

Направление подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»  
Профиль «Энергообеспечение предприятий»  
РПД Б1.В.12 «Тепломассообмен»



**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
в г. Смоленске**

**УТВЕРЖДАЮ**

Зам. директора  
по учебно-методической работе  
филиала ФГБОУ ВО  
«НИУ «МЭИ» в г. Смоленске

  
В.В. Рожков  
« 03 » 05 2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Тепломассообмен**

(НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

**Направление подготовки (специальность): 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

**Профиль: «Энергообеспечение предприятий»**

**Уровень высшего образования: бакалавриат**

**Нормативный срок обучения: 4 года**

**Форма обучения: очная**

**Год набора: 2024**

**Смоленск**



## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Целью освоения дисциплины** является подготовка обучающихся к проектно-конструкторской деятельности по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, освоение основ теории тепло- и массообмена как базовой дисциплины для изучения дисциплин профессионального цикла, понимания процессов переноса теплоты и массы, протекающих в природе, в технологических процессах и технологических установках.

**Задачами дисциплины** является изучение понятийного аппарата дисциплины, основных теоретических положений и методов, привитие навыков применения теоретических знаний для решения практических задач.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Тепломассообмен» относится к части программы, формируемой участниками образовательных отношений.

Для изучения данной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, формируемые следующими базовыми дисциплинами:

Гидрогазодинамика;  
Техническая термодинамика.

Знания, умения и навыки, полученные студентами в процессе изучения данной дисциплины, являются базовыми для изучения следующих дисциплин:

Моделирование процессов теплоэнергетики и теплотехники;  
Теория подобия и моделирования процессов теплоэнергетики и теплотехники;  
Источники и системы теплоснабжения. Часть 1: Источники производства тепла;  
Инженерные сети зданий и сооружений;

Источники и системы теплоснабжения. Часть 2: Системы теплоснабжения потребителей тепла;

Нагнетатели и тепловые двигатели;  
Котельные установки и парогенераторы;  
Тепломассообменное оборудование предприятий;  
Учет энергии в системах энергообеспечения предприятий.

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины направлено на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки:

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций**

Компетенция	Индикаторы достижения компетенций	Результаты обучения
ПК-1. Способен определять энергоэффективность теплотехнического оборудования в сфере профессиональной	ПК-1.1 Планирует и подготавливает типовые решения по определению мероприятий, повышающих энергоэффективность теплотехнического оборудования объектов теплоэнергетики и теп-	Знает: основные термины, определения и понятия применительно к мероприятиям по повышению энергоэффективности теплотехнического оборудования. Умеет: выбирать оборудование от-

деятельности	лотехники	вечающее требованиям энергоэф- фективности. Владеет: методиками планирования и подготовки типовых решений по проведению мероприятий, повы- шающих энергоэффективность теп- лотехнического оборудования.
	ПК-1.2 Выполняет типовые экспе- риментальные исследования сис- тем теплоэнергетики и теплотех- ники и их элементов по повыше- нию энергоэффективность теплотехнического оборудования	Знает: теплотехнические, гидравли- ческие и аэродинамические расчеты теплотехнического оборудования. Умеет: производить расчет основ- ных характеристик теплотехниче- ского оборудования с целью повы- шения его энергоэффективности. Владеет: навыками поиска инфор- мации о свойствах теплоносителей, используемых в энергоэффективном теплотехническом оборудовании.
ПК-5. Способен со- ставлять и оформ- лять типовую техни- ческую документа- цию при разработке проекта системы теп- лоэнергетики и теп- лотехники	ПК-5.1 Рассматривает задачу со- ставления и оформления типовой технической документации при разработке проекта системы теп- лоэнергетики и теплотехники с соблюдением существующих нормативов, стандартов (техниче- ских условий)	Знает: - основополагающие методы расче- та и проектирования теплообмена и массопереноса, их достоинства и недостатки.  Умеет: - анализировать научно- техническую литературу по тепло- массообмену; - выявлять достоинства и недостат- ки традиционных и современных методов и методик расчета и проек- тирования теплотехнических систем и оборудования.  Владеет: - навыками работы со специализиро- ванными отечественными и зару- бежными источниками научно- технической информации.
	ПК-5.2 Применяет навыки состав- ления и оформления типовой тех- нической документации при раз- работке проекта системы тепло- энергетики и теплотехники	Знает: - структуру и алгоритмы составле- ния проектных документов и отчет- тов по выполненным работам.  Умеет: - составлять отчеты, заявки, поясни- тельные записки по выполненным расчетным работам.

		Владеет: - навыками внедрения результатов исследований и практических теплотехнических разработок.
--	--	---

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### Структура дисциплины:

№	Индекс	Наименование	Семестр 3											Семестр 4											Итого за курс											Каф.	Семестр
			Контроль	Академических часов								з.е.	Неделя	Контроль	Академических часов								з.е.	Неделя	Контроль	Академических часов								з.е.	Неделя		
				Всего	Кон такт.	Лек	Лаб	Пр	КРП	СР	Конт роль				Всего	Кон такт.	Лек	Лаб	Пр	КРП	СР	Конт роль				Всего	Кон такт.	Лек	Лаб	Пр	КРП	СР	Конт роль				
10	Б1.В.12	Тепломассообмен												Эк РГР	180	66	34	16	16		78	36	5		Эк РГР	180	66	34	16	16		78	36	5		14	45

№	Индекс	Наименование	Семестр 5											Семестр 6											Итого за курс											Каф.	Семестр
			Контроль	Академических часов								з.е.	Неделя	Контроль	Академических часов								з.е.	Неделя	Контроль	Академических часов								з.е.	Неделя		
				Всего	Кон такт.	Лек	Лаб	Пр	КРП	СР	Конт роль				Всего	Кон такт.	Лек	Лаб	Пр	КРП	СР	Конт роль				Всего	Кон такт.	Лек	Лаб	Пр	КРП	СР	Конт роль				
10	Б1.В.12	Тепломассообмен	Эк КР	216	92	34	16	34	8	88	36	6												Эк КР	216	92	34	16	34	8	88	36	6		14	45	

#### ОБОЗНАЧЕНИЯ:

##### Виды промежуточной аттестации (виды контроля):

Экз - экзамен;

ЗаО - зачет с оценкой;

За – зачет;

##### Виды работ:

Контакт. – контактная работа обучающихся с преподавателем;

Лек. – лекционные занятия;

Лаб.– лабораторные работы;

Пр. – практические занятия;

КР(КП) – курсовая работа (курсовой проект);

РГР – расчетно-графическая работа (реферат);

СР – самостоятельная работа студентов;

з.е.– объем дисциплины в зачетных единицах.

