

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФЭСУ



/А.В. Бурковский/

22.03 2024г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Тепломассообмен»

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Промышленная теплоэнергетика

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 4 года и 6 м. / 4 года и 11 м.

Форма обучения очная / очно-заочная / заочная

Год начала подготовки 2024

Автор программы
Заведующий кафедрой
Теоретической и
промышленной
теплоэнергетики


_____ С.В. Дахин


_____ В.В. Портнов

Руководитель ОПОП


_____ С.В. Дахин

Воронеж 2024

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Ознакомление студентов с основными физическими моделями переноса теплоты и массы, полей температуры и концентрации компонентов смесей, базирующимися на этих моделях методами экспериментального изучения процессов теплообмена и определения переносных свойств.

1.2. Задачи освоения дисциплины

Ознакомление студентов со способами переноса теплоты (массы). Развитие способности обучаемых к физическому и математическому моделированию процессов переноса теплоты (массы), протекающих в реальных физических объектах, в частности - установках энергетики и промышленности.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

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

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

ОПК-3 - Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

ОПК-4 - Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

ОПК-5 - Способен учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок

ОПК-6 - Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-3	знать соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач
	уметь применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач
	владеть способностью применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального

	исследования при решении профессиональных задач
ОПК-4	знать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах
	уметь демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах
	владеть способностью демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах
ОПК-5	знать как учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок
	уметь учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок
	владеть способностью учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок
ОПК-6	знать как проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники
	уметь проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники
	владеть способностью проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Тепломассообмен» составляет 12 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		3	4
Аудиторные занятия (всего)	198	90	108
В том числе:			
Лекции	72	36	36
Практические занятия (ПЗ)	108	36	72
Лабораторные работы (ЛР)	18	18	-
Самостоятельная работа	189	54	135

Курсовой проект	+		+
Часы на контроль	45	-	45
Виды промежуточной аттестации - экзамен, зачет с оценкой	+	+	+
Общая трудоемкость:			
академические часы	432	144	288
зач.ед.	12	4	8

очно-заочная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		4	5
Аудиторные занятия (всего)	76	48	28
В том числе:			
Лекции	30	16	14
Практические занятия (ПЗ)	30	16	14
Лабораторные работы (ЛР)	16	16	-
Самостоятельная работа	311	96	215
Курсовой проект	+		+
Часы на контроль	45	-	45
Виды промежуточной аттестации - экзамен, зачет с оценкой	+	+	+
Общая трудоемкость:			
академические часы	432	144	288
зач.ед.	12	4	8

заочная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		4	5
Аудиторные занятия (всего)	36	8	28
В том числе:			
Лекции	14	4	10
Практические занятия (ПЗ)	14	4	10
Лабораторные работы (ЛР)	8	-	8
Самостоятельная работа	383	132	251
Курсовой проект	+		+
Часы на контроль	13	4	9
Виды промежуточной аттестации - экзамен, зачет с оценкой	+	+	+
Общая трудоемкость:			
академические часы	432	144	288
зач.ед.	12	4	8

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Введение	Общие понятия. Основные процессы передачи теплоты. Теплоотдача. Теплопередача. Макроскопический характер учения о теплообмене. Современные проблемы теплоотдачи. Вклад отечественных ученых в развитие изучаемой дисциплины. Механизм процесса теплопроводности в газах, жидкостях, металлах, твердых диэлектриках. Температурное поле. Тепловой поток, плотность теплового потока. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности для процессов теплопроводности. Закон Ньютона-Рихмана.	2	4	-	4	10
2	Передача теплоты через стенку	Передача теплоты через однослойную и многослойную плоские стенки при граничных условиях 1 и 3 рода. Распределение температуры при постоянном и переменном коэффициентах теплопроводности. Коэффициент теплопередачи. Передача теплоты через однослойную и многослойную цилиндрические стенки при граничных условиях 1 и 3 рода. Линейный коэффициент теплопередачи. Критический диаметр изоляции. Передача теплоты через шаровую стенку	6	8	4	6	26
3	Передача теплоты в ребре	Теплопроводность в стержне (ребре) постоянного поперечного сечения. Теплопередача через плоскую ребристую стенку. Способы интенсификации процессов теплопередачи. Связь вопросов интенсификации теплопередачи с современными проблемами экономии материальных и энергетических ресурсов и повышением экономичности производства	2	8	6	6	22
4	Теплопроводность при наличии внутренних источников теплоты	Теплопроводность в неограниченной плоской стенке и круглом стержне в случае постоянного и переменного коэффициентов теплопроводности при наличии внутренних источников теплоты: - отводе теплоты через внутреннюю поверхность; - отводе теплоты через наружную поверхность; - отводе теплоты через внутреннюю и наружную поверхности.	2	2	-	6	10
5	Теплопроводность при нестационарном режиме	Методы решения задач теплопроводности при нестационарном режиме. Теплопроводность тонкой пластины, длинного цилиндра при граничных условиях третьего рода. Анализ решений. Частные случаи.	6	8	-	4	18
6	Теплопроводность в телах простейших форм	Нагревание (охлаждение) параллелепипеда и цилиндра конечной длины. Определение количества теплоты, отдаваемой или воспринимаемой телом в процессе нестационарной теплопроводности.	2	4	-	4	10

