах.
Тема 15	Определение и классификация процессов конденсации. Теплообмен при конденсации чистых паров. Термодинамические условия протекания процесса, пленочная и капельная конденсация. Пленочная конденсация неподвижного пара на поверхности вертикальной плоскости и горизонтального цилиндра. Капельная конденсация пара. Коэффициент теплоотдачи на отдельной трубе. Средний коэффициент теплоотдачи пучка труб.
Тема 16	Конденсация движущегося пара на одиночной трубе. Конденсация движущегося пара на горизонтальном пучке труб. Изменение расхода и скорости пара. Теплоотдача при течении пара с большими скоростями. Адиабатная температура стенки. Изменение физических свойств теплоносителя с температурой.

Тема 17	<p>Условия зарождения паровой фазы в объеме перегретой жидкости и на твердой поверхности. Динамика паровых пузырьков при кипении. «Кривая кипения». Механизм теплообмена и расчетные соотношения для теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкостей. Теплообмен при пленочном кипении жидкостей.</p> <p>Кризис пузырькового кипения жидкостей в свободном объеме. Температура предельного перегрева жидкости, минимальная плотность теплового потока при пленочном кипении. Особенности теплообмена при кипении в трубах. Переходное кипение.</p>
Тема 18	<p>Описание процесса лучистого теплообмена. Виды лучистых потоков. Спектральная плотность потока излучения. Интегральная плотность потока излучения. Собственное, отраженное, поглощенное, пропущенное, эффективное, результирующее излучение. Понятие абсолютно черного тела. Излучательные характеристики абсолютно черного тела. Закон Планка. Правило смещения Вина. Закон Стефана-Больцмана. Закон Кирхгофа. Закон Ламберта. Угловые коэффициенты излучения.</p>
Тема 19	<p>Методы исследования процессов лучистого теплообмена. Теплообмен излучением в системе тел с плоскопараллельными поверхностями. Теплообмен при наличии экранов для плоскопараллельных тел. Коэффициент излучения твердых тел и методы его определения (радиационный, калориметрический, регулярного теплового режима, нагревания с постоянной скоростью).</p>
Тема 20	<p>Теплообмен излучением между телом и его оболочкой. Теплообмен при наличии экранов для тела с оболочкой. Теплообмен излучением между двумя телами, произвольно расположенными в пространстве. Методы определения угловых коэффициентов излучения. Геометрические свойства лучистых потоков.</p>
Тема 21	<p>Особенности излучения газов и паров. Степень черноты углекислого газа и водяного пара. Основы переноса излучения в поглощающих, излучающих и рассеивающих средах. Закон Бугера. Сложный теплообмен. Коэффициент теплоотдачи излучением.</p>
Тема 22	<p>Лучистый теплообмен между газом и его оболочкой. Приближенный метод расчета степени черноты дымовых газов. Металлургические нагревательные печи. Определение коэффициента теплоотдачи излучением для нагревательной печи. Определение температуры стенки печи.</p>
Тема 23	<p>Передача тепла при граничных условиях третьего рода (теплопередача). Коэффициент теплопередачи. Термическое сопротивление теплопроводности, теплоотдачи, теплопередачи. Граничные условия второго и третьего рода. Уравнение теплопередачи. Теплопередача через однослойную стенку. Коэффициент теплопередачи. Термическое сопротивление. Теплопередача через многослойную стенку.</p>
Тема 24	<p>Уравнение теплопередачи. Теплопередача через однослойную стенку. Коэффициент теплопередачи. Термическое сопротивление. Теплопередача через многослойную стенку. Расчет изоляции. Критический диаметр изоляции.</p>
Тема 25	<p>Типы теплообменников. Рекуперативные теплообменники. Тепловой расчет рекуперативных теплообменников: конструкционный, поверочный, гидравлический. Среднегарифмический температурный напор.</p>

Тема 26	Диффузия (массообмен) молекулярная и молярная. Концентрационная диффузия, закон Фика, коэффициент диффузии. Термодиффузия, бародиффузия. Дифференциальные уравнения тепло- и массообмена. Тепло- и массоотдача. Коэффициент массоотдачи. Уравнение конвективной тепло- и массоотдачи. Аналогия переноса импульса, энергии и массы компонента (тройная аналогия). Расчет массоотдачи в случае ламинарного пограничного слоя при вынужденном движении. Расчет массоотдачи при турбулентном течении жидкости на основе уравнений теплоотдачи.
Тема 27	Влажный воздух. Давление насыщенного пара. Состояния и основные характеристики влажного воздуха. Испарение воды. Температура мокрого термометра. Испарение неподвижной капли, константа испарения. Испарение капли при вынужденной конвекции. Обдуваемая капля. Летящая капля.
Тема 28	Основные уравнения тепло- и массообмена при химических превращениях. Число Льюиса-Семенова. Теплообмен между газовой смесью и поверхностью раздела фаз.

Тематическое планирование (очно-заочное обучение)

Номер темы/раздела	Наименование темы/раздела	Всего часов	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
	Всего	275	20	8	16	231
Раздел 1	Стационарная теплопроводность	56	3	1	2	50
Тема 1	Теплопроводность. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности	11	1			10
Тема 2	Стационарная теплопроводность плоской однородной стенки без внутренних источников тепла	11	0,5	0,5		10
Тема 3	Теплопроводность плоской стенки при наличии внутренних источников тепла	10,5	0,5			10
Тема 4	Теплопроводность плоской стенки при наличии внутренних источников тепла	13	0,5	0,5	2	10
Тема 5	Теплопроводность цилиндрической стенки при наличии внутренних источников тепла	10,5	0,5			10
Раздел 2	Нестационарная теплопроводность	21	1			20
Тема 6	Температурное поле в процессе охлаждения (нагрева) пластины, стержня	10,5	0,5			10
Тема 7	Температурное поле в процессе охлаждения (нагревания) бесконечно длинного цилиндра, шара и тел неправильной формы	10,5	0,5			10
Раздел 3	Конвективный теплообмен в однородной среде	77	6	2	4	65

Тема 8	Уравнения теории конвективного теплообмена	11	1			10
Тема 9	Теория подобия в конвективном теплообмене. Числа подобия, характеризующие процессы конвективного теплообмена	11	1			10
Тема 10	Теплоотдача при свободной конвекции в большом объеме около вертикальных поверхностей	10,5	1	0,5		9
Тема 11	Свободная конвекция около горизонтальных поверхностей. Свободная конвекция в ограниченном пространстве	12,5	1	0,5	2	9
Тема 12	Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности	11,5	1	0,5		10
Тема 13	Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании труб и пучков труб	10	0,5	0,5	2	7
Тема 14	Описание процесса вынужденного течения жидкости в трубах. Определение коэффициентов теплоотдачи.	10,5	0,5			10
Раздел 4	Теплообмен при фазовых превращениях	21	2	1		18
Тема 15	Теплообмен при конденсации неподвижного пара.	7	0,5	0,5		6
Тема 16	Теплообмен при конденсации движущегося пара.	6,5	0,5			6
Тема 17	Теплообмен при кипении	7,5	1	0,5		6
Раздел 5	Лучистый теплообмен	53	4	2	4	43
Тема 18	Основные понятия и законы теплового излучения	10	1			9
Тема 19	Теплообмен излучением между твердыми телами, разделенными прозрачной средой.	12,5	1	0,5	2	9
Тема 20	Тело с оболочкой и произвольно расположенные тела	12,5	1	0,5	2	9
Тема 21	Излучение газов и паров.	9	0,5	0,5		8
Тема 22	Лучистый теплообмен между газом и оболочкой.	9	0,5	0,5		8
Раздел 6	Теплопередача	28	3	2	6	17
Тема 23	Теплопередача через плоскую стенку	9,5	1	0,5	2	6
Тема 24	Теплопередача через цилиндрическую стенку	9,5	1	0,5	2	6
Тема 25	Теплообменные аппараты и основы их расчета	9	1	1	2	5
Раздел 7	Массоотдача	19	1			18
Тема 26	Основные положения тепло- и массообмена. Тепло- и массообмен в двухкомпонентных средах. Тройная аналогия	7	1			6
Тема 27	Тепло- и массоотдача при испарении жидкости в парогазовую среду.	6				6
Тема 28	Тепло- и массообмен при химических превращениях	6				6

На промежуточную аттестацию отводится 13 часов.