**Содержание дисциплины:**

**5 семестр**

№	Наименование видов занятий и тематик, содержание
1	<p><b>лекционные занятия 17 шт. по 2 часа:</b></p> <p>1.1. Основы теории теплопроводности. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. 1.2. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности. 1.3. Теплопроводность при стационарном режиме. Теплопроводность плоской стенки. 1.4. Теплопроводность цилиндрической стенки. Критический диаметр цилиндрической стенки. 1.5. Передача теплоты через шаровую стенку. Обобщенный метод решения задач теплопроводности. 1.6. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенку. Коэффициент теплопередачи. 1.7. Теплопередача через ребренную стенку. 1.8. Теплопроводность при наличии внутренних источников теплоты. 1.9. Теплопроводность при нестационарном режиме. Процесс нагревания (охлаждения) тонкой пластины, цилиндра. 1.10. Регулярный режим нагревания и охлаждения тел. Численные методы решения задач теплопроводности. 1.11. Исследование процессов теплопроводности методом аналогий 1.12. Конвективный теплообмен: основные понятия и определения. Теплоотдача. Понятие гидродинамического и теплового пограничного слоя 1.13. Теплообмен при турбулентном и ламинарном течении. 1.14. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена: уравнение энергии, движения, сплошности. Условия однозначности. 1.15. Подобие и моделирование процессов конвективного теплообмена. Безразмерные числа подобия. Условия подобия. Уравнения подобия. 1.16. Обработка результатов измерения и расчета конвективного теплообмена. Местный и средний коэффициент теплоотдачи. Средняя по сечению температура жидкости. Получение и использование эмпирических формул. 1.17. Теплообмен при турбулентном и ламинарном режимах течения.</p>
2	<p><b>лабораторные работы 4 шт. по 4 часа:</b></p> <p>2.1. Измерение коэффициента теплопроводности теплоизоляционного материала. 2.2. Теплоотдача горизонтальной трубы при свободном движении воздуха. 2.3. Экспериментальное определение коэффициентов теплопроводности и температуропроводности методом регулярного режима. 2.4. Численный расчет температурного поля методом конечных разностей.</p>
3	<p><b>практические занятия 8 шт. по 2 часа:</b></p> <p>3.1. Теплопроводность многослойной плоской стенки (стационарный режим). 3.2. Теплопередача через плоскую стенку (стационарный режим). 3.3. Теплопроводность многослойной цилиндрической стенки (стационарный режим).</p>

	<p>3.4. Теплопередача через многослойную цилиндрическую стенку (стационарный режим).                  3.5. Теплообмен при оребренной поверхности.                  3.6. Теплообмен при наличии внутренних источников.                  3.7. Теплоотдача пластины, цилиндра при нестационарном режиме.                  3.8. Теплоотдача тел конечных размеров при нестационарном режиме.</p>
4	<p><b>расчетно-графическая работа :</b>                  Расчет процессов стационарной и нестационарной теплопроводности.</p>
5	<p><b>Самостоятельная работа студентов:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Тепловое взаимодействие потока жидкости с обтекаемой поверхностью твердого тела. Закон Ньютона-Рихмана. Критический диаметр тепловой изоляции. Выбор эффективной изоляции по её критическому диаметру. Оребрение поверхности нагрева как способ интенсификации процесса теплопередачи. Теплопередача через оребренную стенку. Коэффициент эффективности ребра. Итеративные и вариативные методы решения дифференциальных уравнений математической физики: метод конечных разностей и метод конечных элементов.</li> <li>2. Подготовка к выполнению и защите лабораторных работ</li> <li>3. Подготовка к практическим занятиям (изучение теоретического материала по теме)</li> <li>4. Выполнение расчетно-графической работы.</li> </ol>

### 7 семестр

№	Наименование видов занятий и тематик, содержание
1	<p><b>лекционные занятия 17 шт. по 2 часа:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Теплоотдача при свободном движении жидкости.</li> <li>1.2. Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности. Дифференциальные уравнения пограничного слоя.</li> <li>1.3. Теплоотдача при вынужденном течении жидкости в трубах. Особенности теплоотдачи в изогнутых трубах, трубах некруглого сечения и шероховатых.</li> <li>1.4. Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании труб.</li> <li>1.5. Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании пучков труб</li> <li>1.6. Виды конденсации неподвижного пара. Ламинарное и турбулентное течение пленки на вертикальной стенке.</li> <li>1.7. Теплообмен при пленочной конденсации движущегося пара внутри труб и каналов. Теплообмен при конденсации на горизонтальных, наклонных трубах и пучках труб.</li> <li>1.8. Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкостей. Кривые кипения. Микрохарактеристики процесса, режимные параметры и их влияние на процесс кипения.</li> <li>1.9. Теплообмен при пузырьковом кипении жидкости в неограниченном объеме. Расчет процессов пузырькового кипения. Теплообмен при кипении жидкости внутри труб. Кризисы кипения.</li> <li>1.10. Законы теплового излучения: закон Планка, Вина, Стефана-Больцмана, Ламберта, Кирхгофа.</li> <li>1.11. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой. Излучательная способность твердых тел и методы ее определения, теплообмен излучением между телом и его оболочкой.</li> <li>1.12. Угловые коэффициенты излучения. Геометрические свойства лучистых потоков.</li> <li>1.13. Лучистый теплообмен в произвольной замкнутой системе. Теплообмен излучением в</li> </ol>

	<p>поглощающей среде.</p> <p>1.14. Особенности излучения газов и паров. Закон Бугера. Оптическая толщина слоя. Сложный теплообмен. Критерии радиационного подобия.</p> <p>1.15. Основные понятия тепло- и массообмена двухкомпонентных сред, виды диффузии, закон Фика. Дифференциальные уравнения тепло- и массообмена. Тепло- и массоотдача.</p> <p>1.16. Тепло- и массообмен при конденсации пара из парогазовой смеси; при испарении жидкости в парогазовую среду. Тепло и массообмен при химических превращениях. Преобразованный закон Ньютона-Рихмана.</p> <p>1.17. Расчет теплообменных аппаратов с однофазным теплоносителем. Определение температурного напора и коэффициента теплопередачи.</p>
2	<p><b>лабораторные работы 4 шт. по 4 часа:</b></p> <p>2.1. Определение коэффициента теплоотдачи при вынужденном движении теплоносителя в трубах.</p> <p>2.2. Теплоотдача при кипении воды.</p> <p>2.3. Определение угловых коэффициентов излучения экранных поверхностей.</p> <p>2.4. Численный расчет теплообмена излучением в поглощающей среде.</p>
3	<p><b>практические занятия 17 шт. по 2 часа:</b></p> <p>3.1. Теплоотдача при свободной конвекции.</p> <p>3.2. Теплоотдача при внешнем продольном обтекании пластины.</p> <p>3.3. Теплоотдача при движении потока внутри труб.</p> <p>3.4. Теплоотдача при поперечном обтекании труб .</p> <p>3.5. Теплоотдача при конденсации неподвижного пара.</p> <p>3.6. Теплоотдача при конденсации движущегося пара.</p> <p>3.7. Теплоотдача при конденсации пара на пучках труб.</p> <p>3.8. Теплоотдача при кипении жидкости в большом объеме.</p> <p>3.9. Теплоотдача при кипении жидкости в трубах.</p> <p>3.10. Теплообмен излучением между твердыми телами, разделенными прозрачной средой.</p> <p>3.11. Теплообмен излучением при наличии экранных поверхностей.</p> <p>3.12. Лучисто-конвективный теплообмен.</p> <p>3.13. Графоаналитический метод расчета сложного лучисто-конвективного теплообмена.</p> <p>3.14. Теплообмен излучением в поглощающей среде.</p> <p>3.15. Расчет процессов массообмена.</p> <p>3.16. Тепловой расчет теплообменников.</p> <p>3.17. Гидравлический расчет теплообменников.</p>
4	<p><b>курсовая работа:</b>                  Расчет процессов конвективного теплообмена</p>
5	<p><b>самостоятельная работа студентов:</b></p> <p>1. Плёночная и капельная конденсация. Теория Нуссельта. Поправочные коэффициенты к теории Нуссельта по Д.А. Лабунцову (на волновое течение и переменность физических свойств конденсата). Турбулентное течение плёнки конденсата – расчёт коэффициента теплоотдачи (формула Лабунцова). Критические тепловые нагрузки при кипении. Теоретические основы современных зональных методов расчёта теплообмена излучением.</p>