		Регулярный тепловой режим нагревания (охлаждения) тел. Численный метод решения задач нестационарной теплопроводности. Использование ЭВМ.					
7	Теплоотдача	Теплоотдача в однофазных жидкостях и при фазовых и химических превращениях, при вынужденной и естественной конвекции. Физические свойства жидкости, существенные для процессов течения и теплоотдачи.	2	-	-	2	4
8	Конвективный теплообмен при различных режимах течения	Особенности теплообмена при ламинарном и турбулентном течениях жидкости. Динамический и тепловой пограничные слои. Основные допущения теории плоского пограничного слоя. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена, условия однозначности.	4	-	-	4	8
9	Теория подобия	Пи-теорема. Приведение уравнений конвективного теплообмена к безразмерному виду. Критерии подобия. Общие условия подобия физических процессов. Свойства подобных процессов. Сущность моделирования. Осреднение коэффициентов теплоотдачи. Осреднение температуры жидкости по сечению и длине канала. Выбор определяющих размеров и температур. Обобщение опытных данных. Получение эмпирических уравнений.	6	4	-	10	20
10	Теплообмен при вынужденном движении жидкости на плоской поверхности	Характер вынужденного неизотермического течения и теплообмена на плоской поверхности. Теплоотдача при ламинарном течении в пограничном слое; метод теоретического расчета; расчетные уравнения, полученные опытным путем. Теплоотдача при турбулентном течении в пограничном слое. Осреднение уравнения неразрывности, движения и энергии для турбулентных потоков; коэффициенты турбулентного переноса количества движения и теплоты; метод полуэмпирического расчета; расчетные уравнения, полученные опытным путем.	4	4	-	8	16
11	Теплообмен при вынужденном движении жидкости в трубах	Особенности течения и теплообмена в трубах. Участки гидродинамической и тепловой стабилизации. Стабилизированное течение. Теплоотдача при ламинарном и турбулентном режимах течения жидкости в трубах. Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании труб и пучков труб; расчетные уравнения. Современные методы расчета теплообмена с использованием ЭВМ. Расчетные уравнения, полученные опытным путем.	6	10	4	13	33
12	Теплообмен при свободном движении жидкости	Теплоотдача при свободном движении жидкости вдоль вертикальной стенки, вблизи горизонтальных труб и пластин. Анализ задачи о конвективном теплообмене при свободном движении жидкости методом подобия. Расчетные уравнения для теплоотдачи	4	6	4	17	31

13	Отдельные задачи конвективного теплообмена в однофазной среде	Жидкометаллические теплоносители. Теплоотдача при околокритическом состоянии вещества. Теплоотдача в разреженных газах. Теплообмен при наличии в жидкости внутренних источников теплоты.	2	4	-	15	21
14	Теплообмен при конденсации	Пленочная и капельная конденсация. Конденсация пара на вертикальных стенках. Теплоотдача при ламинарном течении пленки конденсата. Метод теоретического расчета. Влияние различных факторов на теплоотдачу. Теплоотдача при смешанном режиме стекания пленки конденсата; метод расчета; расчетные уравнения для теплоотдачи. Конденсация пара на горизонтальных трубах и пучках труб. Характер обтекания конденсатом пучков труб, изменение теплоотдачи по рядам труб, влияние скорости пара и других факторов. Расчет теплоотдачи при конденсации пара на горизонтальных пучках труб.	6	8	-	16	30
15	Теплообмен при кипении	Механизм переноса теплоты при кипении. Влияние смачиваемости стенки жидкостью, краевой угол. Рост, отрыв и движение пузырей пара. Минимальный радиус центра парообразования; число действующих центров парообразования. Режимы кипения жидкости в большом объеме. Первая и вторая критические плотности теплового потока. Расчет критических тепловых нагрузок. Зависимость коэффициента теплоотдачи от давления, физических свойств жидкости, состояния поверхности и других факторов при кипении в большом объеме. Расчет теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкости в большом объеме. Теплообмен при кипении жидкости в трубах; зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости циркуляции, плотности теплового потока и других факторов. Расчет теплоотдачи в трубах	6	8	-	17	31
16	Теплообмен излучением	Основные понятия и законы. Природа теплового излучения. Лучистый поток. Плотность лучистого потока. Интенсивность излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способность тел. Законы излучения абсолютно черного тела: закон Планка; закон Вина. Серое тело. Закон Стефана-Больцмана. Степень черноты. Закон Кирхгофа для монохроматического и интегрального излучения. Закон Ламберта. Виды лучистых потоков. Их взаимная связь. Интегральные уравнения излучения. Угловые коэффициенты и взаимные поверхности. Зональный метод расчета теплообмена излучением в системе двух тел. Особенности теплообмена в замкнутой системе.	6	6	-	17	29
17	Процессы тепло- и массообмена	Основные положения теории массообмена. Термо- и бародиффузия. Закон Фика. Коэффициент диффузии, факторы, влияющие на коэффициент диффузии. Конвективный массообмен	4	4	-	17	23

		как совокупность молярного и молекулярного переноса вещества. Плотность потока массы в процессе конвективного массообмена. Диффузионный пограничный слой. Система дифференциальных уравнений диффузионного пограничного слоя. Граничные условия на поверхности раздела фаз. Коэффициент массоотдачи. Применение методов подобия и размерностей к процессам массообмена. Диффузионный критерий Прандтля. Аналогия процессов тепло- и массообмена.					
18	Основы теплового и гидравлического расчёта теплообменных аппаратов	Общие сведения. Назначение теплообменников. Их классификация по принципу действия. Основы теплового и гидравлического расчета теплообменников. Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи. Средний температурный напор. Определение температурного напора для основных схем движения теплоносителей. Сравнение прямого и противотока. Выражение для полного падения давления в теплообменнике. Сопротивление трения и местные сопротивления. Мощность, необходимая для перемещения теплоносителей.	2	20	-	23	45
Итого			72	108	18	189	387

очно-заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Теплопроводность	Общие понятия. Основные процессы передачи теплоты. Теплоотдача. Теплопередача. Макроскопический характер учения о теплообмене. Современные проблемы теплоотдачи. Вклад отечественных ученых в развитие изучаемой дисциплины. Механизм процесса теплопроводности в газах, жидкостях, металлах, твердых диэлектриках. Температурное поле. Тепловой поток, плотность теплового потока. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности для процессов теплопроводности. Закон Ньютона-Рихмана. Передача теплоты через однослойную и многослойную плоские стенки при граничных условиях 1 и 3 рода. Распределение температуры при постоянном и переменном коэффициентах теплопроводности. Коэффициент теплопередачи. Передача теплоты через однослойную и многослойную цилиндрические стенки при граничных условиях 1 и 3 рода. Линейный коэффициент теплопередачи. Критический диаметр изоляции. Передача теплоты через шаровую стенку. Теплопроводность в стержне (ребре) постоянного поперечного сечения. Теплопередача через плоскую ребристую стенку. Способы интенсификации процессов теплопередачи. Связь вопросов	10	10	4	62	86