Содержание дисциплины (очно-заочное обучение)

Номер темы	Содержание темы
------------	-----------------

Тема 1	<p>Методы исследования тепловых процессов. Основные понятия, используемые при описании процессов переноса тепла. Температурное поле. Температурный градиент. Тепловой поток. Плотность теплового потока. Закон Фурье, коэффициент теплопроводности. Математическая формулировка задач теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности.</p> <p>Краевые условия задач теплопроводности, различные способы задания граничных условий.</p>
Тема 2	<p>Температурное поле в плоской стенке при граничных условиях первого рода. Приведение уравнений к безразмерному виду. Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры. Теплопроводность через многослойную стенку. Эквивалентный коэффициент теплопроводности плоской стенки.</p>
Тема 3	<p>Плотность объемного тепловыделения. Температурное поле в плоской стенке при наличии тепловыделений. Симметричные условия охлаждения пластины. Пластина с одной теплоизолированной поверхностью. Пластина с разными (постоянными) температурами поверхностей. Критерий Померанцева. Несимметричные условия охлаждения пластины.</p>
Тема 4	<p>Линейная плотность теплового потока. Температурное поле в цилиндрической стенке при граничных условиях первого рода. Теплопроводность через многослойную цилиндрическую стенку. Эквивалентный коэффициент теплопроводности цилиндрической стенки. Теплопроводность через цилиндрическую стенку при граничных условиях третьего рода (теплопередача).</p>
Тема 5	<p>Температурное поле в цилиндрической стенке при наличии внутренних источников тепла. Теплопроводность однородного цилиндрического стержня при наличии тепловыделений. Теплопроводность цилиндрической стенки с внутренними источниками тепла: тепло отводится только через внутреннюю поверхность, тепло отводится только через наружную поверхность, тепло отводится через обе поверхности.</p>
Тема 6	<p>Аналитическое описание процесса. Основные понятия метода нестационарной теплопроводности: безразмерная избыточная температура, критерий Био, критерий Фурье. Нестационарное температурное поле в плоской пластине – решение задачи в безразмерном виде методом разделения переменных. Анализ решения. Зависимость поля температур от числа Фурье. Номограммы. Особенности пересечения касательных к решению на поверхности пластины. Зависимость поля температур бесконечной пластины от числа Био.</p>
Тема 7	<p>Нестационарное температурное поле в сплошном бесконечном цилиндре, в шаре. Анализ решения. Средняя безразмерная избыточная температура, средняя по сечению температура, определение количества теплоты, отданного (полученного) телом в процессе охлаждения (нагрева). Охлаждение (нагревание) тел конечных размеров (параллелепипед, балка прямоугольного сечения, цилиндр конечной длины) – метод перемножения решений.</p>
Тема 8	<p>Основные понятия и определения процессов конвективного теплообмена. Физические свойства жидкостей. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена для несжимаемой жидкости. Пример системы дифференциальных уравнений конвективного теплообмена.</p>

Тема 9	Теория подобия как теоретическая основа экспериментального изучения конвективного теплообмена. Критериальные уравнения. Критерии подобия. Методы экспериментального определения коэффициентов теплоотдачи. Осреднение коэффициентов теплоотдачи. Осреднение температуры жидкости по сечению. Осреднение температуры жидкости и температурного напора по длине трубы. Получение эмпирических критериальных уравнений. Определяющий размер. Определяющая температура.
Тема 10	Общие сведения о свободной конвекции. Число Релея. Теплоотдача при свободной конвекции жидкости около вертикальной пластины или вертикальной трубы.
Тема 11	Теплоотдача при свободной конвекции около горизонтальной пластины. Теплоотдача при свободной конвекции на поверхности горизонтального цилиндра. Теплоотдача при малых значениях числа Релея. Свободная конвекция в прослойках и замкнутых полостях. Эквивалентный коэффициент теплопроводности.
Тема 12	Теплоотдача при свободной конвекции около горизонтальной пластины. Теплоотдача при свободной конвекции на поверхности горизонтального цилиндра. Теплоотдача при малых значениях числа Релея. Свободная конвекция в прослойках и замкнутых полостях. Эквивалентный коэффициент теплопроводности
Тема 13	Гидродинамика и теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра. Угол отрыва ламинарного и турбулентного пограничного слоя. Изменение коэффициента теплоотдачи по окружности цилиндра. Теплообмен при поперечном обтекании коридорных и шахматных пучков труб. Зависимость теплоотдачи от номера ряда, соотношения продольного и поперечного шагов пучка. Средний коэффициент теплоотдачи для пучка. Зависимость теплоотдачи труб от угла атаки.
Тема 14	Гидродинамика и теплообмен при течении жидкости в трубах и каналах. Влияние силы тяжести. Вязкостный и вязкостноравитационный режимы теплоотдачи. Математическое описание теплообмена при течении жидкости в круглой трубе. Понятие стабилизированного теплообмена. Теплоотдача при ламинарном и турбулентном течении в гладких трубах. Особенности теплообмена в трубах некруглого сечения. Влияние шероховатости поверхности на теплообмен в трубах. Теплоотдача в изогнутых трубах.
Тема 15	Определение и классификация процессов конденсации. Теплообмен при конденсации чистых паров. Термодинамические условия протекания процесса, пленочная и капельная конденсация. Пленочная конденсация неподвижного пара на поверхности вертикальной плоскости и горизонтального цилиндра. Капельная конденсация пара. Коэффициент теплоотдачи на отдельной трубе. Средний коэффициент теплоотдачи пучка труб.
Тема 16	Конденсация движущегося пара на одиночной трубе. Конденсация движущегося пара на горизонтальном пучке труб. Изменение расхода и скорости пара. Теплоотдача при течении пара с большими скоростями. Адиабатная температура стенки. Изменение физических свойств теплоносителя с температурой.

