



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Директор

института теплоэнергетики

\_\_\_\_\_ С.О. Гапоненко

«27» февраля 2024 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

*Б1.В. 05 Тепломассообмен*

*(Код и наименование дисциплины в соответствии с РУП)*

Направление подготовки

16.03.01 Техническая физика

*(Код и наименование направления подготовки)*

Направленность(и)  
(профиль(и))

Теплофизика

*(Наименование направленности (профиля) образовательной программы)*

Квалификация

Бакалавр

*(Бакалавр / Магистр)*

г. Казань, 2024

Программу разработал:

Наименование кафедры	Должность, уч. степень, уч. звание	ФИО разработчика
Автоматизация технологических процессов и производств	доцент, д.т.н., доцент	Шинкевич Татьяна Олеговна

Согласование	Наименование подразделения	Дата	№ протокола	Подпись
Одобрена	Автоматизация технологических процессов и производств	19.02.2024	11	_____ Зав. каф. АТПП, д.т.н., доцент Дмитриев А.В.
Согласована	Автоматизация технологических процессов и производств	19.02.2024	11	_____ Зав. каф. АТПП, д.т.н., доцент Дмитриев А.В.
Согласована	Учебно-методический совет института Теплоэнергетики	27.02.2024	5	_____ Директор ИТЭ, к.т.н., доцент Гапоненко С.О.
Одобрена	Ученый совет института	27.02.2024	6	_____ Директор ИТЭ, к.т.н., доцент Гапоненко С.О.

## 1. Цель, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью освоения дисциплины «Тепломассообмен» является изучение фундаментальных законов тепломассообмена, особенностей процессов передачи теплоты в различных термодинамических средах, формирование знаний о современных методах расчёта процессов тепломассопереноса в машинах и аппаратах тепловых двигателей, а также применительно к холодильной, криогенной технике и системам жизнеобеспечения.

Задачами дисциплины являются: ознакомление с основными физико-химическими закономерностями и методами расчета процессов тепломассообмена (теплопроводности, конвекции, теплового излучения), а также конвективной теплоотдачи, теплообмена при изменении агрегатного состояния вещества, массообмена; усвоения сложного процесса теплопередачи и основ расчета теплообменных аппаратов; ознакомления с путями решения современных проблем тепломассообмена, проведения тепловых расчетов, решения практических задач, связанных с тепломассообменом в элементах энергетического оборудования. Теоретическая и практическая подготовка будущих специалистов в области энергообеспечения предприятий, промышленной теплоэнергетики необходимых для грамотной, безаварийной эксплуатации систем, механизмов, устройств предприятий.

### Компетенции и индикаторы, формируемые у обучающихся:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора
ПК-3 Способность выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик материалов, приборов, схем и устройств физической электроники различного функционального назначения	ПК-3.1 Применяет физико-математический аппарат, необходимый для осуществления профессиональной деятельности
	ПК-3.2 Обладает первичными навыками применения экспериментальных и теоретических методов исследований и компьютерного моделирования для решения профессиональных задач
	ПК-3.3 Использует современные средства измерений, обработки и анализа результатов, а также вычислительные системы и наукоемкие компьютерные технологии для решения конкретных задач технической физики

## 2. Место дисциплины в структуре ОП

Предшествующие дисциплины (модули), практики, НИР, др Физика, Химия, Высшая математика.

Последующие дисциплины (модули), практики, НИР, др. учебная, производственная и преддипломная практики.

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Структура дисциплины

Для очной формы обучения

Вид учебной работы	Всего ЗЕ	Всего часов	Семестр(ы)		
			5	6	
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ	8	288	72	216	
КОНТАКТНАЯ РАБОТА*	-	166	56	110	
АУДИТОРНАЯ РАБОТА	3,3	122	40	82	
Лекции	0,9	32	16	16	
Практические (семинарские) занятия	2	74	24	50	
Лабораторные работы	0,4	16	-	16	
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ	5,6	202	68	134	
Проработка учебного материала	3,6	130	32	98	
Курсовой проект	0	0	0	0	
Курсовая работа	1	36	0	36	
Подготовка к промежуточной аттестации	1	36	36	0	
Промежуточная аттестация:			Э	3	
			-	КР	

#### 3.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и видам занятий

Разделы дисциплины	Всего часов	Распределение трудоемкости по видам учебной работы				Формы и вид контроля	Индексы индикаторов формируемых компетенций
		лекции	лаб. раб.	пр. зан.	сам. раб.		
Раздел 1 Теплопроводность	18	4		6	8	ТК1	ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 З,У,В
Раздел 2 Конвективный теплообмен	28	6		10	12	ТК2	ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 З,У,В
Раздел 3 Теплопередача	26	6		8	12	ТК3	ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 З,У,В
Экзамен					36	<b>ОМ 1</b>	ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 З,У,В
<b>Итого за 5 семестр</b>	<b>72</b>	<b>16</b>		<b>24</b>	<b>68</b>		
Раздел 4	43	4	4	10	25		ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 З,У,В

Тепловое излучение							
Раздел 5 Теплообменные аппараты	94	8	8	30	48		ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 3,У,В
Раздел 6 Тепломассообмен	43	4	4	10	25		ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 3,У,В
Курсовая работа	36					<b>ОМкр</b>	ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 3,У,В
<b>Итого за 6 семестр</b>	<b>216</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>50</b>	<b>98</b>		
<b>ИТОГО</b>	<b>288</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>84</b>	<b>196</b>		

### 3.3. Содержание дисциплины

#### Раздел 1. Теплопроводность

Тема 1.1. Закон Фурье. Теплопроводность при стационарном режиме. Теплопроводность в плоской и цилиндрической стенке.

Тема 1.2. Теплопроводность при нестационарном режиме. Теплопроводность при внутреннем выделении теплоты.

#### Раздел 2. Конвективный теплообмен.

Тема 2.1. Конвекция. Теплоотдача. Теплоотдача в жидкостях и газах. Тепловой пограничный слой.

Тема 2.2. Теплоотдача при вынужденном движении. Теплоотдача при свободном движении.

Тема 2.3. Теплоотдача при кипении и конденсации. Тепловое подобие. Моделирование. Критериальные уравнения.

#### Раздел 3. Теплопередача

Тема 3.1. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенку при стационарном режиме и граничных условиях.

Тема 3.2. Коэффициент теплопередачи. Термическое сопротивление теплопередачи. Регулирование интенсивности теплопередачи.

Тема 3.3. Интенсификация теплопередачи. Тепловая изоляция.

#### Раздел 4. Тепловое излучение

Тема 4.1. Основные понятия, определения и законы теплового излучения. Лучистый теплообмен между телами.

Тема 4.2. Излучение газов и паров. Процессы сложного теплообмена.

#### Раздел 5. Теплообменные аппараты

Тема 5.1. Назначение теплообменников, классификация по принципу действия. Основы теплового и гидравлического расчетов теплообменников, проектный и поверочный тепловые расчеты.

Тема 5.2. Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи. Среднеарифметический температурный напор, его определение для основных схем движения теплоносителей. Сравнение прямого и противотока, вычисление конечных температур теплоносителей.

Тема 5.3. Затраты напора, обусловленные ускорением потока и преодолением гидростатического давления столба жидкости. Мощность, необходимая для перемещения теплоносителя.

Тема 5.4. Типы теплообменных аппаратов, их сравнение и области применения.

#### Раздел 6. Тепломассообмен.

Тема 6.1. Основные положения теории массообмена. Закон Фика. Коэффициент диффузии, факторы, влияющие на его величину. Конвективный массообмен как совокупность молярного и молекулярного переноса вещества.

Тема 6.2. Плотность потока массы в процессе конвективного массообмена. Диффузионный пограничный слой. Система дифференциальных уравнений диффузионного пограничного слоя. Коэффициент массоотдачи.

### **3.4. Тематический план практических занятий**

Занятие 1 Теплопроводность плоской стенки

Занятие 2. Теплопроводность цилиндрической стенки

Занятие 3. Теплопроводность ребра

Занятие 4. Теплопроводность при наличии внутренних источников теплоты

Занятие 5. Нестационарные процессы теплопроводности

Занятие 6. Теплоотдача при обтекании пластины

Занятие 7. Теплоотдача при течении в трубах

Занятие 8. Теплоотдача при обтекании пучков труб

Занятие 9. Теплопередача через плоскую стенку

Занятие 10. Теплопередача через цилиндрическую стенку

Занятие 11. Теплообмен при свободной конвекции и при фазовых превращениях

Занятие 12. Расчет теплообменных аппаратов

Занятие 13. Теплообмен излучением

### **3.5. Тематический план лабораторных работ**

Лабораторная работа №1. Исследование течения в канале переменного сечения

Лабораторная работа №2. Определение удельной теплоемкости воздуха при постоянном давлении

Лабораторная работа №3. Теплоотдача горизонтальной трубы при свободной конвекции

Лабораторная работа №4. Определение коэффициента теплопроводности твёрдых тел методом цилиндрического слоя

### **3.6. Курсовой проект /курсовая работа**

В курсовой работе требуется выполнить тепловой расчёт теплообменного аппарата определенного типа по вариантам (маслоохладитель судового двигателя, сетевой водоподогреватель, змеевиковый водяной экономайзер, воздухоподогреватель парогенератора, воздухоподогреватель системы кондиционирования воздуха и т.д.).