		<p>интенсификации теплопередачи с современными проблемами экономии материальных и энергетических ресурсов и повышением экономичности производства. Теплопроводность в неограниченной плоской стенке и круглом стержне в случае постоянного и переменного коэффициентов теплопроводности при наличии внутренних источников теплоты и: отводе теплоты через внутреннюю поверхность; отводе теплоты через наружную поверхность; отводе теплоты через внутреннюю и наружную поверхности. Методы решения задач теплопроводности при нестационарном режиме. Теплопроводность тонкой пластины, длинного цилиндра при граничных условиях третьего рода. Анализ решений. Частные случаи. Нагревание (охлаждение) параллелепипеда и цилиндра конечной длины. Определение количества теплоты, отдаваемой или воспринимаемой телом в процессе нестационарной теплопроводности. Регулярный тепловой режим нагревания (охлаждения) тел. Численный метод решения задач нестационарной теплопроводности. Использование ЭВМ.</p>					
2	Конвективный теплообмен	<p>Теплоотдача в однофазных жидкостях и при фазовых и химических превращениях, при вынужденной и естественной конвекции. Физические свойства жидкости, существенные для процессов течения и теплоотдачи. Особенности теплообмена при ламинарном и турбулентном течениях жидкости. Динамический и тепловой пограничные слои. Основные допущения теории плоского пограничного слоя. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена, условия однозначности. Пи-теорема. Приведение уравнений конвективного теплообмена к безразмерному виду. Критерии подобия. Общие условия подобия физических процессов. Свойства подобных процессов. Сущность моделирования. Осреднение коэффициентов теплоотдачи. Осреднение температуры жидкости по сечению и длине канала. Выбор определяющих размеров и температур. Обобщение опытных данных. Получение эмпирических уравнений. Характер вынужденного неизотермического течения и теплообмена на плоской поверхности. Теплоотдача при ламинарном течении в пограничном слое; метод теоретического расчета; расчетные уравнения, полученные опытным путем. Теплоотдача при турбулентном течении в пограничном слое. Осреднение уравнения неразрывности, движения и энергии для турбулентных потоков; коэффициенты турбулентного переноса</p>	10	10	4	63	87

		<p>количества движения и теплоты; метод полуэмпирического расчета; расчетные уравнения, полученные опытным путем. Особенности течения и теплообмена в трубах. Участки гидродинамической и тепловой стабилизации. Стабилизированное течение. Теплоотдача при ламинарном и турбулентном режимах течения жидкости в трубах. Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании труб и пучков труб; расчетные уравнения. Современные методы расчета теплообмена с использованием ЭВМ. Расчетные уравнения, полученные опытным путем. Теплоотдача при свободном движении жидкости вдоль вертикальной стенки, вблизи горизонтальных труб и пластин. Анализ задачи о конвективном теплообмене при свободном движении жидкости методом подобия. Расчетные уравнения для теплоотдачи. Жидкометаллические теплоносители. Теплоотдача при околоскритическом состоянии вещества. Теплоотдача в разреженных газах. Теплообмен при наличии в жидкости внутренних источников теплоты. Пленочная и капельная конденсация. Конденсация пара на вертикальных стенках. Теплоотдача при ламинарном течении пленки конденсата. Метод теоретического расчета. Влияние различных факторов на теплоотдачу. Теплоотдача при смешанном режиме стекания пленки конденсата; метод расчета; расчетные уравнения для теплоотдачи. Конденсация пара на горизонтальных трубах и пучках труб. Характер обтекания конденсатом пучков труб, изменение теплоотдачи по рядам труб, влияние скорости пара и других факторов. Расчет теплоотдачи при конденсации пара на горизонтальных пучках труб. Механизм переноса теплоты при кипении. Влияние смачиваемости стенки жидкостью, краевой угол. Рост, отрыв и движение пузырей пара. Минимальный радиус центра парообразования; число действующих центров парообразования. Режимы кипения жидкости в большом объеме. Первая и вторая критические плотности теплового потока. Расчет критических тепловых нагрузок. Зависимость коэффициента теплоотдачи от давления, физических свойств жидкости, состояния поверхности и других факторов при кипении в большом объеме. Расчет теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкости в большом объеме. Теплообмен при кипении жидкости в трубах; зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости циркуляции, плотности теплового потока и других факторов. Расчет теплоотдачи в трубах.</p>					
3	Теплообмен излучением	<p>Основные понятия и законы. Природа теплового излучения. Лучистый поток.</p>	6	2	4	62	74

		Плотность лучистого потока. Интенсивность излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способность тел. Законы излучения абсолютно черного тела: закон Планка; закон Вина. Серое тело. Закон Стефана-Больцмана. Степень черноты. Закон Кирхгофа для монохроматического и интегрального излучения. Закон Ламберта. Виды лучистых потоков. Их взаимная связь. Интегральные уравнения излучения. Угловые коэффициенты и взаимные поверхности. Зональный метод расчета теплообмена излучением в системе двух тел. Особенности теплообмена в замкнутой системе.					
4	Процессы тепло- и массообмена	Основные положения теории массообмена. Термо- и бародиффузия. Закон Фика. Коэффициент диффузии, факторы, влияющие на коэффициент диффузии. Конвективный массообмен как совокупность молярного и молекулярного переноса вещества. Плотность потока массы в процессе конвективного массообмена. Диффузионный пограничный слой. Система дифференциальных уравнений диффузионного пограничного слоя. Граничные условия на поверхности раздела фаз. Коэффициент массоотдачи. Применение методов подобия и размерностей к процессам массообмена. Диффузионный критерий Прандтля. Аналогия процессов тепло- и массообмена.	2	2	2	62	68
5	Основы теплового и гидравлического расчёта теплообменных аппаратов	Общие сведения. Назначение теплообменников. Их классификация по принципу действия. Основы теплового и гидравлического расчета теплообменников. Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи. Средний температурный напор. Определение температурного напора для основных схем движения теплоносителей. Сравнение прямотока и противотока. Выражение для полного падения давления в теплообменнике. Сопротивление трения и местные сопротивления. Мощность, необходимая для перемещения теплоносителей.	2	6	2	62	72
Итого			30	30	16	311	387

заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Теплопроводность	Общие понятия. Основные процессы передачи теплоты. Теплоотдача. Теплопередача. Макроскопический характер учения о теплообмене. Современные проблемы теплоотдачи. Вклад отечественных ученых в развитие изучаемой дисциплины. Механизм процесса теплопроводности в газах, жидкостях, металлах, твердых диэлектриках. Температурное поле. Тепловой поток, плотность теплового потока. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение	2	2	4	76	84