Тема 17	<p>Условия зарождения паровой фазы в объеме перегретой жидкости и на твердой поверхности. Динамика паровых пузырьков при кипении. «Кривая кипения». Механизм теплообмена и расчетные соотношения для теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкостей. Теплообмен при пленочном кипении жидкостей.</p> <p>Кризис пузырькового кипения жидкостей в свободном объеме. Температура предельного перегрева жидкости, минимальная плотность теплового потока при пленочном кипении. Особенности теплообмена при кипении в трубах. Переходное кипение.</p>
Тема 18	<p>Описание процесса лучистого теплообмена. Виды лучистых потоков. Спектральная плотность потока излучения. Интегральная плотность потока излучения. Собственное, отраженное, поглощенное, пропущенное, эффективное, результирующее излучение. Понятие абсолютно черного тела. Излучательные характеристики абсолютно черного тела. Закон Планка. Правило смещения Вина. Закон Стефана-Больцмана. Закон Кирхгофа. Закон Ламберта. Угловые коэффициенты излучения.</p>
Тема 19	<p>Методы исследования процессов лучистого теплообмена. Теплообмен излучением в системе тел с плоскопараллельными поверхностями. Теплообмен при наличии экранов для плоскопараллельных тел. Коэффициент излучения твердых тел и методы его определения (радиационный, калориметрический, регулярного теплового режима, нагревания с постоянной скоростью).</p>
Тема 20	<p>Теплообмен излучением между телом и его оболочкой. Теплообмен при наличии экранов для тела с оболочкой. Теплообмен излучением между двумя телами, произвольно расположенными в пространстве. Методы определения угловых коэффициентов излучения. Геометрические свойства лучистых потоков.</p>
Тема 21	<p>Особенности излучения газов и паров. Степень черноты углекислого газа и водяного пара. Основы переноса излучения в поглощающих, излучающих и рассеивающих средах. Закон Бугера. Сложный теплообмен. Коэффициент теплоотдачи излучением.</p>
Тема 22	<p>Лучистый теплообмен между газом и его оболочкой. Приближенный метод расчета степени черноты дымовых газов. Металлургические нагревательные печи. Определение коэффициента теплоотдачи излучением для нагревательной печи. Определение температуры стенки печи.</p>
Тема 23	<p>Передача тепла при граничных условиях третьего рода (теплопередача). Коэффициент теплопередачи. Термическое сопротивление теплопроводности, теплоотдачи, теплопередачи. Граничные условия второго и третьего рода. Уравнение теплопередачи. Теплопередача через однослойную стенку. Коэффициент теплопередачи. Термическое сопротивление. Теплопередача через многослойную стенку.</p>
Тема 24	<p>Уравнение теплопередачи. Теплопередача через однослойную стенку. Коэффициент теплопередачи. Термическое сопротивление. Теплопередача через многослойную стенку. Расчет изоляции. Критический диаметр изоляции.</p>
Тема 25	<p>Типы теплообменников. Рекуперативные теплообменники. Тепловой расчет рекуперативных теплообменников: конструкционный, поверочный, гидравлический. Среднегарифмический температурный напор.</p>

Тема 26	Диффузия (массообмен) молекулярная и молярная. Концентрационная диффузия, закон Фика, коэффициент диффузии. Термодиффузия, бародиффузия. Дифференциальные уравнения тепло- и массообмена. Тепло- и массоотдача. Коэффициент массоотдачи. Уравнение конвективной тепло- и массоотдачи. Аналогия переноса импульса, энергии и массы компонента (тройная аналогия). Расчет массоотдачи в случае ламинарного пограничного слоя при вынужденном движении. Расчет массоотдачи при турбулентном течении жидкости на основе уравнений теплоотдачи.
Тема 27	Влажный воздух. Давление насыщенного пара. Состояния и основные характеристики влажного воздуха. Испарение воды. Температура мокрого термометра. Испарение неподвижной капли, константа испарения. Испарение капли при вынужденной конвекции. Обдуваемая капля. Летящая капля.
Тема 28	Основные уравнения тепло- и массообмена при химических превращениях. Число Льюиса-Семенова. Теплообмен между газовой смесью и поверхностью раздела фаз.

6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Литература для самостоятельной работы студентов

1. Тепломассообмен : методические указания для самостоятельной работы студентов, обучающихся по направлению "Теплотехника и теплоэнергетика". Ч. 1 / ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА ; сост. Л. П. Артамонова. - Ижевск : [б. и.], 2015 - 89 с. - URL: <http://portal.izhgsha.ru/index.php?q=docs&download=1&parent=12766&id=20850>

2. Тепломассообмен : методические указания для самостоятельной работы студентов, обучающихся по направлению "Теплотехника и теплоэнергетика" / ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА. - Ижевск : [б. и.], 2015 - . - URL: <http://portal.izhgsha.ru/index.php?q=docs&download=1&parent=12766&id=20852>

Ч. 2 / сост. Л. П. Артамонова. - 2015. - 80 с.

3. Тепломассообмен : методические указания к лабораторным работам для студентов, обучающихся по направлению «Теплоэнергетика и теплотехника», очной и заочной форм обучения / сост.: П. Л. Лекомцев, Л. П. Артамонова, О. Г. Долговых. - 2-е изд., перераб. и доп. - Ижевск : [б. и.], 2016. - 53 с. - URL: <http://portal.izhgsha.ru/index.php?q=docs&download=1&parent=12766&id=13177>

Вопросы и задания для самостоятельной работы (очная форма обучения)

Пятый семестр (96 ч.)

Вид СРС: Работа с рекомендуемой литературы (20 ч.)

Самостоятельное изучение вопроса, согласно рекомендуемой преподавателем основной и дополнительной литературы.

Вид СРС: Лабораторная работа (подготовка) (28 ч.)

Вид учебного занятия, направленный на углубление и закрепление знаний, практических навыков, овладение методикой и техникой эксперимента. При подготовке осуществляется изучение теоретического материала, изучение методики эксперимента, выполнение конспекта к лабораторной работе.

Вид СРС: Тест (подготовка) (13 ч.)

Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.

Вид СРС: Расчетно-графические работы (выполнение) (20 ч.)

Средство проверки умений применять полученные знания по заранее определенной методике для решения задач или заданий по модулю или дисциплине в целом.

Вид СРС: Творческое задание (выполнение) (15 ч.)

Частично регламентированное задание, имеющее нестандартное решение и позволяющее диагностировать умения, интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения. Может выполняться в индивидуальном порядке или группой обучающихся.

Шестой семестр (45 ч.)

Вид СРС: Работа с рекомендуемой литературы (10 ч.)

Самостоятельное изучение вопроса, согласно рекомендуемой преподавателем основной и дополнительной литературы.

Вид СРС: Лабораторная работа (подготовка) (25 ч.)

Вид учебного занятия, направленный на углубление и закрепление знаний, практических навыков, овладение методикой и техникой эксперимента. При подготовке осуществляется изучение теоретического материала, изучение методики эксперимента, выполнение конспекта к лабораторной работе.

Вид СРС: Расчетно-графические работы (выполнение) (10 ч.)

Средство проверки умений применять полученные знания по заранее определенной методике для решения задач или заданий по модулю или дисциплине в целом.

Вопросы и задания для самостоятельной работы (заочная форма обучения)

Всего часов самостоятельной работы (247 ч.)

Вид СРС: Работа с рекомендуемой литературы (105 ч.)

Самостоятельное изучение вопроса, согласно рекомендуемой преподавателем основной и дополнительной литературы.

Вид СРС: Лабораторная работа (подготовка) (40 ч.)

Вид учебного занятия, направленный на углубление и закрепление знаний, практических навыков, овладение методикой и техникой эксперимента. При подготовке осуществляется изучение теоретического материала, изучение методики эксперимента, выполнение конспекта к лабораторной работе.

Вид СРС: Тест (подготовка) (35 ч.)

Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.

Вид СРС: Контрольная работа (выполнение) (40 ч.)

Средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу.

Вид СРС: Реферат (выполнение) (27 ч.)

Продукт самостоятельной работы студента, представляющий собой краткое изложение в письменном виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной (учебно-исследовательской) темы, где автор раскрывает суть исследуемой проблемы, приводит различные точки зрения, а также собственные взгляды на нее.

Вопросы и задания для самостоятельной работы (очно-заочная форма обучения)

Всего часов самостоятельной работы (231 ч.)

Вид СРС: Работа с рекомендуемой литературы (70 ч.)

Самостоятельное изучение вопроса, согласно рекомендуемой преподавателем основной и дополнительной литературы.

Вид СРС: Лабораторная работа (подготовка) (41 ч.)

Вид учебного занятия, направленный на углубление и закрепление знаний, практических навыков, овладение методикой и техникой эксперимента. При подготовке осуществляется изучение теоретического материала, изучение методики эксперимента, выполнение конспекта к лабораторной работе.

Вид СРС: Тест (подготовка) (40 ч.)

Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.

Вид СРС: Расчетно-графические работы (выполнение) (50 ч.)

Средство проверки умений применять полученные знания по заранее определенной методике для решения задач или заданий по модулю или дисциплине в целом.