#### 4. Оценивание результатов обучения

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54
			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
ПК-3	ПК-3.1	знать:				
		основные физические свойства жидкостей и газов, общие законы и уравнения теплопроводности, теплообмена и теплопередачи жидкостей и газов, а также законы массопереноса	основные физические свойства жидкостей и газов, общие законы и уравнения теплопроводности, теплообмена и теплопередачи жидкостей и газов, а также законы массопереноса без ошибок	основные физические свойства жидкостей и газов, общие законы и уравнения теплопроводности, теплообмена и теплопередачи жидкостей и газов, а также законы массопереноса, при ответе может допустить несколько негрубых ошибок	плохо знает основные физические свойства жидкостей и газов, общие законы и уравнения теплопроводности, теплообмена и теплопередачи жидкостей и газов, а также законы массопереноса без ошибок	уровень знаний ниже минимального требования, допускает грубые ошибки.
		уметь:				
		рассчитывать теплопроводность, теплоотдачу и	гидродинамические параметры	рассчитывать гидродинамические	в целом демонстрирует умение	при решении типовых задач не

		<p>теплопередачу при внешнем обтекании тел, течения в каналах (трубах), проточных частях теплообменников; проводить тепловой расчет теплообменных аппаратов</p>	<p>ы потока жидкости (газа) при внешнем обтекании тел и течения в каналах (трубах), проточных частях гидрогазодинамических машин; проводить гидравлический расчет трубопроводов, не допускает ошибок</p>	<p>еские параметры потока жидкости (газа) при внешнем обтекании тел и течения в каналах (трубах), проточных частях гидрогазодинамических машин; проводить гидравлический расчет трубопроводов, допускает при этом ряд небольших ошибок</p>	<p>рассчитывать гидродинамические параметры потока жидкости (газа) при внешнем обтекании тел и течения в каналах (трубах), проточных частях гидрогазодинамических машин; проводить гидравлический расчет трубопроводов. Задания выполнены не в полном объеме.</p>	<p>демонстрирует сформированное умение рассчитывать гидродинамические параметры потока жидкости (газа) при внешнем обтекании тел и течения в каналах (трубах), проточных частях гидрогазодинамических машин; проводить гидравлический расчет трубопроводов, допускает грубые ошибки</p>
<p>владеть:</p>						
		<p>методиками проведения типовых тепловых расчетов любых видов теплообменных аппаратов</p>	<p>продемонстрированы навыки проведения типовых тепловых расчетов любых видов теплообменных аппаратов, без</p>	<p>продемонстрированы базовые навыки проведения типовых тепловых расчетов любых видов теплообменных аппаратов</p>	<p>имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач, много ошибок</p>	<p>не продемонстрированы базовые навыки, допущены грубые ошибки</p>

			ошибок и недочетов	, допущен ряд мелких ошибок		
ПК -3.2	знать:					
	основные законы преобразования энергии и тепломассобмена; качественные характеристики переноса теплоты; условия однозначности или краевые условия теплопроводности; пути интенсификации и теплопередачи; приближенные методы решения задач теплопроводности; основы процесса теплообмена излучением.	основные законы преобразования энергии и тепломассобмена; качественные характеристики переноса теплоты; условия однозначности или краевые условия теплопроводности; пути интенсификации теплопередачи; приближенные методы решения задач теплопроводности; основы процесса теплообмена излучением без ошибок	основные законы преобразования энергии и тепломассобмена; качественные характеристики переноса теплоты; условия однозначности или краевые условия теплопроводности; пути интенсификации теплопередачи; приближенные методы решения задач теплопроводности; основы процесса теплообмена излучением, при ответе может допустить несколько негрубых ошибок	плохо знает основные законы преобразования энергии и тепломассобмена; качественные характеристики переноса теплоты; условия однозначности или краевые условия теплопроводности; пути интенсификации теплопередачи; приближенные методы решения задач теплопроводности; основы процесса теплообмена излучением		уровень знаний ниже минимального требования, допускает грубые ошибки
	уметь:					
	применять основные	Демонстрирует	Демонстрирует	В целом демонстрирует	при решении	

		<p>законы и уравнения теплообмена для выполнения технических расчетов; пользоваться термодинамическими схемами, диаграммами, графиками и таблицами теплофизических свойств веществ и газов проводить термодинамический анализ процессов; определять теплопроводность при стационарных условиях, определять теплопроводность однослойной, многослойной, плоской цилиндрической и сферической стенок при граничных условиях 1 рода; проводить термодинамические расчеты рабочих процессов в теплосиловых установках и других теплотехнических устройствах, применяемых в отрасли.</p>	<p>умение применять основные законы и уравнения теплообмена для выполнения технических расчетов; пользоваться термодинамическими схемами, диаграммами, графиками и таблицами теплофизических свойств веществ и газов проводить термодинамический анализ процессов; определять теплопроводность при стационарных условиях, определять теплопроводность однослой</p>	<p>умение применять основные законы и уравнения теплообмена для выполнения технических расчетов; пользоваться термодинамическими схемами, диаграммами, графиками и таблицами теплофизических свойств веществ и газов проводить термодинамический анализ процессов; определять теплопроводность при стационарных условиях, определять теплопроводность однослой</p>	<p>ирует умение применять основные законы и уравнения теплообмена для выполнения технических расчетов; пользоваться термодинамическими схемами, диаграммами, графиками и таблицами теплофизических свойств веществ и газов проводить термодинамический анализ процессов; определять теплопроводность при стационарных условиях, определять теплопроводность</p>	<p>задачи демонстрирует умение применять основные законы и уравнения теплообмена для выполнения технических расчетов; пользоваться термодинамическими схемами, диаграммами, графиками и таблицами теплофизических свойств веществ и газов проводить термодинамический анализ процессов; допускает грубые ошибки</p>
--	--	---	--	--	---	---

			ной, многослойной, плоской цилиндрической и сферической стенок при граничных условиях 1 рода; проводит термодинамические расчеты рабочих процессов в тепловых установках и других теплотехнических устройствах, применяемых в отрасли без ошибок	ной, многослойной, плоской цилиндрической и сферической стенок при граничных условиях 1 рода; проводит термодинамические расчеты рабочих процессов в тепловых установках и других теплотехнических устройствах, применяемых в отрасли, при ответе может допустить несколько негрубых ошибок	однослойной, многослойной, плоской цилиндрической и сферической стенок при граничных условиях 1 рода; проводит термодинамические расчеты рабочих процессов в тепловых установках и других теплотехнических устройствах, применяемых в отрасли. Задания выполнены не в полном объеме.	
		владеть;				
		владеть основами расчета процессов теплопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического	продемонстрированы навыки расчета процессов теплопереноса в элементах	продемонстрированы базовые навыки расчета процессов теплопереноса в	имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач, много	не продемонстрированы базовые навыки, допущены грубые ошибки

		чекского оборудования	теплотехнического и теплотехнологического оборудования, без ошибок и недочетов	элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования, допущен ряд мелких ошибок	ошибок	
	ПК-3.3	знать:				
		современные средства измерений, обработки и анализа результатов, а также вычислительные системы и наукоемкие компьютерные технологии для решения конкретных задач технической физики	Знает современные средства измерений, обработки и анализа результатов, а также вычислительные системы и наукоемкие компьютерные технологии для решения конкретных задач технической физики без ошибок	Знает базовые современные средства измерений, обработки и анализа результатов, а также вычислительные системы и наукоемкие компьютерные технологии для решения конкретных задач технической физики, может допустить несколько негрубых ошибок	Плохо знает современные средства измерений, обработки и анализа результатов, а также вычислительные системы и наукоемкие компьютерные технологии для решения конкретных задач технической физики	уровень знаний ниже минимального требования, допускает грубые ошибки
		Уметь:				
		Пользоваться современными средствами измерений,	Умеет применять современные	Умеет применять современные	в целом демонстрирует умение	Не демонстрирует умение

		обработки и анализа результатов, а также вычислительными системами и наукоемкими компьютерным и технологиями для решения конкретных задач технической физики	ные средства измерений, обработки и анализа результатов, а также вычислительные системы и наукоемкие компьютерные технологии и для решения конкретных задач технической физики без ошибок	ные средства измерений, обработки и анализа результатов, а также вычислительные системы и наукоемкие компьютерные технологии и для решения конкретных задач технической физики, при ответе может допустить несколько негрубых ошибок	применять современные средства измерений, обработки и анализа результатов, а также вычислительные системы и наукоемкие компьютерные технологии и для решения конкретных задач технической физики. Задания выполнены не в полном объеме.	применять современные средства измерений, обработки и анализа результатов, а также вычислительные системы и наукоемкие компьютерные технологии и для решения конкретных задач технической
		Владеть:				
		современными средствами измерений, обработки и анализа результатов, а также вычислительными системами и наукоемкими компьютерным и технологиями для решения конкретных задач технической физики	Владеет современными средствами измерений, обработки и анализа результатов, а также вычислительными системами и наукоемк	Продемонстрированы базовые навыки применения современных средств измерений, обработки и анализа результатов, а также вычислит	имеется минимальный набор навыков для использования современных средств измерений, обработки и анализа результатов, а	не продемонстрированы базовые навыки, допущены грубые ошибки

			ими компьютерными технологиями для решения конкретных задач технической физики без ошибок и недочетов	ельными системами и наукоемкими компьютерными технологиями для решения конкретных задач технической физики, допущен ряд мелких ошибок	также вычислит ельными системами и наукоемкими компьютерными технологиями для решения конкретных задач технической физики, много ошибок	

Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации приведены в Приложении к рабочей программе дисциплины.

Полный комплект заданий и материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине, хранится на кафедре разработчика.

## **5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **5.1. Учебно-методическое обеспечение**

#### **5.1.1. Основная литература**

1. Тепломассообмен : учебник / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев. - М. : Издательский дом МЭИ, 2017. - 562 с. - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011720.html>. - ISBN 978-5-383-01172-0. - Текст : электронный.

2. Петров, А. И. Техническая термодинамика и теплопередача / А. И. Петров. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 428 с. — ISBN 978-5-507-46444-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/310178>.

3. Дерюгин, В. В. Тепломассообмен / В. В. Дерюгин, В. Ф. Васильев, В. М. Уляшева. — 6-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 240 с. — ISBN 978-5-507-46436-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/310160>.

4. Задачник по тепломассообмену : учебное пособие / Ф.Ф. Цветков, Р.В. Керимов, В.И. Величко. — 2-е изд., исправ. и доп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008. — 196 с., ил.

5. Тепломассообмен : учебное пособие для вузов / О. Н. Брюханов, С. Н. Шевченко. - Москва : АСВ, 2005. - 460 с. : ил. - ISBN 5-93093-383-9. - Текст : непосредственный.

### 5.1.2.Дополнительная литература

1. Теоретические основы теплотехники : практикум / сост.: О. С. Попкова, И. И. Шарипов, О. В. Соловьева. - Казань : КГЭУ, 2019. - 120 с. - URL: <https://lib.kgeu.ru/>. - Текст : электронный.

2. Теплотехника : учебник для вузов / под ред. А. М. Архарова, В. Н. Афанасьева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. - 712 с. : ил. - ISBN 5-7038-2439-7. - Текст : непосредственный.

3. Теплотехника : учебник для вузов / В.Л.Ерофеев, П.Д.Семенов, А.С.Пряхин. - М. : Академкнига, 2008. - 488 с. : ил. - ISBN 978-5-94628-331-1. - Текст : непосредственный.

4. Круглов, Г. А. Теплотехника / Г. А. Круглов, Р. И. Булгакова, Е. С. Круглова. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 208 с. — ISBN 978-5-507-45269-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/263066>.

5. Солодов, А. П. Тепломассообмен : учебник : в 2 томах / А. П. Солодов, Д. В. Сиденков, В. И. Величко. — Москва : НИУ МЭИ, 2021 — Том 1 — 2021. — 484 с. — ISBN 978-5-7046-2460-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/362531>.