	<p>Закон Бугера. Определение поглотительной способности и степени черноты среды (продуктов сгорания). Эффективная длина луча. Аналогия процессов массо-и теплообмена. Массо- и теплообмен при конденсации пара из парогазовой смеси. Режим течения парожидкостной смеси.</p> <p>2. Подготовка к выполнению и защите лабораторных работ</p> <p>3. Подготовка к практическим занятиям (изучение теоретического материала по теме)</p> <p>4. Выполнение курсовой работы.</p>
--	---

**Текущий контроль:**

1. Тестирование по основным разделам дисциплины.
2. Устный опрос у доски на практических занятиях
3. Защита лабораторных работ.
4. Защита курсовой работы.

**5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Таблица - Образовательные технологии, используемые при реализации различных видов учебной занятости по дисциплине

№ п/п	Виды учебных занятий	Образовательные технологии
1	Лекции	Интерактивная лекция (лекция-визуализация) Индивидуальные и групповые консультации по дисциплине
2	Практические занятия	Технология обучения на основе решения задач и выполнения упражнений
3	Лабораторная работа	Технология выполнения лабораторных заданий в малой группе (в бригаде). Технология проблемного обучения на основе анализа результатов лабораторной работы: индивидуальный опрос, собеседование в малой группе (бригаде). Допуск к лабораторной работе
4	Консультации по курсовой работе	Индивидуальные и групповые консультации
5	Самостоятельная работа студентов (внеаудиторная)	Информационно-коммуникационные технологии (доступ к ЭИОС филиала, к ЭБС филиала, доступ к информационно-методическим материалам по дисциплине)
6	Контроль (промежуточная аттестация: экзамен)	Экзамен (4,5 семестр) - технология письменного контроля.

--	--	--

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ – ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

К промежуточной аттестации студентов по дисциплине могут привлекаться представители работодателей, преподаватели последующих дисциплин, заведующие кафедрами.

Оценка качества освоения дисциплины включает как текущий контроль успеваемости, так и промежуточную аттестацию.

Материалы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации представлены по основным темам дисциплины.

### **Тема №1 : Способы переноса теплоты.**

Вопросы по формированию и развитию теоретических знаний, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примерные вопросы по лекционной части и самостоятельной работе при изучении дисциплины):

1. Что изучает наука «Тепломассообмен»?
2. Какие элементарные способы переноса теплоты существуют?
3. Какова физическая сущность передачи теплоты при теплопроводности?
4. С помощью чего осуществляется теплообмен при конвекции?
5. С помощью чего осуществляется лучистый теплообмен?
6. Что такое температурное поле?
7. Что такое температурный градиент?
8. Как записывается уравнение Фурье?
9. Какие зависимости коэффициента теплопроводности от температуры для различных веществ известны?
10. Что такое условия однозначности, как они подразделяются?
11. Что такое начальные условия, для каких процессов они необходимы?

Вопросы по приобретению и развитие практических умений, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примеры вопросов к практическим занятиям).

1. Расчет теплового потока и плотности теплового потока?
2. Определение температурного напора?
3. Расчет коэффициента теплопроводности, в каких единицах он измеряется?
4. Запишите дифференциальное уравнение теплопроводности для трехмерного нестационарного температурного поля.

Тестовые вопросы по приобретению и развитие теоретических знаний и практических умений, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примеры тестовых вопросов).

1. Передача теплоты при непосредственном соприкосновении тел или внутри твердого тела, обусловленная тепловым движением микрочастиц, называется:
  - а) теплоотдачей;

- б) теплопроводностью;
  - в) теплопередачей;
  - г) температуропроводностью;
  - д) тепломассообменом.
2. Существуют следующие физически элементарные способы передачи теплоты:
- а) конвекция, теплопередача, лучистый теплообмен;
  - б) теплопроводность, конвективный теплообмен, излучение;
  - в) лучистый теплообмен, конвекция, теплопроводность;
  - г) теплоотдача, конвекция, лучистый теплообмен.
3. Температурное поле - это:
- а) количество теплоты, передаваемое в единицу времени через единицу поверхности;
  - б) геометрическое место точек, имеющих в данный момент времени одинаковую температуру;
  - в) совокупность значений температур во всех точках рассматриваемого тела в данный момент времени;
  - г) тепловая энергия, передаваемая от одного тела к другому в течение какого-то времени.
4. Изотермические поверхности:
- а) не пересекаются;
  - б) пересекаются;
  - в) совпадают одна с другой;
  - г) замыкаются на себя.
5. Двумерное нестационарное температурное поле можно представить в виде следующей математической зависимости:
- а)  $t = f(x, y, z, m)$ ;
  - б)  $t = f(x, y, z)$ ;
  - в)  $t = f(y, z, m)$ ;
  - г)  $t = f(x, y, m)$ ;
  - д)  $t = f(x, y)$ ;
  - е)  $t = f(x, z, m)$ .
6. Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры является линейной:
- а) для теплоизоляционных материалов;
  - б) для металлов;
  - в) для газов;
  - г) для жидкостей.
7. Температурный градиент - это вектор, направленный:
- а) перпендикулярно нормали к изотермической поверхности в сторону уменьшения температуры;
  - б) параллельно к изотермической поверхности в сторону возрастания температуры;
  - в) по нормали к изотермической поверхности в сторону возрастания температуры;
  - г) по нормали к изотермической поверхности в сторону убывания температуры.

## Тема №2 : Теплопередача.

Вопросы по формированию и развитию теоретических знаний, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примерные вопросы по лекционной части и самостоятельной работе при изучении дисциплины):

1. Что такое сложный теплообмен?
2. Что называется теплопередачей? Приведите примеры теплопередачи.
3. Что называется полным термическим сопротивлением, и из каких величин оно

складывается?

4. Описать процесс передачи теплоты через стенку.
5. Как на практике учитывается лучистый теплообмен при теплопередаче и теплоотдаче?
6. Выведите основное уравнение теплопередачи для однослойной плоской стенки.
7. Что называется коэффициентом теплопередачи?
8. Что называется критическим диаметром изоляции, и как он определяется?
9. Какие требуются условия, чтобы изоляция уменьшала потери теплоты?
10. В каких случаях и за счет чего можно интенсифицировать теплопередачу?
11. В каких случаях применяют ребристые стенки?
12. Теплопередача и коэффициент теплопередачи через ребристую стенку.
13. Какое существует общее правило для интенсификации теплопередачи?

Вопросы по приобретению и развитие практических умений, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примеры вопросов к практическим занятиям).