Вид СРС: Творческое задание (выполнение) (30 ч.)

Частично регламентированное задание, имеющее нестандартное решение и позволяющее диагностировать умения, интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения. Может выполняться в индивидуальном порядке или группой обучающихся.

7. Тематика курсовых работ(проектов)

Курсовые работы (проекты) по дисциплине не предусмотрены.

8. Фонд оценочных средств для текущего контроля и промежуточной аттестации

8.1. Компетенции и этапы формирования

Коды компетенций	Этапы формирования		
	Курс, семестр	Форма контроля	Разделы дисциплины
ОПК-2 ОПК-3	3 курс, Пятый семестр	Зачет	Раздел 1: Стационарная теплопроводность.
ОПК-2 ОПК-3	3 курс, Пятый семестр	Зачет	Раздел 2: Нестационарная теплопроводность.
ОПК-2 ОПК-3	3 курс, Пятый семестр	Зачет	Раздел 3: Конвективный теплообмен в однородной среде.
ОПК-2 ОПК-3	3 курс, Шестой семестр	Экзамен	Раздел 4: Теплообмен при фазовых превращениях.
ОПК-2 ОПК-3	3 курс, Шестой семестр	Экзамен	Раздел 5: Лучистый теплообмен .

ОПК-2 ОПК-3	3 курс, Шестой семестр	Экзамен	Раздел 6: Теплопередача.
ОПК-2 ОПК-3	3 курс, Шестой семестр	Экзамен	Раздел 7: Массоотдача.

8.2. Показатели и критерии оценивания компетенций, шкалы оценивания

В рамках изучаемой дисциплины студент демонстрирует уровни овладения компетенциями:

Повышенный уровень:

Достигнутый уровень оценки результатов обучения является основой для формирования компетенций, соответствующих требованиям ФГОС. Обучающиеся способны использовать сведения из различных источников для успешного исследования и поиска решения в нестандартных практико-ориентированных ситуациях.

Базовый уровень:

Обучающиеся продемонстрировали результаты на уровне осознанного владения знаниями, умениями, навыками. Обучающиеся способны анализировать, проводить сравнение и обоснование выбора методов решения заданий в практико-ориентированных ситуациях.

Пороговый уровень:

Достигнутый уровень оценки результатов обучения показывает, что обучающиеся обладают необходимой системой знаний и владеют некоторыми умениями по дисциплине. Обучающиеся способны понимать и интерпретировать освоенную информацию, что является основой успешного формирования умений и навыков для решения практико-ориентированных задач.

Уровень ниже порогового:

Результаты обучения свидетельствуют об усвоении ими некоторых элементарных знаний основных вопросов по дисциплине. Допущенные ошибки и неточности показывают, что студенты не овладели необходимой системой знаний по дисциплине.

Уровень сформированности компетенции	Шкала оценивания для промежуточной аттестации	
	Экзамен (дифференцированный зачет)	Зачет
Повышенный	5 (отлично)	зачтено
Базовый	4 (хорошо)	зачтено
Пороговый	3 (удовлетворительно)	зачтено
Ниже порогового	2 (неудовлетворительно)	не зачтено

Критерии оценки знаний студентов по дисциплине

Оценка Хорошо:

Полнота знаний: уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, допущено несколько негрубых ошибок.

Наличие умений: продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с негрубыми ошибками, выполнены все задания в полном объеме, некоторые с недочетами.

Наличие навыков (владение опытом): продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.

Характеристика сформированности компетенций:

- сформированность компетенции в целом соответствует требованиям;
- имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения стандартных практических (профессиональных) задач.

Уровень сформированности компетенций: средний.

Оценка Удовлетворительно:

Полнота знаний: минимально допустимый уровень знаний, допущено много негрубых ошибок.

Наличие умений: продемонстрированы основные умения, решены типовые задачи с негрубыми ошибками, выполнены все задания, но не в полном объеме.

Наличие навыков (владение опытом): имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.

Характеристика сформированности компетенций:

- сформированность компетенции соответствует минимальным требованиям;
- имеющихся знаний, умений, навыков в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по большинству практических задач.

Уровень сформированности компетенций: ниже среднего.

Оценка Неудовлетворительно:

Полнота знаний: уровень знаний ниже минимальных требований, имели место грубые ошибки.

Наличие умений: при решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения, имели место грубые ошибки.

Наличие навыков (владение опытом): при решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки, имели место грубые ошибки.

Характеристика сформированности компетенций:

- компетенция в полной мере не сформирована;
- имеющихся знаний, умений, навыков недостаточно для решения практических (профессиональных) задач.

Уровень сформированности компетенций: низкий.

Оценка Не зачтено:

Полнота знаний: уровень знаний ниже минимальных требований, имели место грубые ошибки.

Наличие умений: при решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения, имели место грубые ошибки.

Наличие навыков (владение опытом): при решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки, имели место грубые ошибки.

Характеристика сформированности компетенций:

- компетенция в полной мере не сформирована;
- имеющихся знаний, умений, навыков недостаточно для решения практических (профессиональных) задач.

Уровень сформированности компетенций: низкий.

Оценка Зачтено:

Полнота знаний: не ниже минимально допустимого уровня знаний, возможен допуск множества негрубых ошибок.

Наличие умений: умения сформированы не ниже демонстрации основных умений, решения типовых задач с негрубыми ошибками, выполнены все задания, но не в полном объеме.

Наличие навыков (владение опытом): как минимум имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.

Характеристика сформированности компетенций:

- сформированность компетенции не ниже минимальных требований;
- имеющихся знаний, умений, навыков как минимум достаточно для решения практических (профессиональных) задач, возможно требуется дополнительная практика по большинству практических задач.

Уровень сформированности компетенций: минимальный уровень ниже среднего.

Оценка Отлично:

Полнота знаний: уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.

Наличие умений: продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.

Наличие навыков (владение опытом): продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.

Характеристика сформированности компетенций:

- сформированность компетенции полностью соответствует требованиям;
- имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в полной мере достаточно для решения сложных практических (профессиональных) задач.

Уровень сформированности компетенций: высокий.

8.3. Типовые вопросы, задания текущего контроля

Раздел 1: Стационарная теплопроводность

ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

1. Плотность теплового потока через плоскую стенку толщиной $\delta=50$ мм $q=70$ Вт/м². Определить разность температур на поверхностях стенки, если она выполнена: а) из латуни ($\lambda=70$ Вт/м⁰С); б) из красного кирпича ($\lambda=0,7$ Вт/м⁰С); в) из пробки ($\lambda=0,07$ Вт/м⁰С).

2. Определить температуры на поверхностях соприкосновения слоев стенки t_{c2} камеры сгорания и на внешней поверхности t_{c3} , если внутренний диаметр камеры $d=190$ мм, толщина защитного покрытия, расположенного с внутренней стороны основной стенки, $\delta=1$ мм и его коэффициент теплопроводности $\lambda=1,15$ Вт/м⁰С, а толщина основной стенки $\delta=2$ мм и ее коэффициент теплопроводности $\lambda=372$ Вт/м⁰С. Удельный тепловой поток $q=407500$ Вт/м, температура на поверхности покрытия со стороны камеры $t_{c2}=12000$ С.

3. По стержню из нержавеющей стали диаметром $d=10$ мм проходит электрический ток, вызывающий объемное выделение теплоты мощностью $q_v=2,4 \cdot 10^7$ Вт/м³. На поверхности стержня поддерживается температура $t_c=300$ С. Найти температуру на оси стержня t_0 и плотность теплового потока на внешней поверхности стержня, если коэффициент теплопроводности стали $\lambda=25$ Вт/м⁰С.

ОПК-2 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

1. Расчет теплового потока теплопроводностью через плоскую одно- и многослойную стенку.