## 5.2. Информационное обеспечение

### 5.2.1. Электронные и интернет-ресурсы

<https://lms.kgeu.ru/course/view.php?id=2592>

### 5.2.2. Профессиональные базы данных / Информационно-справочные системы

1. Профессиональные базы данных и информационно-справочные системы доступны по ссылке: <https://www.lib.tpu.ru/html/irs-and-pdb>

2. Справочно-правовая система КонсультантПлюс – <http://www.consultant.ru/>

3. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU – <https://elibrary.ru>

4. Электронно-библиотечная система «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/>

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

6. Электронно-библиотечная система «ZNANIUM.COM» - <https://new.znanium.com/>

7. Электронная библиотека Grebennikon - <http://www.lib.tsu.ru/ru/news/elektronnayabiblioteka-grebennikon-0>

### 5.2.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное

## обеспечение дисциплины

1. Adobe Acrobat Reader DC; Adobe Flash Player;
2. Google Chrome; Mozilla Firefox ESR;
3. Microsoft Office 2007 Standard Russian Academic;
4. Microsoft Office 2013 Standard Russian Academic.

### 6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Лекции	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения, служащие для представления учебной информации большой аудитории (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), демонстрационное оборудование, учебно-наглядные пособия
Практические занятия	Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран) и др.
Лабораторные работы	Учебная лаборатория «Гидрогазодинамики и теплообмена», В406	Специализированное лабораторное оборудование по профилю лаборатории: автолаб. комплексы, авторабочее место студента с ПЭВМ (ММП), аэродинамическая труба, лабораторный стол, ноутбук, барометр БАММ-1 с поверкой, блок регистрации параметров воздушной струи, модули для аэродинамической трубы, вольтметр В7-21, вольтметр В7-21А, вольтметр универсальный, пылесос А-2254 Мс, лабораторный источник питания W.E.P.PSN305Д, световая модель, для определения угловых коэффициентов излучения плоскости на трубный пучок, подключение к сети "Интернет", доступ в электронную информационно-образовательную среду
Самостоятельная работа	Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокамеры, программное обеспечение
	Читальный зал библиотеки	Специализированная мебель, компьютерная техника с возможностью выхода в Интернет и обеспечением доступа в ЭИОС, экран, мультимедийный проектор, программное

## **7. Особенности организации образовательной деятельности для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Лица с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалиды имеют возможность беспрепятственно перемещаться из одного учебно-лабораторного корпуса в другой, подняться на все этажи учебно-лабораторных корпусов, заниматься в учебных и иных помещениях с учетом особенностей психофизического развития и состояния здоровья.

Для обучения лиц с ОВЗ и инвалидов, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, обеспечены условия беспрепятственного доступа во все учебные помещения. Информация о специальных условиях, созданных для обучающихся с ОВЗ и инвалидов, размещена на сайте университета [www//kgeu.ru](http://www//kgeu.ru). Имеется возможность оказания технической помощи ассистентом, а также услуг сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушенным слухом справочного, учебного материала по дисциплине обеспечиваются следующие условия:

- для лучшей ориентации в аудитории, применяются сигналы оповещения о начале и конце занятия (слово «звонок» пишется на доске);
- внимание слабослышащего обучающегося привлекается педагогом жестом (на плечо кладется рука, осуществляется нерезкое похлопывание);
- разговаривая с обучающимся, педагогический работник смотрит на него, говорит ясно, короткими предложениями, обеспечивая возможность чтения по губам.

Компенсация затруднений речевого и интеллектуального развития слабослышащих обучающихся проводится путем:

- использования схем, диаграмм, рисунков, компьютерных презентаций с гиперссылками, комментирующими отдельные компоненты изображения;
- регулярного применения упражнений на графическое выделение существенных признаков предметов и явлений;
- обеспечения возможности для обучающегося получить адресную консультацию по электронной почте по мере необходимости.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушениями зрения справочного, учебного, просветительского материала, предусмотренного образовательной программой по выбранному направлению подготовки, обеспечиваются следующие условия:

- ведется адаптация официального сайта в сети Интернет с учетом особых потребностей инвалидов по зрению, обеспечивается наличие крупношрифтовой справочной информации о расписании учебных занятий;
- педагогический работник, его собеседник (при необходимости), присутствующие на занятии, представляются обучающимся, при этом каждый раз называется тот, к кому педагогический работник обращается;

- действия, жесты, перемещения педагогического работника коротко и ясно комментируются;
- печатная информация предоставляется крупным шрифтом (от 18 пунктов), тотально озвучивается;
- обеспечивается необходимый уровень освещенности помещений;
- предоставляется возможность использовать компьютеры во время занятий и право записи объяснений на диктофон (по желанию обучающихся).

Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для обучающихся с ОВЗ и инвалидов определяется педагогическим работником в соответствии с учебным планом. При необходимости обучающемуся с ОВЗ, инвалиду с учетом их индивидуальных психофизических особенностей дается возможность пройти промежуточную аттестацию устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п., либо предоставляется дополнительное время для подготовки ответа.

## **8. Методические рекомендации для преподавателей по организации воспитательной работы с обучающимися.**

Методическое обеспечение процесса воспитания обучающихся выступает одним из определяющих факторов высокого качества образования. Преподаватель вуза, демонстрируя высокий профессионализм, эрудицию, четкую гражданскую позицию, самодисциплину, творческий подход в решении профессиональных задач, в ходе образовательного процесса способствует формированию гармоничной личности.

При реализации дисциплины преподаватель может использовать следующие методы воспитательной работы:

- методы формирования сознания личности (беседа, диспут, внушение, инструктаж, контроль, объяснение, пример, самоконтроль, рассказ, совет, убеждение и др.);
- методы организации деятельности и формирования опыта поведения (задание, общественное мнение, педагогическое требование, поручение, приучение, создание воспитывающих ситуаций, тренинг, упражнение, и др.);
- методы мотивации деятельности и поведения (одобрение, поощрение социальной активности, порицание, создание ситуаций успеха, создание ситуаций для эмоционально-нравственных переживаний, соревнование и др.)

При реализации дисциплины преподаватель должен учитывать следующие направления воспитательной деятельности:

### *Гражданское и патриотическое воспитание:*

- формирование у обучающихся целостного мировоззрения, российской идентичности, уважения к своей семье, обществу, государству, принятым в семье и обществе духовно-нравственным и социокультурным ценностям, к национальному, культурному и историческому наследию, формирование стремления к его сохранению и развитию;
- формирование у обучающихся активной гражданской позиции, основанной на традиционных культурных, духовных и нравственных ценностях российского общества, для повышения способности ответственно реализовывать свои

конституционные права и обязанности;

- развитие правовой и политической культуры обучающихся, расширение конструктивного участия в принятии решений, затрагивающих их права и интересы, в том числе в различных формах самоорганизации, самоуправления, общественно-значимой деятельности;

- формирование мотивов, нравственных и смысловых установок личности, позволяющих противостоять экстремизму, ксенофобии, дискриминации по социальным, религиозным, расовым, национальным признакам, межэтнической и межконфессиональной нетерпимости, другим негативным социальным явлениям.

*Духовно-нравственное воспитание:*

- воспитание чувства достоинства, чести и честности, совестливости, уважения к родителям, учителям, людям старшего поколения;

- формирование принципов коллективизма и солидарности, духа милосердия и сострадания, привычки заботиться о людях, находящихся в трудной жизненной ситуации;

- формирование солидарности и чувства социальной ответственности по отношению к людям с ограниченными возможностями здоровья, преодоление психологических барьеров по отношению к людям с ограниченными возможностями;

- формирование эмоционально насыщенного и духовно возвышенного отношения к миру, способности и умения передавать другим свой эстетический опыт.

*Культурно-просветительское воспитание:*

- формирование эстетической картины мира;

- формирование уважения к культурным ценностям родного города, края, страны;

- повышение познавательной активности обучающихся.

*Научно-образовательное воспитание:*

- формирование у обучающихся научного мировоззрения;

- формирование умения получать знания;

- формирование навыков анализа и синтеза информации, в том числе в профессиональной области.

**Вносимые изменения и утверждения на новый учебный год**

№ п/п	№ раздела внесения изменений	Дата внесения изменений	Содержание изменений	«Согласовано» Зав. каф. реализующей дисциплину	«Согласовано» председатель УМК института (факультета), в состав которого входит выпускающая
1	2	3	4	5	6
1					
2					
3					

*Приложение к рабочей  
программе дисциплины*



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)**

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
по дисциплине**

*Б1.В. 05 Тепломассообмен*

---

*( Код и наименование дисциплины в соответствии с РУП)*

г. Казань, 2024

Оценочные материалы по дисциплине Тепломассобмен, предназначены для оценивания результатов обучения на соответствие индикаторам достижения компетенций.

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля (ТК) и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

## 1. Технологическая карта

### Семестр 5

Наименование раздела	Формы и вид контроля	Рейтинговые показатели							
		I текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК1	II текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК2	III текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК3	Итого	Промежуточная аттестация
<b>Раздел 1. «Теплопроводность»</b>	<b>ТК1</b>	<b>15</b>	<b>0-15</b>					<b>15-30</b>	<b>15-30</b>
Тест или письменный опрос		7							
Отчет по практической работе		4							
Отчет по самостоятельной работе		4							
<b>Раздел 2. «Конвективный теплообмен»</b>	<b>ТК2</b>			<b>15</b>	<b>0-15</b>			<b>15-30</b>	<b>15-30</b>
Тест или письменный опрос				7					
Отчет по практической работе				4					
Отчет по самостоятельной работе				4					
<b>Раздел 3. «Теплопередача»</b>	<b>ТК3</b>					<b>25</b>	<b>0-15</b>	<b>25-40</b>	<b>25-40</b>
Тест или письменный опрос						7			
Отчет по практической работе						4			
Отчет по самостоятельной работе						14			
<b>Промежуточная аттестация (экзамен)</b>	<b>ОМ</b>								<b>0-45</b>
Задание промежуточной аттестации									0-15
В письменной форме по билетам									0-30

### Семестр 6

Наименование раздела	Формы и вид контроля	Рейтинговые показатели							
		I текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК1	II текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК2	III текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК3	Итого	Промежуточная аттестация
Курсовая работа	ОМк р							60-100	60-100
<b>Промежуточная аттестация (КР)</b>	<b>ОМ кр</b>								<b>0-45</b>
Задание промежуточной аттестации									0-30
Оформление работы									0-15

Оценка «отлично» выставляется за выполнение расчетных работ в семестре; тестовых заданий; глубокое понимание процессов, протекающих в теплообменниках, полные и содержательные ответы на вопросы билета (теоретическое и практическое задание);

Оценка «хорошо» выставляется за выполнение расчетных работ в семестре; тестовых заданий; понимание процессов, протекающих в теплообменниках, ответы на вопросы билета (теоретическое или практическое задание);

Оценка «удовлетворительно» выставляется за выполнение расчетных работ в семестре и тестовых заданий;

Оценка «неудовлетворительно» выставляется за слабое и неполное выполнение расчетных работ в семестре и тестовых заданий.