1. Расчет передачи теплоты через многослойную плоскую стенку и коэффициента теплопередачи для нее.
2. Определение температуры поверхностей плоской стенки.
3. Расчет передачи теплоты через однослойную цилиндрическую стенку.
4. Расчет линейного коэффициента теплопередачи через однослойную цилиндрическую стенку.
5. Расчет полного термического сопротивления через многослойную цилиндрическую стенку.
6. Расчет теплового потока и коэффициента теплопередачи через многослойную цилиндрическую стенку.
7. Определение температур внутренней и наружной поверхностей цилиндрической стенки.

Тестовые вопросы по приобретению и развитие теоретических знаний и практических умений, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примеры тестовых вопросов).

1. Теплопередача - это сложный вид теплообмена, при котором теплота передается:
  - а) от одной подвижной горячей среды к другой подвижной холодной среде через твердую стенку;
  - б) от одной холодной поверхности твердого тела к другой горячей поверхности этого тела;
  - в) от одной движущейся горячей среды к холодной поверхности твердого тела;
  - г) от горячей поверхности твердого тела к холодной движущейся среде;
  - д) во всех предыдущих случаях.
2. Коэффициент теплопередачи  $k$  измеряется в следующих единицах:
  - а) Вт/м<sup>2</sup>;
  - б) Вт/(м<sup>2</sup>С);
  - в) Вт/м;
  - г) Вт/(мК);
  - д) Вт/(м<sup>2</sup>К);
  - е) Вт/(м<sup>2</sup>°С).
3. Для вывода уравнения теплопередачи исходными являются следующие уравнения:
  - а) теплопроводности;
  - б) теплоотдачи;

- в) критериальные;
  - г) теплового баланса;
  - д) все вышеперечисленные.
4. Линейный коэффициент теплопередачи - это:
- а) количество теплоты, проходящей через единицу поверхности стенки в единицу времени от горячего к холодному теплоносителю при разности температур между ними в один градус;
  - б) тепловой поток, проходящий через один квадратный метр поверхности при разности температур между поверхностью тела и окружающей средой в один градус;
  - в) количество теплоты, проходящей через один метр длины трубы в единицу времени от горячего теплоносителя к холодному при разности температур между ними в один градус;
  - г) количество теплоты, проходящее в единицу времени через единицу поверхности.
5. Критический диаметр изоляции трубопровода зависит от следующих параметров:
- а) температуры наружной поверхности трубы и ее наружного диаметра;
  - б) толщины стенки трубы и коэффициента теплопроводности теплоизоляции;
  - в) наружного диаметра трубы и коэффициента теплоотдачи от наружной поверхности трубы к окружающей среде;
  - г) коэффициента теплоотдачи от наружной поверхности трубы к окружающей среде и коэффициента теплопроводности теплоизоляции.
6. Для эффективной работы тепловой изоляции необходимо, чтобы критический диаметр:
- а) был меньше наружного диаметра изоляции;
  - б) был меньше внешнего диаметра оголенного трубопровода;
  - в) был больше внутреннего диаметра трубопровода;
  - г) был больше внешнего диаметра оголенного трубопровода.
7. Коэффициентом оребрения трубы называется отношение:
- а) площади гладкой поверхности трубы к площади оребренной поверхности;
  - б) площади оребренной поверхности трубы к площади гладкой поверхности;
  - в) площади каждого ребра к площади гладкой поверхности;
  - г) суммы площадей поверхностей всех ребер к площади оребренной поверхности.
8. Для интенсификации процесса теплопередачи осуществляют следующие мероприятия:
- а) увеличивают температурный напор между теплоносителями;
  - б) применяют трубы с оребрением;
  - в) увеличивают толщину тепловой изоляции;
  - г) применяют материалы с высокими коэффициентами теплопроводности;
  - д) уменьшают максимальное термическое сопротивление;
  - е) все вышеперечисленные мероприятия.

### **Тема №3 : Теплопроводность при стационарном и нестационарном режимах.**

Вопросы по формированию и развитию теоретических знаний, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примерные вопросы по лекционной части и самостоятельной работе при изучении дисциплины):

1. По какому закону изменяется температура в однослойной плоской стенке?
2. От каких величин зависит тепловой поток, передаваемый теплопроводностью через однослойную плоскую стенку?
3. Объясните понятие «термическое сопротивление стенки».
4. Каков закон изменения температуры в однослойной цилиндрической стенке?
5. От каких величин зависит теплопроводность однослойной цилиндрической стенки?

6. Как определяются температуры между слоями в многослойной цилиндрической стенке?
7. Объясните общие закономерности нестационарных процессов.
8. Какие критерии подобия и безразмерные величины входят в уравнение температурного поля при нестационарном режиме?
9. Что характеризуют критерии Био и Фурье?

Вопросы по приобретению и развитие практических умений, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примеры вопросов к практическим занятиям).

1. Определение температуры между слоями в многослойной плоской стенке?
2. Определение температуры между слоями в многослойной цилиндрической стенке?
3. Расчет температурного поля в бесконечной пластине при нестационарной теплопроводности
4. Расчет температурного поля в бесконечной цилиндре при нестационарной теплопроводности
5. Расчет температурного поля в телах конечных размеров.

Тестовые вопросы по приобретению и развитие теоретических знаний и практических умений, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примеры тестовых вопросов).

1. Если температурное поле в твердой стенке изменяется во времени, то процесс теплопроводности будет:
  - а) стационарным;
  - б) постоянным;
  - в) нестабильным;
  - г) нестационарным.
2. При прохождении теплового потока через однослойную плоскую стенку с постоянным коэффициентом теплопроводности в условиях стационарного теплового режима изменение температуры в стенке будет происходить:
  - а) по экспоненте;
  - б) по гиперболе;
  - в) по логарифмической кривой;
  - г) по прямой линии;
  - д) по параболе.
3. Термическое сопротивление плоской стенки представляет собой:
  - а) количество теплоты, выделяемой в единице объема в единицу времени;
  - б) падение температуры при прохождении через стенку удельного теплового потока, равного единице;
  - в) количество теплоты, проходящее в единицу времени через единицу поверхности стенки;
  - г) разность температур между наружной и внутренней поверхностями стенки.
4. Для математического описания нестационарного процесса теплопроводности дифференциальное уравнение необходимо дополнить условиями однозначности, в том числе граничными условиями:
  - а) I рода;
  - б) II рода;

- в) III рода;
- г) IV рода;

5. При нестационарных процессах теплопроводности наиболее быстро температура изменяется:

- а) на поверхности тела;
- б) в центральной плоскости тела;
- в) одинаково на поверхности и в центральной плоскости тела;
- г) в произвольных точках.

#### Тема №4 : Конвективный теплообмен.

Вопросы по формированию и развитию теоретических знаний, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примерные вопросы по лекционной части и самостоятельной работе при изучении дисциплины):

1. Что называется конвективным теплообменом?
2. Что такое теплоноситель? Какие теплоносители используются в технике для процессов тепломассообмена?
3. Назовите два вида конвекции.
4. Какие физические свойства теплоносителей влияют на теплообмен?
5. Гидродинамический и тепловой пограничные слои, их особенности и физический смысл.
6. Что называют теплоотдачей?
7. Каков физический смысл и единицы измерения коэффициента теплоотдачи?
8. Функцией каких величин является коэффициент теплоотдачи?
9. Что такое теория подобия и для чего она предназначена?
10. Что такое критерий подобия?
11. Чему равен критерий Рейнольдса, и что он характеризует?
12. Чему равен критерий Нуссельта, и что он характеризует?
13. Чему равен критерий Прандтля, и что он характеризует?
14. Чему равен критерий Грасгофа, и что он характеризует?
15. Чему равен критерий Пекле, и что он характеризует?
16. Чему равен критерий Фурье, и что он характеризует?