2. Расчет теплового потока теплопроводностью через цилиндрическую одно- и многослойную стенку.

3. Расчет теплового потока теплопроводностью через стенки неправильной формы.

4. Расчет эквивалентного коэффициента теплопроводности одно- и многослойных стенок.

5. Расчет процесса теплопроводности при наличии внутренних источников теплоты.

Раздел 2: Нестационарная теплопроводность

ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

1. Определить температуру на поверхности и в центре равномерно нагретого до $t_0 = 900$ °С длинного стального цилиндра диаметром $d = 350$ мм через 1 час, 0,5 часа и 20 минут после помещения его на воздух, температура которого $t_{ж} = 25$ °С. Коэффициент теплоотдачи от стенки цилиндра к воздуху $\alpha = 50$ Вт/м² °С, коэффициент теплопроводности стали $\lambda = 50$ Вт/м °С, удельная теплоемкость стали $c_p = 0,7$ кДж/кг °С, плотность стали $\rho = 7900$ кг/м³.

2. Начальная температура листа стали толщиной $\delta = 10$ мм, $t_0 = 1000$ °С. Физические свойства стали: коэффициент теплопроводности $\lambda = 45$ Вт/м °С, плотность $\rho = 7900$ кг/м³, теплоемкость $c_p = 0,46$ кДж/кг °С. Найти температуру листа через 1 мин после начала охлаждения в воздухе и в воде. Для воздуха коэффициент теплоотдачи $\alpha = 8$ Вт/м² °С, для воды $\alpha = 500$ Вт/м² °С. И в том и в другом случае $t_{ж} = 200$ °С.

3. Внутренняя часть ограждения промышленной печи выполнена из огнеупорного материала, а внешняя представляет собой тепловую изоляцию. Толщина огнеупора $\delta = 250$ мм, его физические свойства: коэффициент теплопроводности $\lambda = 45$ Вт/м °С, коэффициент температуропроводности $a = 3,5 \cdot 10^{-7}$ м²/с. Температура огнеупора и температура печи $t_0 = 200$ °С. Найти температуры внутренней и внешней поверхностей огнеупора через 10 часов после того, как температура газов в печи возрастает до $t_{ж} = 1000$ °С. Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке $\alpha = 32$ Вт/м² °С.

ОПК-2 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

1. Решение задач нестационарной теплопроводности с помощью номограмм.

2. Расчет процессов нагрева и охлаждения пластины.

3. Расчет процессов нагрева и охлаждения стержня.

4. Применение метода регулярного режима охлаждения тел для экспериментального определения теплофизических свойств веществ.

Раздел 3: Конвективный теплообмен в однородной среде

ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

1. Определить среднее значение коэффициента теплоотдачи α , Вт/м² °С и количество передаваемой теплоты Φ , Вт при течении воды в горизонтальной трубе диаметром $d = 150$ мм и длиной $l = 2$ м, если средняя скорость течения $\omega = 0,8$ м/с, средняя температура воды $t_{ж} = 600$ °С, средняя температура стенки $t_c = 200$ °С.

2. Вдоль горячей стенки с постоянной температурой $t_c = 120$ °С направлен поток воздуха со скоростью $\omega = 5$ м/с. Определить средний коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху, если длина стенки $l = 2$ м, а температура набегающего воздуха $t_{ж} = 10$ °С. Определить местный коэффициент теплоотдачи и толщину гидродинамического пограничного слоя воздуха на расстоянии 1 м от начала стенки.

3. Определить потерю теплоты путем свободной конвекции от вертикальной трубы диаметром $d = 200$ мм и длиной $l = 5$ м к воздуху, если средняя температура поверхности трубы $t_c = 950$ °С, а средняя температура воздуха $t_{ж} = 2500$ °С.

4. Определить средний коэффициент теплоотдачи от воздуха для 4-рядного коридорного пучка труб диаметром $d = 12$ мм. Средняя температура воздуха $t_{ж} = 950$ °С, средняя скорость в самом узком сечении пучка $\omega = 15$ м/с, угол атаки $\varphi = 900$ °С.

ОПК-2 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

1. Применение теории подобия при решении задач конвективного теплообмена.
2. Расчет процесса теплоотдачи при свободной конвекции теплоносителя около вертикальных и горизонтальных поверхностей.
3. Расчет процесса теплоотдачи при вынужденной конвекции теплоносителя.
4. Определение эквивалентного коэффициента теплопроводности при теплоотдаче в ограниченном пространстве.

Раздел 4: Теплообмен при фазовых превращениях

ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

1. Вычислить средний коэффициент теплоотдачи при кипении воды и количество пара, получаемое в испарителе за 1 час, если общая поверхность испарения составляет $F = 2 \text{ м}^2$, средняя температура стенки испарителя $t_{ст} = 2550 \text{ С}$, давление пара $P = 2,5 \text{ МПа}$.

2. Определить средний коэффициент теплоотдачи от пара к трубе (горизонтальной и вертикальной) конденсатора и количество конденсата, образующегося за 1 час, если труба имеет наружный диаметр $d = 12 \text{ мм}$, высотой (длиной) $h = 6 \text{ м}$ и среднюю температуру поверхности $t_{ст} = 200 \text{ С}$. На поверхности трубы конденсируется сухой насыщенный пар при давлении $P = 1,5 \text{ МПа}$.

3. Вычислить коэффициент теплоотдачи при кипении воды и количество пара, полученное в испарителе за 1 час. Площадь поверхности испарителя $F = 5 \text{ м}^2$. Температура стенки испарителя $t_{ст} = 1550 \text{ С}$. Давление пара $P = 0,45 \text{ МПа}$.

ОПК-2 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

1. Применение теории подобия при решении задач теплообмена при фазовых превращениях.
2. Расчет процесса теплообмена при кипении жидкости.
3. Расчет процесса теплообмена при конденсации неподвижного пара.
4. Расчет процесса теплообмена при конденсации движущегося пара
5. Расчет параметров при кризисах кипения.

Раздел 5: Лучистый теплообмен

ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

1. Определить тепловой поток, излучаемый стальной трубой с окисленной поверхностью, имеющей наружный диаметр 70 мм и длину 10 м. Температура поверхности трубы 230 °С. Труба расположена в помещении на большом удалении от стен, температура которых 20 °С

2. Нихромовая проволока разогрета до температуры 1000 °С. Вычислить коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием с поверхности проволоки, если нагреватель расположен в большом помещении, а температура ограждений 27 °С.

3. Горячий газ движется по каналу, стенки которого нагреты до 180 °С. В поток газа помещена термопара, которая показывает температуру 340 °С. Коэффициент теплового излучения спаея термопары 0,88. Коэффициент конвективной теплоотдачи от потока газа к спаеу термопары 50 Вт/(м²·К). Из-за лучистого теплообмена между спаеом и стенками канала термопара показывает заниженную температуру газа. Найти действительную температуру газа в канале.

ОПК-2 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

1. Определение собственного, отраженного, поглощенного, пропущенного, эффективного, результирующего излучения.
2. Методы определения коэффициента излучения твердых тел (радиационный, калориметрический, регулярного теплового режима, нагревания с постоянной скоростью).
3. Использование законов теплового излучения для расчета процесса лучистого теплообмена.
4. Приближенный метод расчета степени черноты дымовых газов.
5. Определение коэффициента теплоотдачи излучением для нагревательной печи.

Раздел 6: Теплопередача

ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

1. Найти толщину слоя шлаковаты, которым надо изолировать плоскую стенку от окружающей среды, чтобы уменьшить потери теплоты в 2 раза по сравнению с неизолированной стенкой. Температура наружной поверхности стенки после наложения изоляции не изменилась, Коэффициент теплоотдачи в окружающую среду принять в обоих случаях $=1,16 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$.