		<p>теплопроводности. Условия однозначности для процессов теплопроводности. Закон Ньютона-Рихмана. Передача теплоты через однослойную и многослойную плоские стенки при граничных условиях 1 и 3 рода. Распределение температуры при постоянном и переменном коэффициентах теплопроводности. Коэффициент теплопередачи. Передача теплоты через однослойную и многослойную цилиндрические стенки при граничных условиях 1 и 3 рода. Линейный коэффициент теплопередачи. Критический диаметр изоляции. Передача теплоты через шаровую стенку. Теплопроводность в стержне (ребре) постоянного поперечного сечения. Теплопередача через плоскую ребристую стенку. Способы интенсификации процессов теплопередачи. Связь вопросов интенсификации теплопередачи с современными проблемами экономии материальных и энергетических ресурсов и повышением экономичности производства. Теплопроводность в неограниченной плоской стенке и круглом стержне в случае постоянного и переменного коэффициентов теплопроводности при наличии внутренних источников теплоты и: отводе теплоты через внутреннюю поверхность; отводе теплоты через наружную поверхность; отводе теплоты через внутреннюю и наружную поверхности. Методы решения задач теплопроводности при нестационарном режиме. Теплопроводность тонкой пластины, длинного цилиндра при граничных условиях третьего рода. Анализ решений. Частные случаи. Нагревание (охлаждение) параллелепипеда и цилиндра конечной длины. Определение количества теплоты, отдаваемой или воспринимаемой телом в процессе нестационарной теплопроводности. Регулярный тепловой режим нагревания (охлаждения) тел. Численный метод решения задач нестационарной теплопроводности. Использование ЭВМ.</p>					
2	Конвективный теплообмен	<p>Теплоотдача в однофазных жидкостях и при фазовых и химических превращениях, при вынужденной и естественной конвекции. Физические свойства жидкости, существенные для процессов течения и теплоотдачи. Особенности теплообмена при ламинарном и турбулентном течениях жидкости. Динамический и тепловой пограничные слои. Основные допущения теории плоского пограничного слоя. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена, условия однозначности. Пи-теорема. Приведение уравнений конвективного теплообмена к безразмерному виду.</p>	6	6	4	81	97

		<p>Критерии подобия. Общие условия подобия физических процессов. Свойства подобных процессов. Сущность моделирования. Осреднение коэффициентов теплоотдачи. Осреднение температуры жидкости по сечению и длине канала. Выбор определяющих размеров и температур. Обобщение опытных данных. Получение эмпирических уравнений. Характер вынужденного неизотермического течения и теплообмена на плоской поверхности. Теплоотдача при ламинарном течении в пограничном слое; метод теоретического расчета; расчетные уравнения, полученные опытным путем. Теплоотдача при турбулентном течении в пограничном слое. Осреднение уравнения неразрывности, движения и энергии для турбулентных потоков; коэффициенты турбулентного переноса количества движения и теплоты; метод полуэмпирического расчета; расчетные уравнения, полученные опытным путем. Особенности течения и теплообмена в трубах. Участки гидродинамической и тепловой стабилизации. Стабилизированное течение. Теплоотдача при ламинарном и турбулентном режимах течения жидкости в трубах. Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании труб и пучков труб; расчетные уравнения. Современные методы расчета теплообмена с использованием ЭВМ. Расчетные уравнения, полученные опытным путем. Теплоотдача при свободном движении жидкости вдоль вертикальной стенки, вблизи горизонтальных труб и пластин. Анализ задачи о конвективном теплообмене при свободном движении жидкости методом подобия. Расчетные уравнения для теплоотдачи. Жидкометаллические теплоносители. Теплоотдача при околоскритическом состоянии вещества. Теплоотдача в разреженных газах. Теплообмен при наличии в жидкости внутренних источников теплоты. Пленочная и капельная конденсация. Конденсация пара на вертикальных стенках. Теплоотдача при ламинарном течении пленки конденсата. Метод теоретического расчета. Влияние различных факторов на теплоотдачу. Теплоотдача при смешанном режиме стекания пленки конденсата; метод расчета; расчетные уравнения для теплоотдачи. Конденсация пара на горизонтальных трубах и пучках труб. Характер обтекания конденсатом пучков труб, изменение теплоотдачи по рядам труб, влияние скорости пара и других факторов. Расчет теплоотдачи при конденсации пара на горизонтальных пучках труб. Механизм переноса теплоты при кипении. Влияние смачиваемости стенки жидкостью,</p>					
--	--	---	--	--	--	--	--

		краевой угол. Рост, отрыв и движение пузырей пара. Минимальный радиус центра парообразования; число действующих центров парообразования. Режимы кипения жидкости в большом объеме. Первая и вторая критические плотности теплового потока. Расчет критических тепловых нагрузок. Зависимость коэффициента теплоотдачи от давления, физических свойств жидкости, состояния поверхности и других факторов при кипении в большом объеме. Расчет теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкости в большом объеме. Теплообмен при кипении жидкости в трубах; зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости циркуляции, плотности теплового потока и других факторов. Расчет теплоотдачи в трубах.					
3	Теплообмен излучением	Основные понятия и законы. Природа теплового излучения. Лучистый поток. Плотность лучистого потока. Интенсивность излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способность тел. Законы излучения абсолютно черного тела: закон Планка; закон Вина. Серое тело. Закон Стефана-Больцмана. Степень черноты. Закон Кирхгофа для монохроматического и интегрального излучения. Закон Ламберта. Виды лучистых потоков. Их взаимная связь. Интегральные уравнения излучения. Угловые коэффициенты и взаимные поверхности. Зональный метод расчета теплообмена излучением в системе двух тел. Особенности теплообмена в замкнутой системе.	2	2	-	76	80
4	Процессы тепло- и массообмена	Основные положения теории массообмена. Термо- и бародиффузия. Закон Фика. Коэффициент диффузии, факторы, влияющие на коэффициент диффузии. Конвективный массообмен как совокупность молярного и молекулярного переноса вещества. Плотность потока массы в процессе конвективного массообмена. Диффузионный пограничный слой. Система дифференциальных уравнений диффузионного пограничного слоя. Граничные условия на поверхности раздела фаз. Коэффициент массоотдачи. Применение методов подобия и размерностей к процессам массообмена. Диффузионный критерий Прандтля. Аналогия процессов тепло- и массообмена.	2	2	-	76	80
5	Основы теплового и гидравлического расчёта теплообменных аппаратов	Общие сведения. Назначение теплообменников. Их классификация по принципу действия. Основы теплового и гидравлического расчета теплообменников. Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи. Средний температурный напор. Определение температурного напора для основных схем движения теплоносителей. Сравнение прямотока и противотока. Выражение для полного падения давления в теплообменнике.	2	2	-	74	78

		Сопrotивление трения и местные сопротивления. Мощность, необходимая для перемещения теплоносителей.					
Итого			14	14	8	383	419

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Определение коэффициента теплопроводности металлов методом стержня.
2. Определение коэффициента теплопроводности изоляционных материалов методом цилиндрического слоя.
3. Исследование теплоотдачи от горизонтального цилиндра при свободной конвекции.
4. Исследование теплоотдачи при течении жидкости в трубе.