Вопросы по приобретению и развитие практических умений, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примеры вопросов к практическим занятиям).

1. Расчет коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции.
2. Расчет коэффициента теплоотдачи при движении жидкости вдоль пластины.
3. Расчет коэффициента теплоотдачи при движении жидкости внутри труб.
4. Расчет коэффициента теплоотдачи для одиночной трубы при поперечном движении жидкости?
5. Расчет коэффициента теплоотдачи для пучков труб при поперечном движении жидкости.
6. Расчет среднего коэффициента теплоотдачи для пучка труб.

Тестовые вопросы по приобретению и развитие теоретических знаний и практических умений, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примеры тестовых вопросов).

1. Конвективный теплообмен - это сложный вид теплообмена, при котором совместно про-

текают процессы:

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

2. В качестве теплоносителей в процессах тепломассообмена используются следующие вещества:

- а) вода и водяной пар;
- б) воздух и продукты сгорания топлива;
- в) минеральные масла и органические жидкости;
- г) ртуть и расплавленные металлы;
- д) все вышеперечисленные варианты.

3. Тонкий слой жидкости вблизи поверхности тела, в котором происходит изменение скорости жидкости от значения скорости невозмущенного потока вдали от стенки до нуля, непосредственно на стенке, называется:

- а) тепловым пограничным слоем;
- б) гидродинамическим пограничным слоем;
- в) ламинарным подслоем турбулентного пограничного слоя;
- г) турбулентным подслоем ламинарного пограничного слоя.

4. В уравнении теплоотдачи Ньютона-Рихмана удельный тепловой поток равен произведению коэффициента теплоотдачи на разность температур:

- а) наружной и внутренней поверхностей стенки;
- б) горячего и холодного теплоносителей;
- в) поверхности твердого тела и текущей жидкости;
- г) внутренней и наружной поверхностей стенки;
- д) текущей жидкости и поверхности твердого тела.

5. В общем случае значение коэффициента теплоотдачи зависит от следующих величин:

- а) характера течения и скорости движения жидкости;
- б) коэффициента теплопроводности и коэффициента кинематической вязкости;
- в) формы и размеров тела;
- г) плотности жидкости и ее удельной теплоемкости;
- д) всех вышеперечисленных величин.

6. Критерий подобия Грасгофа характеризует:

- а) режим движения жидкости;
- б) теплообмен на границе жидкость-стенка;
- в) соотношение между теплопроводностью и конвекцией;
- г) нестационарность процессов;
- д) физические свойства жидкости;
- е) свободную конвекцию.

7. Первая теорема подобия (теорема Ньютона) гласит:

- а) любая зависимость между переменными, характеризующими какое-либо явление, может быть представлена в виде зависимости между критериями подобия;
- б) подобные между собой явления имеют численно одинаковые критерии подобия;

- в) подобны те явления, условия однозначности которых подобны, и критерии подобия, составленные из условий однозначности численно одинаковы;
- г) при полном подобии физических явлений все величины, характеризующие данные явления, должны находиться в определенных соотношениях для сходственных точек и сходственных моментов времени.
8. Для нестационарных процессов конвективного теплообмена критериальное уравнение может быть представлено в виде:
- $Nu = f(Re, Gr, Fo, Pr)$ ;
  - $Nu = f(Pe, Gr, Pr, Bi)$ ;
  - $Nu = f(Pe, Bi, Fo, Pr)$ ;
  - $Nu = f(Re, Gr, Pe, Pr)$ .
9. При ламинарном течении жидкости в трубах коэффициент теплоотдачи изменяется по длине канала при условии:
- $l/d > 50$ ;
  - $l/d < 50$ ;
  - $l/d < 50$ ;
  - $l/d > 50$ .
10. В критериальном уравнении конвективного теплообмена для турбулентного течения жидкости в трубах, в отличие от уравнения для ламинарного течения, отсутствует:
- критерий Рейнольдса;
  - критерий Прандтля;
  - критерий Нуссельта;
  - критерий Грасгофа.
11. Для воздуха критериальное уравнение при любом частном случае конвективного теплообмена в стационарных условиях может быть представлено в виде:
- $Nu = f(Fo)$ ;
  - $Nu = f(Re)$ ;
  - $Nu = f(Gr)$ ;
  - $Nu = f(Pr)$ .

### Тема №5 : Лучистый теплообмен.

Вопросы по формированию и развитию теоретических знаний, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примерные вопросы по лекционной части и самостоятельной работе при изучении дисциплины):

- Каковы основные особенности лучистого теплообмена?
- На какие части делится энергия падающего на тело потока излучения?
- Какие тела называются абсолютно черным, абсолютно белым и абсолютно прозрачным?  
Для чего нужны понятия абсолютных тел?
- В чем сущность законов Планка и Вина?
- Каково практическое применение закона Вина?
- В чем сущность закона Стефана - Больцмана?
- В чем сущность закона Кирхгофа?
- Закон Ламберта. Для каких тел он применим?
- Что такое степень черноты? От каких факторов она зависит?

10. Назначение экранов при лучистом теплообмене (приведите примеры).
11. Какие газы обладают способностью излучать?
12. В чем заключаются основные особенности излучения газов?

Вопросы по приобретению и развитие практических умений, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примеры вопросов к практическим занятиям).

1. Определение поверхностной плотности потока интегрального излучения.
2. Определение интенсивности излучения.
3. Расчет лучистого теплообмена между двумя параллельными пластинами.
4. Расчет теплообмена излучением, когда одно тело находится внутри другого.
5. Расчет лучистого теплообмена для произвольно расположенных тел.
6. Расчет лучистого теплообмена при наличии экранов.

Тестовые вопросы по приобретению и развитие теоретических знаний и практических умений, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примеры тестовых вопросов).

1. Тепловой поток, излучаемый на всех длинах волн с единицы поверхности тела по всем направлениям, называется:

- а) интегральным лучистым потоком;
- б) излучательной способностью;
- в) интенсивностью излучения;
- г) тепловым излучением.

2. Тело, поглощающее все падающее на него излучение, называется:

- а) абсолютно белым;
- б) абсолютно черным;
- в) абсолютно прозрачным;
- г) серым.

3. Отношение поверхностной плотности потока собственного интегрального излучения данного тела к поверхностной плотности потока интегрального излучения абсолютно черного тела при той же температуре называется:

- а) степенью черноты;
- б) коэффициентом излучения;
- в) коэффициентом поглощения;
- г) излучательной способностью абсолютно черного тела;
- д) коэффициентом пропускания.

4. Известно, что с ростом температуры максимум излучения смещается в сторону более коротких волн, - это закон:

- а) Стефана-Больцмана;
- б) Кирхгофа;
- в) Планка;
- г) Вина.