2. В паровом подогревателе на стальных трубках с толщиной стенки 4 мм конденсируется водяной пар давлением 476 кПа. Внутри труб греется вода при средней температуре $30 \text{ }^\circ\text{С}$. Коэффициенты теплоотдачи: для пара $=13\ 000$, для воды $=3500 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$. На поверхностях трубок с одной стороны слой накипи толщиной 2 мм, с другой – слой ржавчины толщиной 1 мм. Найти температуры на поверхностях всех слоев и построить температурный график.

3. В газовой охладителе коэффициент теплоотдачи со стороны газа $=58$, со стороны воды $=580 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$. В выпарном аппарате со стороны греющего пара $=11000 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$, а со стороны кипящего раствора $=2800 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$. В обоих теплообменниках стальные трубы с толщиной стенки 3 мм покрываются с одной стороны слоем накипи толщиной 2 мм. Как изменится в этих аппаратах коэффициент теплопередачи по сравнению с чистыми трубами? Расчет сделать по формулам для плоской стенки.

ОПК-2 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

1. Расчет процесса теплопередачи через однослойную и многослойную плоскую стенку.
2. Расчет процесса теплопередачи через однослойную и многослойную цилиндрическую стенку.
3. Расчет изоляции. Определение критического диаметра изоляции.
4. Конструкционный и поверочный расчет рекуперативных теплообменных аппаратов.

Раздел 7: Массоотдача

ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

1. Открытая поверхность воды площадью $2,4 \text{ м}^2$ обдувается воздухом со скоростью $1,5 \text{ м/с}$. Определить количество влаги, испаряющейся за $1,5 \text{ ч}$, если температура воды 35°С , воздуха 220°С , относительная влажность воздуха 50% . Барометрическое давление 745 мм рт. ст.

2. Найти коэффициент массоотдачи в процессе высушивания влажного материала воздухом под давлением 780 мм рт. ст. , движущимся со скоростью $1,8 \text{ м/с}$ над поверхностью испарения, длина которой $l = 0,6 \text{ м}$. Показания психрометра: $= 32^\circ\text{С}$, $= 180\text{С}$. Принять коэффициент диффузии $\text{м}^2/\text{с}$ при нормальных физических условиях.

3. Происходит адиабатное испарение воды, в результате чего температура окружающего воздуха понизилась с 81 до 35 °С. Расход воздуха 20 000 м³/ч, начальная относительная влажность 5%. Рассчитать количество испарившейся за 0,5 ч воды и конечную относительную влажность воздуха. Атмосферное давление 755 мм рт, ст.

ОПК-2 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

1. Расчет массоотдачи при турбулентном течении жидкости на основе уравнений теплоотдачи.

2. Расчет массоотдачи в случае ламинарного пограничного слоя при вынужденном движении.

3. Основные уравнения тепло- и массообмена при химических превращениях.

4. Дифференциальные уравнения тепло- и массообмена.

8.4. Вопросы промежуточной аттестации

Пятый семестр (Зачет, ОПК-2, ОПК-3)

1. Температурное поле, градиент температуры. Тепловой поток. Плотность теплового потока. Закон Фурье.

2. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности, граничные условия

3. Теплопроводность плоской однослойной стенки.

4. Теплопроводность многослойной плоской стенки.

5. Теплопроводность однослойной цилиндрической стенки.

6. Теплопроводность многослойной цилиндрической стенки.

7. Теплопроводность тел различной формы с внутренним источником теплоты

8. Теплопередача через плоскую однослойную и многослойную стенки

9. Дифференциальное уравнение нестационарного процесса теплопроводности.

10. Дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности в безразмерном виде.

11. Критерии подобия в нестационарной теплопроводности

12. Уравнение теплопроводности для пластины, цилиндра и шара.

13. Методика определения количества теплоты, отданного (полученного) телами в процессе охлаждения (нагревания).

14. Методика определения температуры тел конечных размеров при помощи номограмм.

15. Теорема Кондратьева.

16. Теория регулярного режима. Методика определения коэффициента температуропроводности методом регулярного режима. первого, второго и третьего рода.

17. Методика определения коэффициента теплопроводности методом регулярного режима.

18. Конвективный теплообмен, закон Ньютона – Рихмана.

19. Гидродинамический и температурный пограничные слои.

20. Теплоотдача при свободном течении жидкости в большом объеме вдоль вертикальной стенки

21. Особенности теплоотдачи для свободной конвекции около горизонтальных труб.

22. Теплоотдача при свободном течении жидкости в ограниченном пространстве.

23. Теплоотдача при продольном обтекании плоской пластины в случае ламинарного и турбулентного режимов течения жидкости.

24. Особенности теплоотдачи при обтекании одиночной круглой трубы в зависимости от режимов течения жидкости.

25. Теплоотдача при обтекании трубного пучка при шахматном и коридорном расположении труб.

26. Особенности теплоотдачи при течении в трубах жидких металлов.

27. Теплоотдача жидкости при сверхкритическом состоянии и ее особенности.

28. Теплоотдача при пленочной и капельной конденсации.
29. Особенности теплоотдачи при капельной конденсации неподвижного пара.
30. Влияние скорости движения пара на процесс теплоотдачи.
31. Теплоотдача при пузырьковом и пленочном режиме кипения жидкости.
32. Особенности теплоотдачи при пузырьковом режиме кипения неподвижной жидкости.
33. Теплоотдача при ламинарном движении паровой пленки вдоль вертикальной стенки и на горизонтальной трубе.
34. Теплоотдача при турбулентном движении паровой пленки.
35. Особенности вычисления первой и второй критических тепловых нагрузок при кипении жидкости.

Шестой семестр (Экзамен, ОПК-2, ОПК-3)

1. Способы теплообмена. Основные понятия теплообмена.
2. Температурное поле, градиент температуры, тепловой поток, плотность теплового потока.
3. Теплопроводность. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности газов, жидкостей, твердых тел.
4. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности.
5. Теплопроводность в плоской стенке. Термическое сопротивление теплопроводности.
6. Теплопроводность в плоской многослойной стенке. Термическое сопротивление теплопроводности.
7. Теплопроводность однослойной цилиндрической стенки.
8. Теплопроводность многослойной цилиндрической стенки. Упрощение расчетных формул.
9. Перенос тепла в плоской стенке переменном коэффициенте теплопроводности.
10. Перенос тепла в цилиндрических стенках при переменном коэффициенте теплопроводности.
11. Теплопроводность шаровой стенки и тел неправильной формы.
12. Теплопроводность плоской стенки с внутренним источником теплоты.
13. Теплопроводность круглого стержня с внутренним источником теплоты.
14. Теплопроводность цилиндрической стенки с внутренним источником теплоты.
15. Нестационарное температурное поле неограниченной пластины. Числа Фурье, Био.
16. Нестационарное температурное поле бесконечного цилиндра. Числа Фурье, Био.
17. Сущность конвективной теплоотдачи. Свободная и вынужденная конвекция.
18. Закон Ньютона - Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Факторы, влияющие на его значение.
19. Гидродинамическая структура потока. Режимы течения. Тепловой и гидродинамический пограничные слои.
20. Уравнения теплоотдачи, энергии. Краевые условия.
21. Уравнения движения. Краевые условия.
22. Уравнение неразрывности. Краевые условия.
23. Основы теории подобия. Подобие процессов конвективного теплообмена. Критерии подобия. Критериальные уравнения.
24. Теплоотдача при обтекании плоской поверхности. Критериальные уравнения вынужденной конвекции.
25. Теплоотдача при течении жидкости в трубах. Критериальные уравнения вынужденной конвекции.
26. Теплоотдача при свободной конвекции. Теплоотдача в неограниченном пространстве.
27. Теплоотдача при свободной конвекции. Теплоотдача в ограниченном пространстве.
28. Теплоотдача при поперечном обтекании одиночной трубы.
29. Теплоотдача при поперечном обтекании пучка труб.
30. Теплообмен излучением. Виды лучистых потоков. Эффективное излучение. Результирующее излучение.
31. Законы теплового излучения. Серое тело и степень черноты.