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсового проекта в 4 семестре для очной формы обучения, в 5 семестре для очно-заочной формы обучения, в 5 семестре для заочной формы обучения.

Примерная тематика курсового проекта: «Расчёт ТОА»

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

- произвести тепловой расчёт теплообменного аппарата;
- рассчитать изменение температуры теплоносителей по длине ТОА;
- произвести гидродинамический расчёт теплообменного аппарата.

Курсовой проект включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

7.1.1 Этап текущего контроля

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

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-3	знать соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	профессиональных задач			
	уметь применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть способностью применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	Активная работа на лабораторных занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-4	знать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть способностью демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-5	знать как учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть способностью учитывать свойства	Активная работа на практических занятиях,	Выполнение работ в срок,	Невыполнение работ в срок,

	конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок	отвечает на теоретические вопросы при защите курсового проекта	предусмотренный в рабочих программах	предусмотренный в рабочих программах
ОПК-6	знать как проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники	Активная работа на лабораторных занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники	Активная работа на лабораторных занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть способностью проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники	Активная работа на лабораторных занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 3, 4 семестре для очной формы обучения, 4, 5 семестре для очно-заочной формы обучения, 4, 5 семестре для заочной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ОПК-3	знать соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	Экзамен, теоретическая часть	Правильный ответ на два вопроса	Правильный ответ на один вопрос	Правильный ответ только на один вопрос	На все вопросы не даны верные ответы
		Зачет с оценкой, теоретическая часть	Правильный ответ на один вопрос и дополнительный вопрос	Правильный ответ на один вопрос	Правильный ответ только на дополнительный вопрос	На все вопросы не даны верные ответы
	уметь применять соответствующий физико-математический аппарат, методы	Экзамен, решение практической задачи	Задача решена в полном объеме и получены верные ответы	Задача решена в полном объеме и	Задача решена в полном объеме и получены верные ответы	Задача решена или не решена

	анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач			получены верные ответы		
ОПК-4		Зачет с оценкой, решение практической задачи	Задача решена в полном объеме и получены верные ответы	Задача решена в полном объеме и получены верные ответы	Задача решена в полном объеме и получены верные ответы	Задача решена или не решена
	владеть способностью применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	Выполнение лабораторных работ	Все работы выполнены, получены верные значения, на все контрольные вопросы даны правильные ответы	Все работы выполнены, не во всех работах получены верные значения, на все контрольные вопросы даны правильные ответы	Все работы выполнены, не во всех работах получены верные значения, на все контрольные вопросы даны правильные ответы	Не все работы выполнены, не во всех работах получены верные значения, не на все контрольные вопросы даны правильные ответы
	знать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	Экзамен, теоретическая часть	Правильный ответ на два вопроса	Правильный ответ на один вопрос	Правильный ответ только на один вопрос	На все вопросы не даны верные ответы
ОПК-5		Зачет с оценкой, теоретическая часть	Правильный ответ на один вопрос и дополнительный вопрос	Правильный ответ на один вопрос	Правильный ответ только на дополнительный вопрос	На все вопросы не даны верные ответы
	уметь демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	Экзамен, решение стандартной практической задачи	Задача решена в полном объеме и получены верные ответы	Задача решена в полном объеме и получены верные ответы	Задача решена в полном объеме и получены верные ответы	Задача решена или не решена
		Зачет с оценкой, решение практической задачи	Задача решена в полном объеме и получены верные ответы	Задача решена в полном объеме и получены верные ответы	Задача решена в полном объеме и получены верные ответы	Задача решена или не решена
ОПК-6	владеть способностью демонстрировать применение основных способов получения, преобразования,	Выполнение лабораторных работ	Все работы выполнены, получены верные значения, на	Все работы выполнены, не во всех работах получены	Все работы выполнены, не во всех работах получены верные	Не все работы выполнены, не во всех работах

транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах		все контрольные вопросы даны правильные ответы	верные значения, на все контрольные вопросы даны правильные ответы	значения, не на все контрольные вопросы даны правильные ответы	получены верные значения, не на все контрольные вопросы даны правильные ответы
знать как учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок уметь учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок	Экзамен, теоретическая часть	Правильный ответ на два вопроса	Правильный ответ на один вопрос	Правильный ответ только на один вопрос	На все вопросы не даны верные ответы
	Зачет с оценкой, теоретическая часть	Правильный ответ на один вопрос и дополнительный вопрос	Правильный ответ на один вопрос	Правильный ответ только на дополнительный вопрос	На все вопросы не даны верные ответы

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

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию не предусмотрено

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

Задача № 1. Плоскую поверхность необходимо изолировать так, чтобы потери теплоты с единицы поверхности в единицу времени не превышали 450 Вт/м^2 . Температура поверхности под изоляцией $t_{c1} = 450 \text{ }^\circ\text{C}$, температура внешней поверхности изоляции $t_{c2} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить толщину изоляции, если $\lambda = 0,09 + 0,0000874t$, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$.

Задача № 2. Вычислить тепловые потери через 1 м^2 двухслойной плоской стенки и температуру в плоскости соприкосновения слоев, если известно: $\delta_1 = 125 \text{ мм}$; $\delta_2 = 500 \text{ мм}$; $t_{c1} = 1100 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{c3} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$; $\lambda_1 = 0,28 + 0,00023t$; $\lambda_2 = 0,7 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$.

Задача № 3. Определить тепловые потери через 1 м длины трехслойной цилиндрической стенки и температуры на границе соприкосновения слоев если известно: $\delta_1 = 5 \text{ мм}$; $\delta_2 = \delta_3 = 50 \text{ мм}$; $\lambda_1 = 50 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$; $\lambda_2 = 0,06 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$; $\lambda_3 = 0,12 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$; $t_{c1} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{c4} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$; $d = 100 \text{ мм}$.