8. При установке трех экранов между двумя параллельными поверхностями с одинаковой степенью черноты ( $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_{эк}$ ) количество излучаемой энергии уменьшится:

- а) в 3 раза;

- б) в 4 раза;
- в) в 6 раз;
- г) в 2 раза;
- д) в 5 раз;
- е) в 9 раз.

9. Излучают и поглощают тепловую энергию:

- а) все газы одинаково;
- б) двухатомные газы;
- в) одноатомные газы;
- г) трехатомные газы;
- д) многоатомные газы.

### **Тема №6 : Теплообмен при фазовых переходах.**

Вопросы по формированию и развитию теоретических знаний, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примерные вопросы по лекционной части и самостоятельной работе при изучении дисциплины):

1. При каких условиях возникают процессы кипения жидкости и конденсации пара?
2. Где образуются пузырьки пара?
3. Какое кипение называется пузырьковым и пленочным?
4. Какой момент кипения называется критическим?
5. Какие уравнения рекомендуются для определения коэффициента теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкости?
6. Какие различают виды конденсации?
7. При каком виде конденсации коэффициент теплоотдачи больше и почему?
8. От чего зависит коэффициент теплоотдачи при конденсации?
9. Запишите уравнения теплоотдачи для вертикальной и горизонтальной стенок при конденсации пара.
10. Как влияет направление движения пара на теплоотдачу?
11. Как влияет на теплоотдачу расположение поверхности трубы при конденсации?
12. Как влияют примеси газа на теплоотдачу при конденсации?

Вопросы по приобретению и развитие практических умений, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примеры вопросов к практическим занятиям).

1. Расчет теплообмена при конденсации пара.
2. Расчет теплообмена при плёночной и капельной конденсации.
3. Оценка влияния скорости пара, состояния поверхности, влажности и перегрева пара на эффективность теплообмена.
4. Расчет теплообмена при кипении жидкостей.
5. Расчет теплообмена при пузырьковом и плёночном кипении.
6. Расчёт коэффициента теплоотдачи при пузырьковом кипении в большом объёме.
7. Расчет теплоотдачи при плёночном кипении.

Тестовые вопросы по приобретению и развитие теоретических знаний и практических умений, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примеры тестовых вопросов).

1. При кипении жидкости на поверхности твердого тела наиболее интенсивный рост значений коэффициента теплоотдачи наблюдается в области:
  - а) естественной конвекции;
  - б) критической точки;
  - в) пленочного режима;
  - г) пузырькового режима.
  
2. При пленочной конденсации пара в случае ламинарного движения пленки конденсата теплообмен осуществляется путем:
  - а) конвекции и теплопроводности;
  - б) теплопроводности;
  - в) теплоотдачи;
  - г) теплопередачи.

### **Тема №1 : Массообмен.**

Вопросы по формированию и развитию теоретических знаний, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примерные вопросы по лекционной части и самостоятельной работе при изучении дисциплины):

1. Что такое диффузия?
2. Дайте определение градиента концентрации.
3. Дайте определение термодиффузии.
4. Дайте определение бародиффузии.
5. Дайте определение концентрационной диффузии.
6. Что такое плотность потока массы?

Вопросы по приобретению и развитие практических умений, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примеры вопросов к практическим занятиям).

1. Расчет градиента концентрации.
2. Расчет плотности потока массы.
3. Расчет теплоотдачи.

Тестовые вопросы по приобретению и развитие теоретических знаний и практических умений, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примеры тестовых вопросов).

1. Самопроизвольный процесс проникновения одного вещества в другое в направлении установления внутри них равновесного распределения концентраций называют:
  - а) потоком массы;
  - б) конвекцией;
  - в) диффузией;
  - г) массообменом.
  
2. Плотность потока массы - это поток массы, проходящий через единицу:
  - а) объема;
  - б) длины;
  - в) массы;

- г) поверхности.
3. Плотность потока массы при молекулярной диффузии определяется по закону:
- Фурье;
  - Фика;
  - Ламберта;
  - Кирхгофа;
  - Вина;
  - Планка.
4. Если движущей силой переноса вещества является разность температур, то происходит:
- концентрационная диффузия;
  - термодиффузия;
  - бародиффузия;
  - конвективная диффузия.
5. При молекулярной диффузии результирующий поток массы представляет собой сумму:
- конвективной и молекулярной диффузии;
  - термодиффузии и бародиффузии;
  - концентрационной, термодиффузии и бародиффузии;
  - концентрационной, конвективной и бародиффузии.
6. Конвективный массообмен между движущейся средой и жидкой (или твердой) поверхностью называется:
- массоотдачей;
  - молекулярной диффузией;
  - массопереносом;
  - потоком массы.
7. При массоотдаче плотность потока массы диффундирующего вещества можно выразить через произведение коэффициента массоотдачи на разность:
- концентраций;
  - температур;
  - парциальных давлений;
  - удельных объемов.
8. Имеется ли аналогия между процессами теплообмена и массообмена?
- Нет, не имеется;
  - да, имеется, но не всегда соблюдается;
  - да, имеется полная аналогия;
  - да, имеется частичная аналогия.

### **Тема №8 : Тепломассообменные аппараты.**

Вопросы по формированию и развитию теоретических знаний, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примерные вопросы по лекционной части и самостоятельной работе при изучении дисциплины):

- Какие устройства называются тепломассообменными аппаратами?
- Как классифицируются тепломассообменные аппараты?

3. Опишите принцип работы и приведите примеры рекуперативных, регенеративных, смесительных тепломассообменных аппаратов и теплообменников с внутренними источниками энергии.
4. Укажите достоинства и недостатки кожухотрубных и пластинчатых теплообменников.
5. По каким схемам осуществляется движение теплоносителей в тепломассообменных аппаратах?
6. Запишите формулу для определения водяного эквивалента.
7. Приведите графики изменения температур рабочих жидкостей в аппаратах с прямотоком и противотоком.
8. Какие бывают виды тепловых расчетов теплообменников, в чем их отличие?
9. Напишите основные уравнения, применяемые при тепловом расчете рекуперативных аппаратов?
10. По каким формулам определяются среднелогарифмический и среднеарифметический температурные напоры?
11. Как определить средний температурный напор для теплообменника со сложной схемой движения теплоносителей?
12. Как определяются конечные температуры теплоносителей в аппаратах с прямотоком и противотоком?

Вопросы по приобретению и развитие практических умений, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примеры вопросов к практическим занятиям).

1. Расчет температурного напора для теплообменных аппаратов.
2. Определение площади поверхности теплообмена теплообменных аппаратов.
3. Определение коэффициента теплоотдачи теплообменных аппаратов.
4. Тепловой баланс теплообменных аппаратов.
5. Определение количества переданной теплоты в теплообменных аппаратах.
6. Конструктивный расчет теплообменных аппаратов.
7. Поверочный расчет теплообменных аппаратов.

Тестовые вопросы по приобретению и развитие теоретических знаний и практических умений, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примеры тестовых вопросов).

1. Теплообменные аппараты, в которых две жидкости с различными температурами текут в пространстве, разделенном твердой стенкой, называются:
  - а) регенеративными;
  - б) смесительными;
  - в) рекуперативными;
  - г) с внутренними источниками теплоты.
2. К смесительным тепломассообменным аппаратам относятся:
  - а) декарбонизаторы;
  - б) контактные экономайзеры;
  - в) конденсаторы турбин;
  - г) градирни;
  - д) пароперегреватели котлов;
  - е) деаэраторы;
  - ж) все вышеперечисленные аппараты.

3. Поверхность нагрева регенеративного подогревателя представляет собой:
  - а) теплоаккумулирующую насадку;
  - б) трубный пучок;
  - в) каскад тарелок с отверстиями;
  - г) все вышеперечисленные варианты.
  
4. Целью поверочного теплового расчета теплообменника является определение:
  - а) площади поверхности теплообмена;
  - б) коэффициента теплопередачи;
  - в) количества переданной теплоты;
  - г) начальных температур теплоносителей;
  - д) конечных температур теплоносителей;
  - е) всех вышеперечисленных параметров.
  
5. Какие уравнения лежат в основе тепловых расчетов теплообменных аппаратов?
  - а) Теплоотдачи и теплопроводности;
  - б) теплопередачи и теплоотдачи;
  - в) теплопередачи и теплового баланса;
  - г) теплопроводности и теплового баланса;
  - д) теплоотдачи и теплопередачи.
  
6. Если в теплообменном аппарате два теплоносителя текут параллельно друг другу во взаимно противоположных направлениях, то такая схема движения называется:
  - а) прямотоком;
  - б) перекрестным током;
  - в) противотоком;
  - г) многократно перекрестным током.
  
7. Больше изменение температуры по поверхности теплообмена получается для той жидкости, у которой:
  - а) водяной эквивалент меньше;
  - б) начальная температура меньше;
  - в) начальная температура больше;
  - г) водяной эквивалент больше;
  - д) конечная температура больше;
  - е) конечная температура меньше.
  
8. При расчете среднего температурного напора для аппарата со сложной схемой движения теплоносителей поправочный коэффициент умножают на среднелогарифмический температурный напор, определенный как для:
  - а) противоточного аппарата;
  - б) прямоточного аппарата;
  - в) аппарата с перекрестным током;
  - г) поперечно-противоточного аппарата.

Вопросы по закреплению теоретических знаний, умений и практических навыков, предусмотренных компетенциями (вопросы к экзамену – 4 семестр).

1. Законы теплопроводности
2. Дифференциальное уравнение теплопроводности.

3. Условия однозначности в задачах теплопроводности.
4. Теплопроводность плоской стенки (стационарный режим).
5. Теплопроводность многослойной стенки.
6. Теплопередача через плоскую стенку.
7. Теплопроводность цилиндрической стенки (гран. Условия 1 рода).
8. Теплопередача через цилиндрическую стенку (гран. Условия 2 рода).
9. Критический диаметр цилиндрической стенки.
10. Передача теплоты через шаровую стенку.
11. Обобщенный метод решения задач теплопроводности.
12. Пути интенсификации процесса теплопередачи.
13. Теплопроводность в стержне постоянного сечения.
14. Теплопроводность через оребренную стенку.
15. Теплопроводность однородной пластины при наличии внутренних источников теплоты.
16. Теплопроводность цилиндрического стержня при наличии внутренних источников теплоты.
17. Теплопроводность цилиндрической стенки при наличии внутренних источников теплоты.
18. Процесс нагревания тонкой пластины (нестационарный).
19. Охлаждение бесконечно длинного цилиндра (нестационарный режим).
20. Охлаждение шара (нестационарный режим).
21. Охлаждение тел конечных размеров.
22. Охлаждение тел в зависимости от их формы и размеров.
23. Регулярный режим охлаждения.
24. Приближенные методов решения задач теплопроводности.
25. Метод аналогий в задачах теплопроводности.
26. Основные понятия конвективного теплообмена.
27. Уравнение энергии конвективного теплообмена.
28. Уравнение движения конвективного теплообмена.
29. Уравнение сплошности и условия однозначности при конвективном теплообмене.
30. Гидродинамический и тепловой пограничный слой.
31. Турбулентный перенос теплоты и количества движения.
32. Приведение краевой задачи к безразмерным переменным
33. Числа и уравнение подобия.
34. Условия подобия.
35. Моделирование процессов конвективного теплообмена.
36. Определение средней температуры и теплового потока.
37. Осреднение коэффициентов теплоотдачи температурного напора и получение эмпирических формул.
- 38.

Вопросы по закреплению теоретических знаний, умений и практических навыков, предусмотренных компетенциями (вопросы к экзамену – 5 семестр).

1. Теплоотдача при свободном движении жидкости. Ламинарное движение вдоль вертикальной пластины.
2. Теплообмен в ограниченном пространстве.
3. Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности (ламинарный пограничный слой).
4. Переход ламинарного течения в турбулентное и теплоотдача при турбулентном пограничном слое.

5. Гидродинамическая и тепловая стабилизация при вынужденном течении в трубах.
  6. Коэффициент теплоотдачи трубы при ламинарном и турбулентном режимах.
  7. Теплоотдача в некруглых, изогнутых и шероховатых трубах..
- 
1. Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании одиночной круглой трубы.
  2. Поперечное омывание пучков труб.
  3. Уравнения теплового расчета теплообменных аппаратов.
  4. Нахождение средней разности температур при расчете теплообменных аппаратов.
  5. Расчет конечных температур при расчете теплообменных аппаратов.
  6. Основные положения при конденсации и кипении.
  7. Теплообмен при пленочной конденсации неподвижного пара.
  8. Теплообмен при пленочной конденсации движущегося пара внутри труб.
  9. Теплообмен при пленочной конденсации движущегося пара на горизонтальных трубах и пучках труб.
  10. Механизм теплообмена при пузырьковом кипении жидкости.
  11. Теплообмен при пузырьковом кипении жидкости в неограниченном объеме.
  12. Теплообмен при кипении жидкости внутри труб.
  13. Кризисы кипения.
  14. Основные понятия и законы тепло- и массообмена в двухкомпонентных средах.
  15. Уравнение массообмена.
  16. Уравнение энергии при массообмене.
  17. Тепло- и массоотдача.
  18. Тепло- и массообмен при конденсации пара из парогазовой смеси.
  19. Тепло- и массообмен при испарении жидкости в парогазовую среду.
  20. Тепло- и массообмен при химических превращениях.
  21. Основные законы теплового излучения.
  22. Закон Планка.
  23. Законы Стефана-Больцмана и Кирхгофа.
  24. Закон Ламберта. Черные температуры.
  25. Теплообмен излучением в системе тел с плоско-параллельными поверхностями.
  26. Излучательная способность твердых тел и методы ее определения.
  27. Теплообмен излучением между телом и его оболочкой.
  28. Угловые коэффициенты излучения.
  29. Геометрические свойства лучистых потоков.
  30. Исследование лучистого теплообмена в произвольной замкнутой системе.
  31. Теплообмен в поглощающих средах.
  32. Сложный теплообмен.
  33. Критерии радиационного подобия.

В филиале используется система с традиционной шкалой оценок – "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно", "зачтено", "не зачтено" (далее - пятибалльная система).

Форма промежуточной аттестации по настоящей дисциплине – экзамен в 4-м и 5-м семестре.

Применяемые критерии оценивания по дисциплинам (в соответствии с инструктивным письмом НИУ МЭИ от 14 мая 2012 года № И-23):

Оценка по дисциплине	Критерии оценки результатов обучения по дисциплине
«отлично»/ «зачтено (отлично)»/ «зачтено»	Выставляется обучающемуся, обнаружившему всестороннее, систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; проявившему творческие способности в понимании, изложении и использовании материалов изученной дисциплины, безупречно ответившему не только на вопросы билета, но и на дополнительные вопросы в рамках рабочей программы дисциплины, правильно выполнившему практическое задание. Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – «эталонный».
«хорошо»/ «зачтено (хорошо)»/ «зачтено»	Выставляется обучающемуся, обнаружившему полное знание материала изученной дисциплины, успешно выполняющему предусмотренные задания, усвоившему основную литературу, рекомендованную рабочей программой дисциплины; показавшему систематический характер знаний по дисциплине, ответившему на все вопросы билета, правильно выполнивший практическое задание, но допустивший при этом непринципиальные ошибки. Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – «продвинутый».
«удовлетворительно»/ «зачтено (удовлетворительно)»/ «зачтено»	Выставляется обучающемуся, обнаружившему знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющемуся с выполнением заданий, знакомому с основной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; допустившему погрешность в ответе на теоретические вопросы и/или при выполнении практических заданий, но обладающему необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя, либо неправильно выполнившему практическое задание, но по указанию преподавателя выполнившему другие практические задания из того же раздела дисциплины. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – «пороговый».
«неудовлетворительно»/ не зачтено	Выставляется обучающемуся, обнаружившему серьезные пробелы в знаниях основного материала изученной дисциплины, допустившему принципиальные ошибки в выполнении заданий, не ответившему на все вопросы билета и дополнительные вопросы и неправильно выполнившему практическое задание (неправильное выполнение только практического задания не является однозначной причиной для выставления оценки «неудовлетворительно»). Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение по образовательной программе без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции на уровне «пороговый», закреплённые за дисциплиной, не сформированы.

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### **Учебное и учебно-лабораторное оборудование**

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного, практического типов, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная:

- специализированной мебелью; доской аудиторной; демонстрационным оборудованием: персональным компьютером (ноутбуком); переносным (стационарным) проектором.

Для проведения занятий лабораторного типа используются специализированные лаборатории: лаборатория «Технической термодинамики и тепломассообменных процессов и установок» ауд. 424, расположенная по адресу 214013, г. Смоленск, Энергетический пр., д.1, Здание энергетического института (основной корпус). Лаборатория оснащена 12 лабораторными стендами:

1. Исследование процессов во влажном воздухе
2. Исследование процессов адиабатного истечения воздуха через сужающееся сопло
3. Изохорное нагревание воды и водяного пара
4. Изучение работы холодильной установки
5. Теплоотдача при кипении воды
6. Измерение коэффициента теплопроводности теплоизоляционного материала
7. Определение угловых коэффициентов излучения экранных поверхностей
8. Теплоотдача горизонтальной трубы при свободном движении воздуха
9. Экспериментальное определение коэффициентов теплопроводности и температуропроводности методом регулярного режима
10. Определение коэффициента теплоотдачи при вынужденном движении теплоносителя в трубах
11. Изучение работы секционного теплообменника
12. Экспериментальное определение КПД пылеочистного устройства

При реализации данной дисциплины лабораторные работы (16 часов) выполняется на стендах № 5,6,7, 8,9,10.

Для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине используется помещение для самостоятельной работы обучающихся, оснащенное:

- специализированной мебелью; доской аудиторной; персональными компьютерами с подключением к сети "Интернет" и доступом в ЭИОС филиала.

## **8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ**

В ходе реализации дисциплины используются следующие дополнительные методы обучения, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в зависимости от их индивидуальных особенностей:

### **для слепых и слабовидящих:**

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением, или могут быть заменены устным ответом;
- обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс;

- для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство; возможно также использование собственных увеличивающих устройств;
- письменные задания оформляются увеличенным шрифтом;
- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере.

**для глухих и слабослышащих:**

- лекции оформляются в виде электронного документа;
- письменные задания выполняются на компьютере в письменной форме;
- экзамен и зачёт проводятся в письменной форме на компьютере; возможно проведение в форме тестирования.

**для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;

- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением;

- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере;

- используется специальная учебная аудитория для лиц с ЛОВЗ – ауд. 106 главного учебного корпуса по адресу 214013, г. Смоленск, Энергетический пр-д, д.1, здание энергетического института (основной корпус).

При необходимости предусматривается увеличение времени для подготовки ответа.

Процедура проведения промежуточной аттестации для обучающихся устанавливается с учётом их индивидуальных психофизических особенностей. Промежуточная аттестация может проводиться в несколько этапов.

При проведении процедуры оценивания результатов обучения предусматривается использование технических средств, необходимых в связи с индивидуальными особенностями обучающихся. Эти средства могут быть предоставлены филиалом, или могут использоваться собственные технические средства.

Проведение процедуры оценивания результатов обучения допускается с использованием дистанционных образовательных технологий.

Обеспечивается доступ к информационным и библиографическим ресурсам в сети Интернет для каждого обучающегося в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**для слепых и слабовидящих:**

- в печатной форме увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла.

**для глухих и слабослышащих:**

- в печатной форме;
- в форме электронного документа.

**для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в печатной форме;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла.

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература.**

1. Павлова И.Б. Теплопроводность при стационарном режиме в многослойной плоской стенке [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие. – Электрон. дан. –М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана (Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана), 2010 – 16 с. Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=52190](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=52190)
2. Круглов Г.А. Теплотехника. [Электронный ресурс]: учебное пособие/Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова. – Электрон. Дан. – СПб.: Лань, 2012. – 208 с. Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=3900](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=3900)
3. Кудинов А.А. Тепломассообмен. –М.:Тепломассообмен. –М.: ИНФРА-М, 2012.

#### **Дополнительная литература.**

1. Логинов. В.С. Примеры и задачи по тепломассообмену. [Электронный ресурс]: учебное пособие/В.С. Логинов, Крайнов А.В., В.Е. Юхнов и др.. – Электрон. дан. – СПб.: Лань, 2011. – 256 с. Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=1553](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=1553)
2. Таранова Л.В. Теплообменные аппараты и методы их расчета: учебное пособие. [Электронный ресурс]: учебное пособие – Электрон. Дан. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2009. – 153 с. Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=28331](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=28331)
3. Любов С.К., Любова Т.С. Термодинамика и тепломассообмен. Расчетное задание по курсу «Теоретические основы теплотехники». Смоленск, 2010.

#### **Список авторских методических разработок.**

1. Тепломассообмен. Учебно-методическое пособие по дисциплине «Тепломассообмен»/Сост. Кабанова И.А.. – Смоленск: РИО филиала ГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, 2017 – 136 с.

### ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

Но- мер изме- не- ния	Номера страниц				Всего стра- ниц в доку- менте	Наименование и № документа, вводящего изменения	Подпись, Ф.И.О. внесшего измене- ния в данный эк- земпляр	Дата внесения из- менения в данный эк- земпляр	Дата введения из- менения
	изме- нен- ных	заме- нен- ных	но- вых	анну- лиро- ванн ых					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10