32. Лучистый теплообмен между телами.
33. Тепловое излучение газов.
34. Теплопередача через плоскую однослойную стенку.
35. Теплопередача через плоскую многослойную стенку.
36. Теплопередача через однородную цилиндрическую стенку.
37. Теплопередача через многослойную цилиндрическую стенку.
38. Тепловая изоляция. Критическая толщина изоляции.
39. Теплопередача через ребристые поверхности. Коэффициент эффективности ребра. Коэффициент теплопередачи.
40. Теплообмен при конденсации пара на вертикальной поверхности, на поверхности горизонтальной трубы.
41. Особенности конденсации движущегося пара. Конденсация пара на горизонтальных трубных пучках.
42. Теплообмен при кипении жидкости. Режимы кипения. Механизм кипения.
43. Влияние теплофизических свойств поверхности и среды на интенсивность теплоотдачи при пузырьковом кипении.
44. Особенности теплообмена кипящей жидкости в трубках.
45. Теплообменные аппараты. Классификация теплообменных аппаратов.
46. Основы теплового расчета теплообменных аппаратов.
47. Конструктивный и поверочный расчет теплообменных аппаратов.
48. Гидравлический расчет теплообменных аппаратов.
49. Массообмен. Основные понятия и определения.
50. Молекулярная диффузия, градиент концентрации, законы Фика.

8.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Контроль знаний студентов по дисциплине проводится в устной и письменной форме, предусматривает текущий и промежуточный контроль. Методы контроля: - тестовая форма

контроля; - устная форма контроля – опрос и общение с аудиторией по поставленной задаче в устной форме; - решение определенных заданий (задач) по теме практического материала в конце практического занятия, в целях эффективности усвояемости материала на практике. - поощрение индивидуальных заданий, в которых студент проработал самостоятельно большое количество дополнительных источников литературы. Текущий контроль предусматривает устную форму опроса студентов и письменный экспресс-опрос по окончании изучения каждой темы.

9. Перечень учебной литературы

1. Ануфриенко, О. С. Техническая термодинамика и тепломассообмен : [Электронный ресурс] : учебное пособие / О. С. Ануфриенко ; ФГБОУ ВПО Оренбургский гос. ун-т. - Орск : Изд-во Орского гуманитарно-технологического института, 2011. - on-line : рис., табл. - Систем. требования: Наличие подключения к локальной сети академии и к Интернет ; Adobe Acrobat Reader. - URL: <https://lib.rucont.ru/efd/233740/info>
2. Кудинов, А. А. Тепломассообмен : учебное пособие для студентов направления подготовки 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» высших учебных заведений / А. А. Кудинов. - Москва : ИНФРА-М, 2020. - 375 с. - (Высшее образование - Бакалавриат). - URL: <https://znanium.com/catalog/document?id=356046>

3. Стоянов, Н. И. Теоретические основы теплотехники (техническая термодинамика и тепломассообмен) : [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 270800.62 - Строительство / Н. И. Стоянов, С. С. Смирнов, А. В. Смирнова ; ФГАОУ ВПО Северо-кавказский федеральный ун-т. - Ставрополь : [б. и.], 2014. - on-line. - Систем. требования: Наличие подключения к локальной сети академии и к Интернет. - URL: <https://lib.rucont.ru/efd/304188/info>

4. Орлов, М. Е.

Теоретические основы теплотехники. Тепломассообмен : [Электронный ресурс] : учебное пособие / М. Е. Орлов ; Ульяновский гос. техн. ун-т. - Ульяновск : [б. и.], 2013. - on-line. - Систем. требования: Наличие подключения к локальной сети академии и к Интернет ; Adobe Acrobat Reader. - URL: <http://ebs.rgazu.ru/?q=node/2592>

10. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет

1. izhgsha.ru - Официальный сайт ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА с электронным каталогом научной библиотеки
2. <http://portal.izhgsha.ru> - Интернет-портал ФГБОУ ВО «Ижевская ГСХА»
3. <http://ebs.rgazu.ru> - ЭБС AgriLib
4. http://elibrary.ru/title_about.asp?id=28060 - Академия энергетики
Издательский Дом "Президент-Нева"
5. http://elibrary.ru/title_about.asp?id=50617 - «Альтернативная энергетика»
6. <http://minenergo.gov.ru/> - Сайт Министерство энергетики Российской Федерации

11. Методические указания обучающимся по освоению дисциплины (модуля)

Перед изучением дисциплины студенту необходимо ознакомиться с рабочей программой дисциплины, изучить перечень рекомендуемой литературы, приведенной в рабочей программе дисциплины. Для эффективного освоения дисциплины рекомендуется посещать все виды занятий в соответствии с расписанием и выполнять все домашние задания в установленные преподавателем сроки. В случае пропуска занятий по уважительным причинам, необходимо получить у преподавателя индивидуальное задание по пропущенной теме. Полученные знания и умения в процессе освоения дисциплины студенту рекомендуется применять для решения задач, не обязательно связанных с программой дисциплины. Владение компетенциями дисциплины в полной мере будет подтверждаться Вашим умением ставить конкретные задачи,

выявлять существующие проблемы, решать их и принимать на основе полученных результатов оптимальные решения. Основными видами учебных занятий для студентов по учебной дисциплине являются: занятия лекционного типа, занятия семинарского типа и самостоятельная работа студентов.

Формы работы	Методические указания для обучающихся
Лекционные занятия	Работа на лекции является очень важным видом деятельности для изучения дисциплины, т.к. на лекции происходит не только сообщение новых знаний, но и систематизация и обобщение накопленных знаний, формирование на их основе идейных взглядов, убеждений, мировоззрения, развитие познавательных и профессиональных интересов.

	<p>Краткие записи лекций (конспектирование) помогает усвоить материал. Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Конспект лучше подразделять на пункты, параграфы, соблюдая красную строку. Принципиальные места, определения, формулы следует сопровождать замечаниями: «важно», «особо важно», «хорошо запомнить» и т.п. Прослушивание и запись лекции можно производить при помощи современных устройств (диктофон, ноутбук, нетбук и т.п.).</p> <p>Работая над конспектом лекций, всегда следует использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор, в том числе нормативно-правовые акты соответствующей направленности. По результатам работы с конспектом лекции следует обозначить вопросы, термины, материал, который вызывают трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на занятии семинарского типа.</p> <p>Лекционный материал является базовым, с которого необходимо начать освоение соответствующего раздела или темы.</p>
<p>Лабораторные занятия</p>	<p>При подготовке к занятиям и выполнении заданий студентам следует использовать литературу из рекомендованного списка, а также руководствоваться указаниями и рекомендациями преподавателя.</p> <p>Перед каждым занятием студент изучает план занятия с перечнем тем и вопросов, списком литературы и домашним заданием по вынесенному на занятие материалу.</p> <p>Студенту рекомендуется следующая схема подготовки к занятию и выполнению домашних заданий:</p> <ul style="list-style-type: none"> - проработать конспект лекций; - проанализировать литературу, рекомендованную по изучаемому разделу (модулю); - изучить решения типовых задач (при наличии); - решить заданные домашние задания; - при затруднениях сформулировать вопросы к преподавателю. <p>В конце каждого занятия типа студенты получают «домашнее задание» для закрепления пройденного материала. Домашние задания необходимо выполнять к каждому занятию. Сложные вопросы можно вынести на обсуждение на занятии семинарского типа или на индивидуальные консультации.</p>
<p>Самостоятельная работа</p>	<p>Самостоятельная работа студентов является составной частью их учебной работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний, умений и навыков, поиск и приобретение новых знаний.</p> <p>Самостоятельная работа студентов включает в себя освоение теоретического материала на основе лекций, рекомендуемой литературы; подготовку к занятиям семинарского типа в индивидуальном и групповом режиме. Советы по самостоятельной работе с точки зрения использования литературы, времени, глубины проработки темы и др., а также контроль за деятельностью студента осуществляется во время занятий.</p>