Задача № 4. Вычислить потери теплоты с 1 м неизолированного трубопровода диаметром $d_1/d_2 = 150/160 \text{ мм}$, проложенного на открытом воздухе, если внутри трубы протекает вода со средней температурой $t_{ж1} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$ и температурой окружающего воздуха $t_{ж2} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$. Для материала трубы λ

= 50 Вт/(м•К); $\alpha_1 = 1000$ Вт/(м²•К); $\alpha_2 = 12$ Вт/(м²•К). Определить также температуру на внешней и внутренней поверхностях трубы.

Задача № 5. Определить время, необходимое для нагрева листа стали толщиной $2\delta = 24$ мм, который имел начальную температуру $t_0 = 25$ °С, а затем помещён в печь с температурой $t_{ж} = 600$ °С. Нагрев считать законченным, когда температура листа достигнет значения $t = 450$ °С. Для стали: $\lambda = 45,4$ Вт/(м•К); $c_p = 0,502$ кДж/(кг•К); $\rho = 7800$ кг/м³; $\alpha = 23,3$ Вт/(м²•К).

Задача № 6. Длинный стальной вал диаметром $d = 2 r_0 = 120$ мм, имеющий температуру $t_0 = 20$ °С помещён в печь с $t_{ж} = 820$ °С. Определить время нагрева вала до $t_{r=0} = 800$ °С. Определить также температуру на поверхности вала $t_{r=r_0}$ в конце нагрева. $\lambda = 21$ Вт/(м•К); $a = 6,11 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $\alpha = 140$ Вт/(м²•К).

Задача № 7. Стальной параллелепипед размером 200x400x500 мм, имел начальную температуру $t_0 = 20$ °С, затем был помещён в печь с температурой $t_{ж} = 1400$ °С. Определить температуру в центре слитка через 1,5 часа после загрузки в печь. $\lambda = 37,2$ Вт/(м•К); $a = 6,94 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $\alpha = 168$ Вт/(м²•К).

Задача № 8. Стальная цилиндрическая болванка диаметром 80 мм и длиной 160 мм была равномерно нагрета до $t_0 = 800$ °С. Болванка охлаждается на воздухе с $t_{ж} = 30$ °С. Определить температуру в центре болванки и в середине торцевой поверхности через 30 мин после начала охлаждения. $\lambda = 23,3$ Вт/(м•К); $a = 6,11 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $\alpha = 118$ Вт/(м²•К).

Задача № 9. Стальная цилиндрическая болванка диаметром 100 мм и длиной 160 мм была равномерно нагрета до $t_0 = 800$ °С. Болванка охлаждается на воздухе с $t_{ж} = 30$ °С. Определить температуру в центре болванки и в середине торцевой поверхности через 30 мин после начала охлаждения. $\lambda = 23,3$ Вт/(м•К); $a = 6,11 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $\alpha = 118$ Вт/(м²•К).

Задача № 10. Стальная цилиндрическая болванка диаметром 120 мм и длиной 160 мм была равномерно нагрета до $t_0 = 800$ °С. Болванка охлаждается на воздухе с $t_{ж} = 30$ °С. Определить температуру в центре болванки и в середине торцевой поверхности через 30 мин после начала охлаждения. $\lambda = 23,3$ Вт/(м•К); $a = 6,11 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $\alpha = 118$ Вт/(м²•К).

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

Задача № 1. Определить коэффициент теплоотдачи от вертикальной плиты высотой $H = 2$ м, к окружающему воздуху, если температура поверхности плиты $t_c = 100$ °С, температура окружающего воздуха вдали от поверхности $t_{ж} = 20$ °С.

Задача № 2. Определить коэффициент теплоотдачи от поверхности труб, расположенных горизонтально в большом баке, к маслу, если диаметр труб $d = 20$ мм, температура масла $t_{ж} = 60$ °С, температура поверхности труб $t_c = 90$ °С. Расчёт можно производить как для одиночного цилиндра.

Задача № 3. Определить эквивалентный коэффициент теплопроводности и плотность теплового потока через вертикальную щель толщиной $\delta = 20$ мм, заполненную воздухом. Температура горячей стенки щели $t_{c1} = 200$ °С и холодной $t_{c2} = 80$ °С.

Задача № 3. Определить значение коэффициента теплоотдачи и количество передаваемой теплоты за 1 с при течении воды в горизонтальной трубе диаметром $d = 10$ мм и длиной $l = 1,2$ м, если средние по длине температура воды и стенки трубы равны соответственно $t_{ж} = 30$ °С и $t_c = 60$ °С, расход воды $G = 7 \cdot 10^{-3}$ кг/с.

Задача № 5. Какой длины необходимо использовать трубу диаметром $d = 18$ мм для нагрева воды от $t_{ж}' = 5$ °С до $t_{ж}'' = 55$ °С, температура стенки трубы $t_c = 70$ °С, расход воды $G = 72$ кг/ч.

Задача № 6. Определить коэффициент теплоотдачи от стенки трубы к охлаждающей воде, если температура стенки $t_c = 28$ °С, внутренний диаметр трубки $d = 16$ мм, $t_{ж}' = 10$ °С, $t_{ж}'' = 18$ °С, средняя скорость воды в трубке $w = 2$ м/с.

Задача № 7. По трубке внутренним диаметром $d = 18$ мм движется вода со скоростью $w = 1,2$ м/с. Температура стенки трубки $t_c = 90$ °С, вода нагревается от $t_{ж}' = 15$ °С до $t_{ж}'' = 45$ °С. Определить коэффициент теплоотдачи от трубки к воде и плотность теплового потока. Принять, что $l > 50 d$.

Задача № 8. Трубка диаметром $d = 20$ мм охлаждается потоком воды. Скорость потока $w = 1$ м/с. Средняя температура воды $t_{ж} = 10$ °С и температура стенки трубки $t_c = 50$ °С. Определить коэффициент теплоотдачи от поверхности трубки к охлаждающей воде.

Задача № 9. Шахматный пучок труб обтекается поперечным потоком трансформаторного масла. Внешний диаметр труб $d = 20$ мм, скорость потока $w = 0,6$ м/с и $t_{ж} = 40$ °С. Температура стенки трубок $t_c = 90$ °С. Поток обтекает трубки под углом атаки $\varphi = 90$ °. Определить коэффициент теплоотдачи.

Задача № 10. Коридорный пучок труб обтекается потоком трансформаторного масла. Внешний диаметр труб $d = 20$ мм, скорость потока $w = 0,6$ м/с и $t_{ж} = 40$ °С. Температура стенки трубок $t_c = 90$ °С. Поток обтекает трубки под углом атаки $\varphi = 90$ °. Определить коэффициент теплоотдачи.

Задача № 11. Шахматный пучок труб обтекается поперечным потоком воды. Внешний диаметр труб $d = 20$ мм, скорость потока $w = 0,6$ м/с и $t_{ж} = 40$ °С. Температура стенки трубок $t_c = 90$ °С. Поток обтекает трубки под углом атаки $\varphi = 45$ °. Определить коэффициент теплоотдачи.

Задача № 12. На наружной поверхности горизонтальной трубы диаметром $d = 20$ мм и длиной $l = 2$ м конденсируется сухой насыщенный водяной пар при давлении $P = 10^5$ Па. Температура поверхности трубы $t_c = 94,5$ °С. Определить средний коэффициент теплоотдачи от пара к трубе и количество конденсирующегося пара.

Задача № 13. На наружной поверхности вертикальной трубы диаметром $d = 20$ мм и высотой $h = 2$ м конденсируется сухой насыщенный водяной пар при давлении $P = 10^5$ Па. Температура поверхности трубы $t_c = 94,5$ °С. Определить средний по высоте коэффициент теплоотдачи от пара к трубе и количество конденсирующегося пара.

Задача № 14. Определить коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубки испарителя к кипящей воде, если плотность теплового потока через поверхность нагрева $q = 2 \cdot 10^5$ Вт/м², режим кипения

пузырьковый и вода находится под давлением $P = 2 \cdot 10^5$ Па.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету с оценкой

1. Физический механизм процесса теплопроводностью в различных средах. Температурное поле, градиент температуры, плотность теплового потока.
2. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности, его зависимость от различных факторов.
3. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Линейные и нелинейные задачи.
4. Теплопроводность плоской стенки с постоянным и зависящим от температуры коэффициентом теплопроводности.
5. Теплопередача через многослойную стенку. Коэффициент теплопередачи. Термические сопротивления.
6. Теплопередача через многослойную цилиндрическую стенку. Критический диаметр. Понятие об оптимизации тепловой изоляции.
7. Теплопроводность в стержне (ребре) постоянного поперечного сечения.
8. Нестационарная теплопроводность пластины при граничных условиях третьего рода.
9. Нестационарная теплопроводность длинного цилиндра. Теплопроводность тел конечных размеров (параллелепипед, цилиндр).
10. Определение количества теплоты, отдаваемого или воспринимаемого телом в процессе нестационарной теплопроводности.

7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену

1. Конвективный теплообмен как совокупность молекулярного и молярного переноса теплоты. Теплоотдача. Понятие о тепловом пограничном слое. Особенности теплообмена при ламинарном и турбулентном режимах течения.
2. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена: уравнения энергии, движения и сплошности. Краевые условия.
3. Теория подобия. Безразмерные комплексы (критерии подобия).
4. Теплоотдача при конвекции в большом объеме и обобщение методами теории подобия. Расчетные соотношения.
5. Теплоотдача при свободной конвекции в ограниченном пространстве.
6. Образование теплового и гидродинамического пограничных слоев при неизотермическом течении с большими критериями Пекле и Рейнольдса.
7. Простейшая модель турбулентности. Законы сопротивления и теплообмена при турбулентном течении.

8. Теплоотдача при турбулентном режиме. Теплоотдача при турбулентном обтекании плоской пластины.
9. Теплообмен в трубах при ламинарном течении. Гидродинамическая и тепловая стабилизация.
10. Теплообмен в трубах при турбулентном течении. Гидродинамическая и тепловая стабилизация.
11. Влияние шероховатости и изгиба труб на теплоотдачу. Теплоотдача в каналах некруглого поперечного сечения.
12. Теплоотдача при поперечном обтекании труб и пучков труб. Режимы течения.
13. Средний температурный напор.
14. Анализ решения задачи нестационарной теплопроводности пластины в предельных случаях малых и больших чисел Био и Фурье. Регулярный режим.
15. Дифференциальное уравнение энергии.
16. Дифференциальное уравнение движения (Навье-Стокса).
17. Формулировка краевых задач теплопроводности: начальные условия, граничные условия четырех родов.
18. Явление отрыва пограничного слоя. Влияние гидродинамики потока на локальную и среднюю теплоотдачу.
19. Теплоотдача при течении газов с большой скоростью.
20. Жидкометаллический теплоносители, теплоотдача.
21. Теплоотдача в разреженных газах.
22. Пленочная и капельная конденсация. Термические сопротивления при конденсации. Условия взаимодействия на границе раздела фаз.
23. Влияние скорости пара при конденсации. Конденсация на горизонтальных трубах и пучках труб.
24. Теплообмен при конденсации практически неподвижного пара в условиях ламинарного и турбулентного режимов течения пленки конденсата.
25. Кипение в большом объеме. Пузырьковый и пленочный режимы. Условия возникновения паровой фазы, критический радиус пузырька. Число центров парообразования.
26. Механизм теплоотдачи и расчетные соотношения при пузырьковом режиме кипения. Расчет критической плотности теплового потока.
27. Структура двухфазного потока и теплообмена при кипении внутри труб. Кризис кипения.
28. Теплообмен при сублимации вещества.
29. Тепломассообмен при конденсации смеси паров и пара из

парогазовой смеси. Зависимость интенсивности теплообмена от содержания неконденсирующегося компонента.

30. Аналогия между процессами переноса массы и теплоты. Величины - аналоги. Методика приближенного определения коэффициента массоотдачи на основе аналогии.

31. Дифференциальные уравнения конвективного массообмена в двухкомпонентных средах. Краевые условия. Коэффициент массоотдачи.

32. Характеристики двухкомпонентных сред. Потоки массы компонентов смеси. Концентрационная диффузия. Закон Фика. Перенос теплоты в двухкомпонентных средах.

33. Применение законов излучения к серым телам.

34. Расчет лучистого теплообмена между излучающей средой и поверхностью твердого тела.

35. Особенности теплообмена излучением в поглощающей среде (газах и парах).

36. Теплообмен излучением в замкнутой системе серых тел. Частные случаи: тела с плоскопараллельными поверхностями и экранами между ними; тела, одно из которых находится в полости другого.

37. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой.

38. Поглощательная, отражательная и пропускательная способности тел. Абсолютно черное тело. Законы излучения черного тела. Серые тела.

39. Основные понятия и законы теплового излучения.

40. Типы теплообменных устройств. Основные уравнения теплового расчета теплообменных аппаратов.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по билетам: для теоретической части каждый из них содержит 2 вопроса, для практической части одну задачу.

1. Оценка "Неудовлетворительно" ставится в случае, если студент не решил задачу или решил задачу, но не ответил на теоретические вопросы.

2. Оценка "Удовлетворительно" ставится в случае, если студент правильно решил задачу и верно ответил только на один дополнительный вопрос.

3. Оценка "Хорошо" ставится в случае, если студент правильно решил задачу и верно ответил на один из теоретических вопросов, а на второй вопрос дал не полный ответ.

4. Оценка "Отлично" ставится, если студент правильно решил задачу и верно ответил на два теоретических вопроса.

Зачет с оценкой проводится по билетам: для теоретической части каждый из них содержит один вопрос, для практической части одну задачу.

1. Оценка "Неудовлетворительно" ставится в случае, если студент не решил задачу или решил задачу, но не ответил на теоретический вопрос.

2. Оценка "Удовлетворительно" ставится в случае, если студент правильно решил задачу и верно ответил только на один дополнительный вопрос.

3. Оценка "Хорошо" ставится в случае, если студент правильно решил задачу и верно ответил на один теоретический.

4. Оценка "Отлично" ставится, если студент правильно решил задачу и верно ответил на теоретический вопрос и дополнительный вопрос.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение	ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6	Устный опрос, зачет с оценкой
2	Передача теплоты через стенку	ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6	Устный опрос, защита лабораторных работ, требования к курсовому проекту, зачет с оценкой
3	Передача теплоты в ребре	ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6	Устный опрос, защита лабораторных работ, зачет с оценкой
4	Теплопроводность при наличии внутренних источников теплоты	ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6	Устный опрос, зачет с оценкой
5	Теплопроводность при нестационарном режиме	ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6	Устный опрос, зачет с оценкой
6	Теплопроводность в телах простейших форм	ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6	Устный опрос, зачет с оценкой
7	Теплоотдача	ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6	Устный опрос, защита лабораторных работ, требования к курсовому проекту, экзамен
8	Конвективный теплообмен при различных режимах течения	ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6	Устный опрос, экзамен
9	Теория подобия	ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6	Устный опрос, экзамен
10	Теплообмен при вынужденном движении жидкости на плоской поверхности	ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6	Устный опрос, экзамен
11	Теплообмен при вынужденном движении жидкости в трубах	ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6	Устный опрос, защита лабораторных работ, требования к курсовому проекту, экзамен
12	Теплообмен при свободном движении жидкости	ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6	Устный опрос, защита лабораторных работ,

			экзамен
13	Отдельные задачи конвективного теплообмена в однофазной среде	ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6	Устный опрос, экзамен
14	Теплообмен при конденсации	ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6	Устный опрос, экзамен
15	Теплообмен при кипении	ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6	Устный опрос, экзамен
16	Теплообмен излучением	ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6	Устный опрос, экзамен
17	Процессы тепло- и массообмена	ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6	Устный опрос, экзамен
18	Основы теплового и гидравлического расчёта теплообменных аппаратов	ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6	Устный опрос, требования к курсовому проекту, экзамен

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

Экзамен. Решение задачи осуществляется с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задачи 20 мин. Затем осуществляется проверка решения задачи экзаменатором и выдаётся билет на бумажном носителе с теоретическими вопросами. Время подготовки к ответу составляет 45 мин. Затем выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Зачет с оценкой. Решение задачи осуществляется с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задачи 20 мин. Затем осуществляется проверка решения задачи экзаменатором и выдаётся билет на бумажном носителе с теоретическим вопросом. Время подготовки к ответу составляет 25 мин. Затем выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Исаченко, В.П. Теплопередача: Учебник для вузов / В.П Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. - М.: Энергия, 2013. 488 с. (или другого года издания).

2. Краснощёков, А.А. Задачник по теплопередаче / Е.А. Краснощёков, А.С. Сукомел. 4-е изд. М.: Энергия, 1980. 280 с.

3. Дахин, С.В. Тепло- и массообмен: курс лекций: учеб. пособие / С.В. Дахин. Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2008. 233 с.

4. Дахин, С.В. Теплообмен. Задачник: учеб. пособие / С.В. Дахин. Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2008. 166 с.

5. Дахин, С.В. Расчет рекуперативных теплообменных аппаратов непрерывного действия: учеб. пособие / С.В. Дахин. Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2008. 110 с.

6. Дахин, С.В. Тепломассообмен: учеб. пособие / С.В. Дахин. 2-е изд. перераб. и доп. Воронеж: ГОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2009. 188 с.

7. Дахин, С.В. Тепломассообмен: практикум: учеб. пособие / С.В. Дахин. 2-е изд. перераб. и доп. Воронеж: ГОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2009. 175 с.

8. Дахин, С.В. Методические указания для выполнения лабораторных работ по дисциплине "Тепломассообмен" для студентов направления подготовки бакалавров 140100 "Теплоэнергетика и теплотехника" (профиль "Промышленная теплоэнергетика") всех форм обучения / ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет"; сост. С.В. Дахин. Воронеж, 2013. 31 с.

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

Образовательный портал ВГТУ - <https://education.cchgeu.ru/>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Специализированная лаборатория тепломассообмена, оснащенная стендами для лабораторных работ (ауд. 303/3):

- стенд для определения коэффициента теплопроводности изоляционных материалов методом цилиндрического слоя;
- стенд для определения коэффициента теплопроводности металлов методом стержня;
- стенд для исследования теплоотдачи от горизонтального цилиндра при свободной конвекции;
- стенд для исследования теплоотдачи при течении жидкости в трубе.

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

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

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

Практические занятия направлены на приобретение практических

навыков расчета тепломассообменных процессов в теплоэнергетических и теплотехнологических установках. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

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

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

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсового проекта, защитой курсового проекта.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом с оценкой, экзаменом, зачетом с оценкой, экзаменом, зачетом с оценкой, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
----------	-----------------------------	----------------------------	--