## 2. Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54
			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
ПК-3	ПК-3.1	знать: основные физические свойства жидкостей и газов, общие	основные физические свойства жидкосте	основные физические свойства жидкосте	плохо знает основные физические	уровень знаний ниже минимального

		<p>законы и уравнения теплопроводности, теплообмена и теплопередачи жидкостей и газов, а также законы массопереноса</p>	<p>й и газов, общие законы и уравнения теплопроводности, теплообмена и теплопередачи жидкостей и газов, а также законы массопереноса без ошибок</p>	<p>й и газов, общие законы и уравнения теплопроводности, теплообмена и теплопередачи жидкостей и газов, а также законы массопереноса, при ответе может допустить несколько негрубых ошибок</p>	<p>свойства жидкостей и газов, общие законы и уравнения теплопроводности, теплообмена и теплопередачи жидкостей и газов, а также законы массопереноса без ошибок</p>	<p>требования, допускает грубые ошибки.</p>
		<p>уметь:</p>				
		<p>рассчитывать теплопроводность, теплоотдачу и теплопередачу при внешнем обтекании тел, течения в каналах (трубах), проточных частях теплообменников; проводить тепловой расчет теплообменных аппаратов</p>	<p>гидродинамические параметры потока жидкости (газа) при внешнем обтекании и течения в каналах (трубах), проточных частях гидрогазодинамических машин; проводить гидравлический расчет трубопроводов, не допускает ошибок</p>	<p>рассчитывать гидродинамические параметры потока жидкости (газа) при внешнем обтекании и течения в каналах (трубах), проточных частях гидрогазодинамических машин; проводить гидравлический расчет трубопроводов,</p>	<p>в целом демонстрирует умение рассчитывать гидродинамические параметры потока жидкости (газа) при внешнем обтекании и течения в каналах (трубах), проточных частях гидрогазодинамических машин; проводит гидравлический расчет трубопроводов,</p>	<p>при решении типовых задач не демонстрирует сформированное умение рассчитывать гидродинамические параметры потока жидкости (газа) при внешнем обтекании и течения в каналах (трубах), проточных частях гидрогазодинамических машин; проводит гидравлический расчет трубопроводов,</p>

				допускает при этом ряд небольших ошибок	ески й расчет трубопроводов . Задания выполнены не в полном объеме.	мических машин; проводить гидравлически й расчет трубопроводов , допускает грубые ошибки
		владеть:				
		методиками проведения типовых тепловых расчетов любых видов теплообменных аппаратов	продемонстрированы навыки проведения типовых тепловых расчетов любых видов теплообменных аппаратов , без ошибок и недочетов	продемонстрированы базовые навыки проведения типовых тепловых расчетов любых видов теплообменных аппаратов , допущен ряд мелких ошибок	имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач, много ошибок	не продемонстрированы базовые навыки, допущены грубые ошибки
		знать:				
	ПК -3.2	основные законы преобразования энергии и тепломассообмена; качественные характеристики переноса теплоты; условия однозначности или краевые условия теплопроводности; пути интенсификации и теплопередачи;	основные законы преобразования энергии и тепломассообмена; качественные характеристики переноса теплоты; условия однозначности или краевые условия теплопро	основные законы преобразования энергии и тепломассообмена; качественные характеристики переноса теплоты; условия однозначности или краевые условия теплопро	плохо знает основные законы преобразования энергии и тепломассообмена; качественные характеристики переноса теплоты; условия однозначности или краевые	уровень знаний ниже минимального требования, допускает грубые ошибки

		приближенные методы решения задач теплопроводности; основы процесса теплообмена излучением.	водности; пути интенсификации теплопередачи; приближенные методы решения задач теплопроводности; основы процесса теплообмена излучением без ошибок	водности; пути интенсификации теплопередачи; приближенные методы решения задач теплопроводности; основы процесса теплообмена излучением, при ответе может допустить несколько негрубых ошибок	условия теплопроводности; пути интенсификации теплопередачи; приближенные методы решения задач теплопроводности; основы процесса теплообмена излучением	
		уметь:				
		применять основные законы и уравнения теплообмена для выполнения технических расчетов; пользоваться термодинамическими схемами, диаграммами, графиками и таблицами теплофизических свойств веществ и газов проводить термодинамический анализ процессов; определять теплопроводность при стационарных	Демонстрирует умение применять основные законы и уравнения теплообмена для выполнения технических расчетов; пользоваться термодинамическими схемами, диаграммами, графиками	Демонстрирует умение применять основные законы и уравнения теплообмена для выполнения технических расчетов; пользоваться термодинамическими схемами, диаграммами, графиками	В целом демонстрирует умение применять основные законы и уравнения теплообмена для выполнения технических расчетов; пользоваться термодинамическими схемами, диаграммами,	при решении задач не демонстрирует умение применять основные законы и уравнения теплообмена для выполнения технических расчетов; пользоваться термодинамическими схемами,

		<p>условиях, определять теплопроводность однослойной, многослойной, плоской цилиндрической и сферической стенок при граничных условиях 1 рода; проводить термодинамические расчеты рабочих процессов в теплосиловых установках и других теплотехнических устройствах, применяемых в отрасли.</p>	<p>и и таблицам и теплофизических свойств веществ и газов проводит термодинамические анализы процессов; определяют теплопроводность при стационарных условиях, определяют теплопроводность однослойной, многослойной, плоской цилиндрической и сферической стенок при граничных условиях 1 рода; проводят термодинамические расчеты рабочих процессов в теплосиловых</p>	<p>и и таблицам и теплофизических свойств веществ и газов проводит термодинамические анализы процессов; определяют теплопроводность при стационарных условиях, определяют теплопроводность однослойной, многослойной, плоской цилиндрической и сферической стенок при граничных условиях 1 рода; проводят термодинамические расчеты рабочих процессов в теплосиловых</p>	<p>графикам и таблицам и теплофизических свойств веществ и газов проводит термодинамические анализы процессов; определяют теплопроводность при стационарных условиях, определяют теплопроводность однослойной, многослойной, плоской цилиндрической и сферической стенок при граничных условиях 1 рода; проводят термодинамические расчеты рабочих процессов в теплосило</p>	<p>диаграммами, графиками и таблицам и теплофизических свойств веществ и газов проводит термодинамические анализы процессов; допускает грубые ошибки</p>
--	--	--	--	--	--	--

			установка х и других теплотехн ических устройств ах, применяе мых в отрасли без ошибок	установка х и других теплотехн ических устройств ах, применяе мых в отрасли, при ответе может допустить несколько негрубых ошибок	вых установка х и других теплотехн ических устройств ах, применяе мых в отрасли. Задания выполнен ы не в полном объеме.	
		владеть;				
		владеть основами расчета процессов тепломассопер еноса в элементах теплотехническ ого и теплотехнологи ческ ого оборудования	продемон стрир ованы навыки расчета процессов тепломасс опереноса в элементах теплотехн ического и теплотехн ологическ ого оборудов ания, без ошибок и недочетов	продемон стрир ованы базовые навыки расчета процессов тепломасс опереноса в элементах теплотехн ического и теплотехн ологическ ого оборудов ания, допущен ряд мелких ошибок	имеется минималь ный набор навыков для решения стандартн ых задач, много ошибок	не продемон стрир ованы базовые навыки, допущен ы грубые ошибки
		знать:				
	ПК-3.3	современные средства измерений, обработки и анализа результатов, а также вычислительны е системы и наукоемкие	Знает современ ные средства измерени й, обработк и и анализа результат	Знает базовые современ ные средства измерени й, обработк и и анализа	Плохо знает современ ные средства измерени й, обработк и и анализа	уровень знаний ниже минимал ьного требован ия, допускае т грубые ошибки

		компьютерные технологии для решения конкретных задач технической физики	ов, а также вычислительные системы и наукоемкие компьютерные технологии и для решения конкретных задач технической физики без ошибок	результатов, а также вычислительные системы и наукоемкие компьютерные технологии и для решения конкретных задач технической физики, может допустить несколько негрубых ошибок	результатов, а также вычислительные системы и наукоемкие компьютерные технологии и для решения конкретных задач технической физики	
		Уметь:				
		Пользоваться современными средствами измерений, обработки и анализа результатов, а также вычислительными системами и наукоемкими компьютерными технологиями для решения конкретных задач технической физики	Умеет применять современные средства измерения, обработки и анализа результатов, а также вычислительные системы и наукоемкие компьютерные технологии и для решения конкретных задач технической физики	Умеет применять современные средства измерения, обработки и анализа результатов, а также вычислительные системы и наукоемкие компьютерные технологии и для решения конкретных задач технической физики	в целом демонстрирует умение применять современные средства измерения, обработки и анализа результатов, а также вычислительные системы и наукоемкие компьютерные технологии и для решения конкретных задач технической физики	Не демонстрирует умение применять современные средства измерения, обработки и анализа результатов, а также вычислительные системы и наукоемкие компьютерные технологии и для решения конкретных задач технической физики

			физики без ошибок	физики, при ответе может допустить несколько негрубых ошибок	ых задач технической физики. Задания выполнены не в полном объеме.	конкретных задач технической	
		Владеть:					
		современными средствами измерений, обработки и анализа результатов, а также вычислительными системами и наукоемкими компьютерными технологиями для решения конкретных задач технической физики	Владеет современными средствами измерения, обработкой и анализа результатов, а также вычислительными системами и наукоемкими компьютерными технологиями для решения конкретных задач технической физики без ошибок и недочетов	Продемонстрированы базовые навыки применения современных средств измерения, обработкой и анализа результатов, а также вычислительными системами и наукоемкими компьютерными технологиями для решения конкретных задач технической физики, допущен ряд мелких ошибок	имеется минимальный набор навыков для использования современных средств измерения и обработки, анализа результатов, а также вычислительными системами и наукоемкими компьютерными технологиями для решения конкретных задач технической физики, много ошибок	не продемонстрированы базовые навыки, допущены грубые ошибки	

### 3. Перечень оценочных средств

Краткая характеристика оценочных средств, используемых при текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося по дисциплине:

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Описание оценочного средства
Тест (Тест)	Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося	Комплект тестовых заданий
Практическое задание (ПЗ)	Средство оценки умения применять полученные теоретические знания в практической ситуации. Задание направлено на оценивание компетенций по дисциплине, содержит четкую инструкцию по выполнению или алгоритм действий	Комплект задач и заданий
Курсовой проект (КП), курсовая работа (КР)	Конечный продукт, получаемый в результате планирования и выполнения комплекса учебных и исследовательских заданий. Позволяет оценить умения обучающихся самостоятельно конструировать свои знания в процессе решения практических задач и проблем, ориентироваться в информационном пространстве и уровень сформированности аналитических, исследовательских навыков, навыков практического и творческого мышления. Может выполняться в индивидуальном порядке или группой обучающихся	Темы проектов

#### 4. Перечень контрольных заданий или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины

##### Для текущего контроля ТК1:

Проверяемая компетенция: ПК-3.1. ПК-3.2.

#### Тест

1. Теплопроводность – это:

- а) процесс распространения тепловой энергии при непосредственном соприкосновении отдельных частиц тела, имеющих разные температуры;
- б) перенос тепловой энергии при перемещении объёмов жидкости или газа;
- в) распространение тепловой энергии с помощью электромагнитных волн;
- г) передача теплоты от горячей жидкости к холодной через разделяющую их стенку.

2. Единицы измерения коэффициента теплопроводности:

- а) Вт/ м град;
- б) м °С/ Вт<sup>2</sup>;
- в) м/ Вт;
- г) м/ °С.

3. Одинаковые единицы измерения имеют следующие коэффициенты:

- а) теплопроводности и теплоотдачи;
  - б) теплоотдачи и теплопередачи;
  - в) теплопроводности и теплопередачи;
  - г) температуропроводности и теплопередачи.
4. Процессы нестационарной теплопроводности характеризует критерий:
- а) Нуссельта;
  - б) Фурье;
  - в) Грасгофа;
  - г) Прандтля.
5. При поглощении электромагнитных волн другими телами они превращаются:
- а) в солнечную энергию;
  - б) в тепловую энергию;
  - в) в лучистую энергию;
  - г) ни во что не превращаются.
6. График распределения температур для цилиндрической стенки представляет собой:
- а) логарифмическую кривую;
  - б) прямую линию;
  - в) гиперболу;
  - г) экспоненту.
7. Термоэлектрический пирометр состоит из:
- а) потенциометра;
  - б) термопар и потенциометра;
  - в) холодного спая;
  - г) горячего спая.
8. Если горячая и холодная жидкости в теплообменном аппарате движутся параллельно и в одном направлении, то такая схема движения теплоносителей называется:
- а) противоток;
  - б) перекрестный ток;
  - в) прямоток;
  - г) параллельный ток.
9. Процесс теплопередачи через стенку включает в себя:
- а) теплоотдачу от греющей среды к стенке;
  - б) теплоотдачу от греющей среды к стенке и теплопроводность через стенку;
  - в) теплоотдачу от греющей среды к стенке, теплопроводность через стенку и теплоотдачу от стенки к нагреваемой среде;
  - г) теплопроводность через стенку и теплоотдачу от стенки к нагреваемой среде.
10. Возрастание температуры по нормали характеризуется:
- а) вектором температуры;
  - б) градиентом температуры;
  - в) единичным вектором;
  - г) проекцией вектора на ось.

11. При одинаковых условиях коэффициент теплоотдачи от труб шахматного пучка:
- а) меньше, чем от труб коридорного пучка;
  - б) больше, чем от труб коридорного пучка;
  - в) на порядок меньше, чем от труб коридорного пучка;
  - г) равен коэффициенту теплоотдачи от труб коридорного пучка.
12. Нестационарными процессами теплопроводности называют такие процессы, когда:
- а) температура во времени не меняется;
  - б) с течением времени температура изменяется;
  - в) давление с течением времени не меняется;
  - г) относительная влажность с течением времени изменяется.
13. При ламинарном течении перенос теплоты осуществляется путем:
- а) теплопроводности;
  - б) теплоотдачи;
  - в) теплопередачи;
  - г) конвекции.
14. 1 Ватт численно равен:
- а) 1 Дж/с;
  - б) 10 Дж/с;
  - в) 100 Дж/с;
  - г) 1000 Дж/с.
15. Абсолютно черные тела – это тела, способные:
- а) поглощать полностью тепловые лучи;
  - б) отражать тепловые лучи;
  - в) излучать энергию.
16. Материал с каким коэффициентом теплопроводности является теплоизоляционным:
- а) 0,15 Вт/м град;
  - б) 10 Вт/м град;
  - в) 40 Вт/м град;
  - г) 100 Вт/м град.
17. Коэффициент теплопередачи имеет большее значение при:
- а) прямотоке;
  - б) противотоке;
  - в) перекрестном токе;
  - г) не зависит от схемы движения.
18. Поверхность, необходимая для передачи теплового потока  $Q$  от горячего теплоносителя к холодному, определяется из:
- а) уравнения Ньютона-Рихмана;
  - б) уравнения теплового баланса;
  - в) уравнения Фурье;
  - г) уравнения теплопередачи.

### **Практическая работа 1. Теплопроводность плоской стенки**

## Цель работы

- Изучить закон Фурье. Научиться находить теплопроводность при стационарном режиме, а также теплопроводность в плоской и цилиндрической стенке.

## Задачи для решения на занятии

1. Определить термическое сопротивление теплопроводности  $R_t$  и толщину  $\delta$  плоской однослойной стенки, если при разности температур ее поверхностей через нее проходит стационарный тепловой поток плотностью  $q=3$  кВт/м<sup>2</sup>. Коэффициент теплопроводности стенки  $\lambda=2$  Вт/(м·К).
  - а)  $R_t=0,025$  (м<sup>2</sup> К)/Вт;  $\delta=0,05$  м. б)  $R_t=0,25$  (м<sup>2</sup> К)/Вт;  $\delta=0,05$  м.
  - в)  $R_t=0,025$  (м<sup>2</sup> К)/Вт;  $\delta=0,15$  м. г)  $R_t=0,06$  (м<sup>2</sup> К)/Вт;  $\delta=0,03$  м.
2. Плоская стенка толщиной  $\delta=50$  мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda=2$  Вт/(м·К) пропускает стационарный тепловой поток, имеющий поверхностную плотность  $q=3$  кВт/м<sup>2</sup>. Температура тепловоспринимающей поверхности стенки  $T_{w1}=100$  °С. Определить термическое сопротивление теплопроводности стенки  $R_t$  и температуру теплоотдающей поверхности  $T_{w2}$ .
  - а)  $R_t=0,025$  (м<sup>2</sup> К)/Вт;  $T_{w2}=25$  °С. б)  $R_t=0,225$  (м<sup>2</sup> К)/Вт;  $T_{w2}=55$  °С.
  - в)  $R_t=0,005$  (м<sup>2</sup> К)/Вт;  $T_{w2}=105$  °С. г)  $R_t=0,069$  (м<sup>2</sup> К)/Вт;  $T_{w2}=2$  °С.
3. Плоская стенка состоит из трёх слоев толщиной  $\delta_1=100$  мм,  $\delta_2=80$  мм и  $\delta_3=50$  мм, коэффициенты теплопроводности слоев соответственно равны  $\lambda_1=2$  Вт/(м·К),  $\lambda_2=8$  Вт/(м·К) и  $\lambda_3=10$  Вт/(м·К). Второй слой имеет температуры поверхностей  $T_{1-2}=120$  °С и  $T_{2-3}=45$  °С. Определить температуры наружных поверхностей  $T_{w1}$  и  $T_{w2}$ .
  - а)  $T_{w1}=495$  °С  $T_{w2}=7,5$  °С. б)  $T_{w1}=795$  °С  $T_{w2}=7,5$  °С. в)  $T_{w1}=795$  °С  $T_{w2}=10,5$  °С. г)  $T_{w1}=495$  °С  $T_{w2}=10,5$  °С.
4. Нагреватель, выполненный из трубки диаметром  $d=25$  мм и длиной  $l=0,5$  м, погружен вертикально в бак с водой, имеющей температуру  $T_w=20$  °С. Определить количество теплоты, передаваемое нагревателем в единицу времени, считая температуру его поверхности постоянной по всей длине и равной  $T_w=55,5$  °С.
  - а)  $Q=1231$  Вт. б)  $Q=1931$  Вт. в)  $Q=231$  Вт. г)  $Q=2500$  Вт.
5. По трубе  $d=60$  мм протекает воздух со скоростью  $w=5$  м/с. Определить значение среднего коэффициента теплоотдачи, если средняя температура воздуха  $T_f=100$  °С.
  - а)  $\alpha=18,8$  Вт/(м<sup>2</sup> К). б)  $\alpha=38,8$  Вт/(м<sup>2</sup> К). в)  $\alpha=8,8$  Вт/(м<sup>2</sup> К). г)  $\alpha=28,8$  Вт/(м<sup>2</sup> К).

## Задачи для самостоятельного решения

1. На наружной поверхности горизонтальной трубы диаметром  $d=20$  мм и длиной  $l=2$  м конденсируется сухой насыщенный водяной пар при давлении  $p_n=1,013 \cdot 10^5$ . Температура поверхности трубы  $T_w=94,5$  °С. Определить средний коэффициент теплоотдачи от пара к трубе и количество пара  $G$ , которое конденсируется на поверхности трубы.
  - а)  $\alpha=15550$  Вт/(м<sup>2</sup> К),  $G=4,7 \cdot 10^{-3}$  кг/с. б)  $\alpha=17550$  Вт/(м<sup>2</sup> К),  $G=41,7 \cdot 10^{-3}$  кг/с. в)  $\alpha=1550$  Вт/(м<sup>2</sup> К),  $G=28,7 \cdot 10^{-3}$  кг/с. г)  $\alpha=10550$  Вт/(м<sup>2</sup> К),  $G=2,7 \cdot 10^{-3}$  кг/с.

2. Определить коэффициент теплоотдачи и температуру поверхности нагрева при пузырьковом режиме кипения в большом объеме. Давление воды 1 МПа, а плотность теплового потока  $q=0,4 \text{ МВт/м}^2$ .
- а)  $\alpha=35300 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$ ,  $T_w=191,2 \text{ }^\circ\text{С}$ . б)  $\alpha=55300 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$ ,  $T_w=199,2 \text{ }^\circ\text{С}$ . в)  $\alpha=30000 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$ ,  $T_w=91,2 \text{ }^\circ\text{С}$ . г)  $\alpha=35900 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$ ,  $T_w=194,2 \text{ }^\circ\text{С}$ .
3. На горизонтальной трубе диаметром 20 мм происходит пленочное кипение воды при давлении 0,27 МПа. Температура поверхности  $140 \text{ }^\circ\text{С}$ . Рассчитать коэффициент теплоотдачи от стенки к воде. а)  $q=974 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$ . б)  $q=2974 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$ . в)  $q=3974 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$ . г)  $q=1974 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$ .
4. Определить приведенную степень черноты системы, состоящей из двух труб, если одна труба с наружным диаметром  $d_1=80 \text{ мм}$  находится внутри другой с внутренним диаметром  $d_2=200 \text{ мм}$ . Степень черноты труб одинакова и равна 0,65. а)  $\epsilon_{пр}=0,570$ . б)  $\epsilon_{пр}=0,500$ . в)  $\epsilon_{пр}=0,510$ . г)  $\epsilon_{пр}=0,675$ .
5. Определить плотность результирующего теплового потока при теплообмене излучением двух плоских поверхностей, если температура одной поверхности  $800 \text{ }^\circ\text{С}$ , ее степень черноты 0,8 и температура другой поверхности  $600 \text{ }^\circ\text{С}$ , а ее степень черноты 0,4.
- а)  $q_{w2}=15354,7 \text{ Вт/м}^2$  б)  $q_{w2}=1554,5 \text{ Вт/м}^2$  . в)  $q_{w2}=25354,0 \text{ Вт/м}^2$  . г)  $q_{w2}=15379,2 \text{ Вт/м}^2$  .

### Вопросы к самостоятельной работе

1. Математическое описание температурного поля.
2. Математическое описание температурного поля для стационарного режима.
3. Методы измерения температуры. Термопара. Пирометры.
4. Плотность теплового потока  $q$ . Формула Фурье.
5. Какую размерность имеет полный тепловой поток  $Q$ ?
6. Характеристики коэффициента теплопроводности  $\lambda$ .
7. Коэффициенты теплопроводности различных материалов.
8. Что представляет собой термическое сопротивление плоской стенки.
9. Какой вид имеет уравнение теплопроводности для однослойной цилиндрической стенки.
10. Каким выражением определяется плотность теплового потока передаваемого через стенку за счет теплопроводности для многослойной стенки, многослойного цилиндра, шара.
11. Как меняется значение коэффициента теплопроводности воды с увеличением температуры.
12. Вывод дифференциального уравнения теплопроводности.
13. Что такое тепловой пограничный слой.
14. Вывод дифференциального уравнения Навье-Стокса.
15. Что такое гидродинамический пограничный слой.
16. Вывод дифференциального уравнения сплошности.
17. Какими способами можно задавать граничные условия на внешних поверхностях тела для любого момента времени.
18. Коэффициент температуропроводности  $a$ .

**Для текущего контроля ТК2:**  
Проверяемая компетенция: ПК-3.2, ОПК-3.3

**Тесты**

1. В условиях однозначности взаимодействие тела с окружающей средой на его границах характеризуют

- геометрические условия
- начальные условия
- граничные условия
- физические условия

2. В случае теплоизолированной поверхности тела имеют место граничные условия

- I рода
- II рода
- III рода

3. Понятие субстанциальной производной используется в уравнениях

- для твердого тела
- для покоящейся жидкости
- для движущейся жидкости
- для вакуума

4. Понятие субстанциальной производной используется в уравнениях для ...жидкости

5. В случае теплоизолированной поверхности тела имеют место граничные условия ... рода

6. Единицей измерения мощности  $q_v$  внутренних распределенных источников теплоты является

$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$

$\frac{\text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{К}}$

$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^3}$

$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$

$$\square \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

7. Уравнение стационарной теплопроводности в твердом теле имеет вид

$$\square \frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2 t$$

$$\square \frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2 t$$

$$\checkmark \nabla^2 t = 0$$

8. Уравнение стационарной теплопроводности для двумерных задач

$$\square \frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right)$$

$$\checkmark \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = 0$$

$$\square \frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right)$$

$$\square \frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}$$

9. Уравнения нестационарной теплопроводности в твердом теле

$$\checkmark \frac{Dt}{d\tau} = a \cdot \nabla^2 t$$

$$\square \nabla^2 t = 0$$

$$\checkmark \frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right)$$

$$\checkmark \frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2 t$$

$$\square \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0$$

10. В уравнении нестационарной теплопроводности  $\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2 t$  символ  $\nabla^2 t$

обозначает

$$\square \left( \frac{\partial t}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial t}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial t}{\partial z} \right)^2$$

$\left(\frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial t}{\partial y} + \frac{\partial t}{\partial z}\right)^2$

$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}$

$(\text{grad } t)^2$

11. В уравнении теплопроводности  $\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2 t$  символ  $a$  обозначает

- ускорение
- коэффициент теплопроводности
- коэффициент температуропроводности
- коэффициент теплоотдачи
- коэффициент теплопередачи

12. Процесс теплопроводности является нестационарным, если температуры постоянны

- постоянны
- различны в разных частях тела
- изменяются со временем
- не меняются со временем

13. Единица измерения коэффициента температуропроводности

$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$

$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$

$\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$

$\frac{\text{м}}{\text{с}}$

$\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$

14. Процесс охлаждения тела является

- стационарным
- нестационарным
- установившимся

15. Процесс нагревания тела является

- стационарным
- нестационарным
- установившимся

16. В уравнении нестационарной теплопроводности  $\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2 t$  символ  $\nabla^2$  обозначает

- оператор Лапласа
- оператор Пуассона
- производную
- квадрат градиента
- интеграл

17. В уравнении нестационарной теплопроводности  $\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2 t$  символ  $a$  обозначает

- коэффициент теплопроводности
- коэффициент теплоемкости
- коэффициент температуропроводности
- удельную теплоемкость
- плотность

18. В уравнении нестационарной теплопроводности  $\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2 t$  символ  $\nabla^2$  обозначает ... Лапласа

19. Изменение во времени температуры охлаждающегося тела в регулярном режиме описывается

- экспонентой
- косинусоидой
- гиперболой
- функцией Бесселя
- параболой
- цепной линией

20. На стадии неупорядоченного охлаждения распределение избыточной температуры внутри произвольного тела представляется в виде

$\vartheta(x, y, z, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot U_n(x, y, z) \cdot e^{-m_n \cdot \tau}$

$\vartheta(x, y, z, \tau) = A \cdot U(x, y, z) \cdot e^{-m\tau}$

$\vartheta = \vartheta_0$

$\vartheta = 0$

## Практическая работа 2. Конвективный теплообмен

Цель работы

- Изучить теплоотдачу при кипении и конденсации. Уравнения теплового подобия. Изучить моделирование и критериальные уравнения.

Задачи для решения на занятии

1. На наружной поверхности горизонтальной трубы диаметром  $d = 20$  мм и длиной  $l = 2$  м конденсируется сухой насыщенный водяной пар при давлении  $p_n = 1,013 \cdot 10^5$ . Температура поверхности трубы  $T_w = 94,5$  °С. Определить средний коэффициент теплоотдачи от пара к трубе и количество пара  $G$ , которое конденсируется на поверхности трубы.

а)  $\alpha = 15550$  Вт/(м<sup>2</sup> К),  $G = 4,7 \cdot 10^{-3}$  кг/с. б)  $\alpha = 17550$  Вт/(м<sup>2</sup> К),  $G = 41,7 \cdot 10^{-3}$  кг/с. в)  $\alpha = 1550$  Вт/(м<sup>2</sup> К),  $G = 28,7 \cdot 10^{-3}$  кг/с. г)  $\alpha = 10550$  Вт/(м<sup>2</sup> К),  $G = 2,7 \cdot 10^{-3}$  кг/с.

2. Определить коэффициент теплоотдачи и температуру поверхности нагрева при пузырьковом режиме кипения в большом объеме. Давление воды 1 МПа, а плотность теплового потока  $q = 0,4$  МВт/м<sup>2</sup>.

а)  $\alpha = 35300$  Вт/(м<sup>2</sup> К),  $T_w = 191,2$  °С. б)  $\alpha = 55300$  Вт/(м<sup>2</sup> К),  $T_w = 199,2$  °С. в)  $\alpha = 30000$  Вт/(м<sup>2</sup> К),  $T_w = 91,2$  °С. г)  $\alpha = 35900$  Вт/(м<sup>2</sup> К),  $T_w = 194,2$  °С.

3. На горизонтальной трубе диаметром 20 мм происходит пленочное кипение воды при давлении 0,27 МПа. Температура поверхности 140 °С. Рассчитать коэффициент теплоотдачи от стенки к воде. а)  $q = 974$  Вт/(м<sup>2</sup> К). б)  $q = 2974$  Вт/(м<sup>2</sup> К). в)  $q = 3974$  Вт/(м<sup>2</sup> К). г)  $q = 1974$  Вт/(м<sup>2</sup> К).

4. Определить приведенную степень черноты системы, состоящей из двух труб, если одна труба с наружным диаметром  $d_1 = 80$  мм находится внутри другой с внутренним диаметром  $d_2 = 200$  мм. Степень черноты труб одинакова и равна 0,65. а)  $\varepsilon_{пр} = 0,570$ . б)  $\varepsilon_{пр} = 0,500$ . в)  $\varepsilon_{пр} = 0,510$ . г)  $\varepsilon_{пр} = 0,675$ .

5. Определить плотность результирующего теплового потока при теплообмене излучением двух плоских поверхностей, если температура одной поверхности 800 °С, ее степень черноты 0,8 и температура другой поверхности 600 °С, а ее степень черноты 0,4.

а)  $q_{w2} = 15354,7$  Вт/м<sup>2</sup> б)  $q_{w2} = 1554,5$  Вт/м<sup>2</sup> . в)  $q_{w2} = 25354,0$  Вт/м<sup>2</sup> . г)  $q_{w2} = 15379,2$  Вт/м<sup>2</sup> .

### Вопросы к самостоятельной работе

19. Конвективный теплообмен.

20. Причины конвективного теплообмена.

21. От каких факторов зависит коэффициент теплоотдачи.

22. Физический смысл коэффициента теплоотдачи  $\alpha$ .

23. Полный тепловой поток (закон Ньютона-Рихмана) в процессах конвективной теплоотдачи.

24. При каком режиме течения теплообмен протекает интенсивнее.

25. Теория подобия тепловых процессов.

26. Критерии подобия Рейнольдса, Грасгофа, Прандтля, Релея.

27. Каким выражением определяется критерий Нуссельта для различных условий теплоотдачи.

28. Погрешность расчёта коэффициента теплоотдачи на основе критериальных уравнений. 29. Коэффициент теплоотдачи относительно горизонтальной поверхности. Формула Михеева.

30. Коэффициент теплоотдачи внутри щелевидных тел.

31. Виды кипения.

32. Определение кризисов кипения в большом объеме.

33. При кипении жидкости в каких процессах наблюдается наибольший коэффициент теплоотдачи  $\alpha$ ?

34. Что происходит с теплопроводностью при увлажнении материалов.

**Для текущего контроля ТКЗ:**  
Проверяемая компетенция: ПК-3.1. ПК-3.2.

### Тест

**1.** Размерность коэффициента теплопередачи имеет вид

- 1). Вт/м·К;
- 2). Дж/кг·К;
- 3). Вт/м<sup>2</sup>·К;
- 4). Дж/м<sup>2</sup>·К.

**2** Коэффициент теплопередачи

- 1). характеризует перенос теплоты от жидкости к стенке;
- 2). определяет интенсивность переноса теплоты от горячего теплоносителя к холодному через разделяющую их твердую стенку;
- 3). описывает перенос теплоты внутри тела;
- 4). показывает способность теплоносителя аккумулировать теплоту.

**3.** Полный тепловой поток  $Q$  при теплопередаче определяется из выражения

- 1).  $\alpha F(t_{ст} - t_{ж})$ ;
- 2).  $\varepsilon C_o F T^4$ ;
- 3).  $\lambda F \Delta t$ .
- 4).  $\kappa F(t_{ж1} - t_{ж2})$ ;

**4.** Укажите уравнения теплового баланса теплообменного аппарата

- 1).  $Q_1 = Q_2 + \Delta Q$ ;
- 2).  $Q = cF(t_1 - t_2)$ ;
- 3).  $Q = \kappa F \Delta t$ ;
- 4).  $Q_2 = \eta Q_1$

**5.** При какой схеме движения теплоносителей требуется меньшая поверхность теплообмена

- 1). прямоток;
- 2). противоток;
- 3). перекрестный ток;
- 4). теплосъем не зависит от схемы движения.

**6.** Математическое описание температурного поля имеет вид

- 1).  $t = f(y, z, \tau)$ ;
- 2).  $t = f(x, y, z)$ ;
- 3).  $t = f(x, y)$ ;
- 4).  $t = f(x, y, z, \tau)$ .

**7.** Стационарный режим течения это

- 1). установившийся
- 2). пульсирующий;
- 3). непрерывный;
- 4). переходной.

**8.** Математическое описание температурного поля для стационарного режима течения имеет вид

- 1).  $t = f(x, y, \tau)$ ;
- 2).  $t = f(x, \tau)$ ;
- 3).  $t = f(x, y, z, \tau)$ ;
- 4).  $t = f(x, y, z, \tau)$ .

**9.** Плотность теплового потока  $q$  это

- 1). количество теплоты, проходящей за 1 сек. через 1 кв.м изотермической поверхности тела;
- 2). количество теплоты, проходящей через 1 кв.м изотермической поверхности тела;
- 3). общее количество теплоты, проходящей через 1 кв.м площади;
- 4). количество теплоты, проходящей за 1 сек.

**10.** Закон Фурье имеет вид

- 1).  $q = -\lambda \text{ grad } t$ ;
- 2).  $q = -\text{grad } t$ ;
- 3).  $q = -\lambda t$ ;
- 4).  $q = F \text{ grad } t$ .

**11.** При увлажнении материалов их теплопроводность

- 1). не изменяется;
- 2). уменьшается;
- 3). увеличивается;
- 4). зависит от материала.

**12.** Граничные условия на внешних поверхностях тела для любого момента времени можно задавать способами

- 1). распределением температуры на поверхности тела;
- 2). распределением плотностей теплового потока;
- 3). задавая температуру окружающей среды и закон теплообмена...;
- 4). все вышеперечисленные.

**13.** Закон Ньютона-Рихмана имеет вид

- 1).  $q = \alpha (t_c - t_{ж})$ ;
- 2).  $q = T (t_c - t)$ ;
- 3).  $q = (t_c - t_{ж})$ ;
- 4).  $q = T (t_c - t_{ж})$ .

**14.** Общее количество теплоты  $Q$ , Дж, передаваемое через поверхность стенки площадью  $F$  за время  $\tau$ , равно

- 1).  $Q = q$  ;
- 2).  $Q = F$  ;
- 3).  $Q = q F$  .
- 4).  $Q = q C$  ;

**15.** Теплопередача это

- 1). теплообмен между двумя средами ;
- 2). смешение сред;
- 3). теплообмен между стенкой и жидкостью;
- 4). теплообмен между двумя средами через разделяющую их стенку.

### Практическая работа 3. Теплопередача

#### Цель работы

- Изучить значение коэффициент теплопередачи. Формулы расчета термического сопротивления теплопередачи. Ознакомиться с регулированием интенсивности теплопередачи.

#### Задачи для решения на занятии

1. Стенка наружного ограждения помещения толщиной  $\delta=0,50$  м изготовлена из силикатного кирпича ( $\lambda=0,8$  Вт/м.К). Температура воздуха в помещении -  $t_{ж1}$ , температура внутренней поверхности стенки -  $t_{c1}$ . Определить температуру наружной поверхности стенки  $t_{c2}$  и потери теплоты за сутки через эту стенку площадью 100 м<sup>2</sup>. Коэффициент теплоотдачи от внутренней стороны стенки  $\alpha_1 = 8$  Вт/м<sup>2</sup>К.
2. Стенка рабочей камеры печи площадью 10 м<sup>2</sup> состоит из двух слоев. Первый слой – из шамотного кирпича толщиной  $\delta=0,3$  м, второй-той же толщины из диатомитового кирпича. Теплопроводности материалов линейно зависят от температуры и могут быть определены по формулам: для 1-го слоя  $\lambda_1 = 0,86+0,0006t$  для 2-го слоя  $\lambda_2 = 0,122+0,0003t$ . Определить потерю тепла за сутки, построить график изменения температуры по толщине стенки. Температура внутренней поверхности -  $t_{c1}$ , температура наружной поверхности с  $t_{c3}$ .
3. В нагревательной печи, где температура газов  $t_{ж1}$ , стенка площадью 50 м<sup>2</sup> сделана из трех слоев: диатомитового кирпича толщиной 70 мм, красного кирпича толщиной 250 мм и снаружи слоя изоляции толщиной  $\delta_{из}$ . Воздух в цехе имеет температуру  $t_{ж2}$ . Коэффициент теплоотдачи в печи от газов к стенке -  $\alpha_1$ , снаружи от изоляции к воздуху -  $\alpha_2$ . Определить коэффициент теплопередачи и термические сопротивления теплопередачи от газов к воздуху, суточные потери теплоты, температуры на поверхности всех слоев. Построить график изменения температуры в стенке.
4. Определить толщину слоя изоляции паропровода наружным диаметром  $d_2$ , если при температуре его поверхности  $t_{c2}$  наружная поверхность изоляции имеет температуру  $t_{c3} = 60^\circ\text{C}$ . Теплопроводность изоляции  $\lambda_2$ . Температура окружающего воздуха  $t_{ж2} = 20^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплоотдачи от изоляции к воздуху -  $\alpha_2$ .
5. Определить коэффициент теплопередачи от внутренней поверхности трубы кон денсатора паротурбинной установки к охлаждающей воде, количество передаваемой теплоты и длину трубки, если средняя по длине температура стенки  $t_{ст}$ , температура воды на входе  $t'_{ж}$ , а на выходе  $t_{ж}^{11}$ , средний диаметр трубки 16 мм, средняя скорость воды  $\omega$ .
6. Насыщенный водяной пар при давлении  $P$  конденсируется на вертикальной тру бе высотой  $h$ . Разность температур пара и поверхности трубы равна  $\Delta t$ . Рассчитать и по строить график изменения локального коэффициента теплоотдачи и толщины слоя кон денсата по длине трубы. Чему равно среднее значение коэффициента теплоотдачи?

7. Определить величину коэффициента теплоотдачи от поверхности кипятильника и величину теплового потока при пузырьковом режиме кипения воды при атмосферном давлении, если температура поверхности кипятильника  $t_c$ . Диаметр кипятильника  $d$ , длина  $l$ .

8. Стенка неэкранированной топочной камеры парового котла выполнена из пеношамота толщиной  $\delta_1$  мм, изоляционной прослойки из шлака толщиной  $\delta_2$  мм и слоя красного кирпича толщиной  $\delta_3$  мм. Температура на внутренней поверхности топочной камеры  $t_1$ , °С, а на наружной поверхности  $t_4$ , °С. Коэффициент теплопроводности пеношамота  $1,25$  Вт/(м·°К), изоляционной прослойки  $\lambda_2$ , Вт/(м·°К), а красного кирпича  $0,3$  Вт/(м·°К). Вычислить тепловые потери через  $1$  м<sup>2</sup> стенки топочной камеры и температуры  $t_2$  и  $t_3$  в плоскости соприкосновения слоев.

$\delta_1$ , мм	$\delta_2$ , мм	$t_1$ , °С	$\delta_3$ , мм	$t_4$ , °С	$\lambda_2$ , Вт/(м·°К)
210	110	900	290	47	0,18

9. Определить толщину однотонной стенки  $\delta$ . Известно, что  $t_{w1}=10^\circ\text{C}$ ,  $t_{w2}=18^\circ\text{C}$ ,  $Q=260$  Вт, ширина и высота  $150$  и  $280$  мм соответственно,  $C_m=420$  Дж/(кг·°С),  $\rho=720$  кг/м<sup>3</sup>,  $a=5,1 \cdot 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с.

10. Найти тепловой поток, который проходит через стенку (коэффициент теплопроводности принять равным  $160$  Вт/(м·°С)), толщиной  $7$  мм. Площадь поверхности стенки  $F = 1,2$  м<sup>2</sup>. Температура внутренней поверхности стенки равна  $70$  °С, внешней  $49$  °С. Учесть, что тепло проходит через стенку в течение  $1,5$  часа (Ответ:  $3111$  МДж).

### Вопросы к самостоятельной работе

35. Уравнение теплопередачи .
36. Размерность коэффициента теплопередачи.
37. Коэффициент теплопередачи.
38. Полный тепловой поток  $Q$  при теплопередаче.
39. Полное термическое сопротивление теплопередачи  $R$  через плоскую стенку.
40. Каким выражением определяется плотность теплового потока, отдаваемого жидкостью с температурой  $t_{ж1}$  поверхности стенки с температурой  $t_1$ .
41. Какой формулой определяется термическое сопротивление многослойной плоской стенки омываемой жидкостью.
42. Уравнение теплопередачи для цилиндрической стенки.
43. Какие методы применяются для интенсификации теплопередачи.
44. Для чего необходимо оребрение внешних поверхностей теплообмена.
45. Коэффициент оребрения  $\beta$ .
46. Чему численно равен линейный коэффициент теплопередачи  $kl$ .
47. Что обеспечивает тепловая изоляция.

48. По какой формуле определяется критический диаметр изоляции.
49. Какой вид имеет одномерное стационарное температурное поле.
50. Нестационарные процессы. Критерий Био.
51. В каком виде может быть представлено для нестационарных процессов конвективного теплообмена критериальное уравнение.

### **Для промежуточной аттестации:**

1. Основные понятия и определения – температурное поле, градиент, тепловой поток, плотность теплового потока ( $q, Q$ ), закон Фурье.
2. Уравнение теплопроводности, условия однозначности.
3. Теплопроводность в плоской стенке (граничные условия 1-ого рода).
4. Теплопередача через плоскую стенку (граничные условия 3-его рода).
5. Теплопроводность в цилиндрической стенке (граничные условия 1-ого рода).
6. Теплопередача через цилиндрическую стенку (граничные условия 3-его рода).
7. Шаровая стенка (граничные условия 1-ого и 3-его рода).
8. Термические сопротивления.
9. Критический диаметр изоляции.
10. Выбор тепловой изоляции по критическому диаметру.
11. Теплопередача через ребренную стенку. Коэффициент ребрения.
12. Нестационарная теплопроводность. Направляющая точка. Физический смысл  $Bi, Fo$ .
13. Нестационарная теплопроводность для неограниченной плоской стенки.
14. Нестационарная теплопроводность для бесконечно длинного цилиндра.
15. Нестационарная теплопроводность для шара.
16. Регулярный тепловой режим.
17. Уравнение энергии. Условия однозначности.
18. Уравнения движения. Условия однозначности.
19. Уравнение неразрывности. Условия однозначности.
20. Приведение дифференциальных уравнений к безразмерному виду.
21. Основные положения теории подобия. Теоремы подобия.
22. Физический смысл чисел подобия. Физический смысл отношения  $Pr_{ж}/Pr_{ст}$ .
23. Коэффициент теплоотдачи.
24. Пограничный слой.
25. Теплоотдача при обтекании плоской поверхности.
26. Теплообмен при течении жидкости в трубах.
27. Теплоотдача при поперечном обтекании одиночной трубы и пучков труб.
28. Теплоотдача при свободном движении.
29. Теплоотдача при кипении.

30. Теплоотдача при конденсации.
31. Теплообмен излучением. Основные понятия и определения ( $E$ ,  $Q$ ).
32. Законы излучения Планка и Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа.
33. Степень черноты. Закон Ламберта.
34. Теплообмен излучением между неограниченными плоскостями.
35. Теплообмен излучением между телом и его оболочкой.
36. Теплообмен излучением при наличии экранов.
37. Излучение газов и паров. Закон Бугера.
38. Расчет теплообмена между газовой средой и поверхностью.
39. Понятие о сложном теплообмене.
40. Теплообменные аппараты. Классификация. Тепловой расчет.

1. Плоская стенка коэффициент теплопроводности  $11,6 \text{ Вт/м}\times\text{град}$ , толщина  $0,005 \text{ м}$  омывается с одной стороны горячими газами с температурой  $2000^\circ\text{C}$ , а с другой стороны охлаждается водой с  $27^\circ\text{C}$ . Коэффициенты теплоотдачи от газа к стенке  $467 \text{ Вт/м}^2\times\text{град}$ , от стенки к воде  $3500 \text{ Вт/м}^2\times\text{град}$ . Определить удельный тепловой поток и температуры стенки  $t_{w1}$ ,  $t_{w2}$ .
2. Змеевики пароперегревателя выполнены из труб жаропрочной стали диаметром  $d_1/d_2=32/42 \text{ мм}$  с коэффициентом теплопроводности  $\text{Вт/м}\times\text{град}$ . Температура внешней поверхности трубы  $580^\circ\text{C}$ , внутренней  $450^\circ\text{C}$ . Вычислить удельный тепловой поток через стенку на единицу длины трубы.
3. По неизолированному трубопроводу диаметром  $170/185 \text{ мм}$ , проложенному на открытом воздухе, протекает вода со средней температурой  $95^\circ\text{C}$ , температура окружающего воздуха  $-18^\circ\text{C}$ . Определить потерю теплоты с  $1 \text{ м}$  длины трубопровода и температуры на внутренней и внешней поверхностях этого трубопровода, если коэффициент теплопроводности материала трубы  $58,15 \text{ Вт/м}\times\text{град}$ , коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы  $1395 \text{ Вт/м}\times\text{град}$  и от трубы к окружающему воздуху  $13,95 \text{ Вт/м}\times\text{град}$ .
4. По неизолированному трубопроводу диаметром  $170/185 \text{ мм}$ , проложенному на открытом воздухе, протекает вода со средней температурой  $95^\circ\text{C}$ , температура окружающего воздуха  $-18^\circ\text{C}$ . Определить потерю теплоты с  $1 \text{ м}$  длины трубопровода и температуры на внутренней и внешней поверхностях этого трубопровода, если коэффициент теплопроводности материала трубы  $58,15 \text{ Вт/м}\times\text{град}$ , коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы  $1395 \text{ Вт/м}\times\text{град}$ . Определить тепловые потери на  $1 \text{ м}$  длины трубопровода, а также температуры на внутренней и внешней поверхностях при условии, что трубопровод, покрыт слоем изоляции толщиной  $70 \text{ мм}$  с коэффициентом теплопроводности  $0,116 \text{ Вт/м}\times\text{град}$ , а коэффициент теплоотдачи поверхности изоляции к окружающей среде  $9,3 \text{ Вт/м}^2\times\text{град}$ .
5. Определить тепловой поток через кирпичную стенку толщиной  $250 \text{ мм}$ , покрытую слоем штукатурки толщиной  $50 \text{ мм}$ . Теплопроводность кирпича  $0,93 \text{ Вт/ м}\times\text{К}$ , а штукатурки  $0,093 \text{ Вт/ м}\times\text{К}$ . Температура воздуха внутри помещения  $18^\circ\text{C}$ , снаружи  $-25^\circ\text{C}$ . Коэффициенты теплоотдачи равны

соответственно  $8 \text{ Вт/ м}^2\cdot\text{К}$  и  $17,5 \text{ Вт/ м}^2\cdot\text{К}$ . Определить также температуру стенки с внутренней стороны

6. Определить потерю теплоты с поверхности  $1 \text{ м}$  неизолированного трубопровода горячего водоснабжения, если его внутренний диаметр  $76 \text{ мм}$ , толщина стенки  $3 \text{ мм}$  и коэффициент ее теплопроводности  $50 \text{ Вт/ м}\cdot\text{К}$ . Температура воды  $95^\circ\text{С}$ , наружная температура  $15^\circ\text{С}$ . Коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы  $5000 \text{ Вт/}(м^2\cdot\text{К})$  и от трубы к воздуху  $15 \text{ Вт/}(м^2\cdot\text{К})$ .
7. Паропровод диаметром  $150/160 \text{ мм}$  покрыт слоем тепловой изоляции толщиной  $100 \text{ мм}$ . Коэффициенты теплопроводности стенок трубы  $50 \text{ Вт/м}\cdot\text{град}$  и изоляции  $0,08 \text{ Вт/м}\cdot\text{град}$ . Температура на внутренней поверхности паропровода  $400^\circ\text{С}$  и на наружной поверхности изоляции  $50^\circ\text{С}$ . Найти тепловые потери с  $1 \text{ м}$  паропровода и температуру на границе соприкосновения паропровода и изоляции  $t_{w2}$ .
8. Определить температуры на поверхности соприкосновения слоев стенки  $t_{w2}$  камеры сгорания жидкостного ракетного двигателя и на внешней поверхности  $t_{w3}$ , если диаметр камеры  $d_1=190 \text{ мм}$ , толщина защитного покрытия  $d_n=1 \text{ мм}$  и его коэффициент теплопроводности  $1,15 \text{ Вт/м}\cdot\text{град}$ , а толщина основной стенки  $d_w=2 \text{ мм}$  и ее коэффициент теплопроводности  $372 \text{ Вт/м}\cdot\text{град}$ . Удельный тепловой поток  $407500 \text{ Вт/м}^2$ , температура на поверхности покрытия со стороны камеры  $1200^\circ\text{С}$ .
9. Определить температуру на внутренней поверхности паропровода  $200 \text{ мм}$ , изолированного слоем изоляции толщиной  $100 \text{ мм}$  с коэффициентом теплопроводности  $0,11 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ . Толщина стенки паропровода  $16 \text{ мм}$ . Температура пара  $250^\circ\text{С}$  и наружного воздуха  $30^\circ\text{С}$ . Принять коэффициенты со стороны пара  $100 \text{ Вт/ м}^2\cdot\text{К}$  и со стороны воздуха  $9,5 \text{ Вт/ м}^2\cdot\text{К}$ . Определить также линейную плотность теплового потока. Термическим сопротивлением стенки трубы пренебречь.
10. Стальной трубопровод с внутренним диаметром  $d_1$  и наружным  $d_2$  с коэффициентом теплопроводности  $50 \text{ Вт/}(м\cdot\text{К})$  покрыт слоем тепловой изоляции. Температура стенки внутри трубы равна  $t_{c1}$ , а температура наружной поверхности слоя изоляции  $t_{c3}$  должна составлять по санитарным нормам  $50^\circ\text{С}$ .

Определить необходимую толщину слоя тепловой изоляции из материала, указанного в табл. при условии, что потеря тепла с  $1 \text{ м}$  трубы не должны превышать  $q_l$ . Определить также температуру  $t_{c2}$  поверхности трубы, соприкасающейся со слоем изоляции. Коэффициент теплопроводности материала изоляции принять  $0,016 \text{ Вт/}(м\cdot\text{К})$ .

$d_1, \text{ мм}$	$d_2, \text{ мм}$	$q_l, \text{ Вт/м}$	$t_{c1}, ^\circ\text{С}$	Материал изоляции
106	114	680	610	асботермит