	<p>Целью преподавателя является стимулирование самостоятельного, углублённого изучения материала курса, хорошо структурированное, последовательное изложение теории на занятиях лекционного типа, отработка навыков решения задач и системного анализа ситуаций на занятиях семинарского типа, контроль знаний студентов.</p> <p>Если самостоятельно не удалось разобраться в материале, сформулируйте вопросы и обратитесь на текущей консультации или на ближайшей лекции за помощью к преподавателю.</p> <p>Помимо самостоятельного изучения материалов по темам к самостоятельной работе обучающихся относится подготовка к практическим занятиям, по результатам которой представляется отчет преподавателю и проходит собеседование.</p> <p>При самостоятельной подготовке к практическому занятию обучающийся:</p> <ul style="list-style-type: none"> - организует свою деятельность в соответствии с методическим руководством по выполнению практических работ; - изучает информационные материалы; - подготавливает и оформляет материалы практических работ в соответствии с требованиями. <p>В результате выполнения видов самостоятельной работы происходит формирование компетенций, указанных в рабочей программы дисциплины (модуля).</p>
<p>Практические занятия</p>	<p>Формы организации практических занятий определяются в соответствии со специфическими особенностями учебной дисциплины и целями обучения. Ими могут быть: выполнение упражнений, решение типовых задач, решение ситуационных задач, занятия по моделированию реальных условий, деловые игры, игровое проектирование, имитационные занятия, выездные занятия в организации (предприятия), занятия-конкурсы и т.д. При устном выступлении по контрольным вопросам семинарского занятия студент должен излагать (не читать) материал выступления свободно.</p> <p>Необходимо концентрировать свое внимание на том, что выступление должно быть обращено к аудитории, а не к преподавателю, т.к. это значимый аспект формируемых компетенций.</p> <p>По окончании семинарского занятия обучающемуся следует повторить выводы, полученные на семинаре, проследив логику их построения, отметив положения, лежащие в их основе. Для этого обучающемуся в течение семинара следует делать пометки. Более того, в случае неточностей и (или) непонимания какого-либо вопроса пройденного материала обучающемуся следует обратиться к преподавателю для получения необходимой консультации и разъяснения возникшей ситуации.</p> <p>При подготовке к занятиям студентам следует использовать литературу из рекомендованного списка, а также руководствоваться указаниями и рекомендациями преподавателя.</p> <p>Перед каждым занятием студент изучает план занятия с перечнем тем и вопросов, списком литературы и домашним заданием по вынесенному на занятие материалу.</p> <p>Студенту рекомендуется следующая схема подготовки к занятию и выполнению домашних заданий:</p> <ul style="list-style-type: none"> - проработать конспект лекций;

- проанализировать литературу, рекомендованную по изучаемому разделу (модулю);
- изучить решения типовых задач (при наличии);
- решить заданные домашние задания;
- при затруднениях сформулировать вопросы к преподавателю.

В конце каждого занятия студенты получают «домашнее задание» для закрепления пройденного материала. Домашние задания необходимо выполнять к каждому занятию. Сложные вопросы можно вынести на обсуждение на занятии или на индивидуальные консультации.

Описание возможностей изучения дисциплины лицами с ОВЗ и инвалидами

Обучающимся с ограниченными возможностями здоровья предоставляются специальные учебники, учебные пособия и дидактические материалы, специальные технические средства обучения коллективного и индивидуального пользования, услуги ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь, а также услуги сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Освоение дисциплины (модуля) обучающимся с ограниченными возможностями здоровья может быть организовано совместно с другими обучающимися, а так же в отдельных группах.

Освоение дисциплины (модуля) обучающимся с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья.

В целях доступности получения высшего образования по образовательной программе лицами с ограниченными возможностями здоровья при освоении дисциплины (модуля) обеспечивается:

1) для лиц с ограниченными возможностями здоровья по зрению:

- присутствие ассистента, оказывающий студенту необходимую техническую помощь с учетом индивидуальных особенностей (помогает занять рабочее место, передвигаться, прочитать и оформить задание, в том числе, записывая под диктовку),
- письменные задания, а также инструкции о порядке их выполнения оформляются увеличенным шрифтом,
- специальные учебники, учебные пособия и дидактические материалы (имеющие крупный шрифт или аудиофайлы),
- индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс,
- при необходимости студенту для выполнения задания предоставляется увеличивающее устройство;

2) для лиц с ограниченными возможностями здоровья по слуху:

- присутствие ассистента, оказывающий студенту необходимую техническую помощь с учетом индивидуальных особенностей (помогает занять рабочее место, передвигаться, прочитать и оформить задание, в том числе, записывая под диктовку),
- обеспечивается наличие звукоусиливающей аппаратуры коллективного пользования, при необходимости обучающемуся предоставляется звукоусиливающая аппаратура индивидуального пользования;
- обеспечивается надлежащими звуковыми средствами воспроизведения информации;

3) для лиц с ограниченными возможностями здоровья, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата (в том числе с тяжелыми нарушениями двигательных функций верхних конечностей или отсутствием верхних конечностей):

- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением или надиктовываются ассистенту;
- по желанию обучающегося задания могут выполняться в устной форме.

12. Перечень информационных технологий

Информационные технологии реализации дисциплины включают

12.1 Программное обеспечение

1. Операционная система: Microsoft Windows 10 Professional. Подписка на 3 года. Договор № 9-БД/19 от 07.02.2019. Последняя доступная версия программы. Astra Linux Common Edition. Договор №173-ГК/19 от 12.11.2019 г.
2. Базовый пакет программ Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint). Microsoft Office Standard 2016. Бессрочная лицензия. Договор №79-ГК/16 от 11.05.2016. Microsoft Office Standard 2013. Бессрочная лицензия. Договор №0313100010014000038-0010456-01 от 11.08.2014. Microsoft Office Standard 2013. Бессрочная лицензия. Договор №26 от 19.12.2013. Microsoft Office Professional Plus 2010. Бессрочная лицензия. Договор №106-ГК от 21.11.2011. Р7-Офис. Договор №173-ГК/19 от 12.11.2019 г.

12.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Информационно-справочная система (справочно-правовая система) «Консультант плюс». Соглашение № ИКП2016/ЛСВ 003 от 11.01.2016 для использования в учебных целях бессрочное. Обновляется регулярно. Лицензия на все компьютеры, используемые в учебном процессе.
2. Профессиональные базы данных на платформе 1С: Предприятие с доступными конфигурациями (1С: ERP Агропромышленный комплекс 2, 1С: ERP Энергетика, 1С: Бухгалтерия молокозавода, 1С: Бухгалтерия птицефабрики, 1С: Бухгалтерия элеватора и комбикормового завода, 1С: Общепит, 1С: Ресторан. Фронт-офис). Лицензионный договор № Н8775 от 17.11.2020 г.

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Оснащение аудиторий

1. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Аудитория, укомплектованная специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории
2. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (практических занятий). Аудитория, укомплектованная специализированной мебелью, компьютерами с необходимым программным обеспечением, выходом в «Интернет» и корпоративную сеть университета
3. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (лабораторных занятий). Аудитория, укомплектованная специализированной мебелью, компьютерами с необходимым программным обеспечением, выходом в «Интернет» и корпоративную сеть университета, Лабораторные стенды
4. Помещение для самостоятельной работы. Помещение оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.
5. Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования.