

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

**Направление подготовки/специальность: 13.03.03 Энергетическое машиностроение**

**Наименование образовательной программы: Производство энергетического оборудования**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Рабочая программа дисциплины  
ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛО- И МАССООБМЕН**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Обязательная</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.О.22</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>4 семестр - 5; 5 семестр - 5; всего - 10</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>360 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>4 семестр - 32 часа; 5 семестр - 32 часа; всего - 64 часа</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>4 семестр - 32 часа; 5 семестр - 32 часа; всего - 64 часа</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>4 семестр - 16 часов; 5 семестр - 16 часов; всего - 32 часа</b>
<b>Консультации</b>	<b>4 семестр - 2 часа; 5 семестр - 2 часа; всего - 4 часа</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>4 семестр - 97,5 часа; 5 семестр - 97,5 часа; всего - 195,0 часа</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b>	
<b>Решение задач</b>	
<b>Контрольная работа</b>	
<b>Расчетно-графическая работа</b>	
<b>Тестирование</b>	
<b>Коллоквиум</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>4 семестр - 0,5 часа; 5 семестр - 0,5 часа; всего - 1,0 час</b>
<b>Экзамен</b>	

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

---

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
Сведения о владельце ЦЭП МЭИ		
Владелец	Ежов Е.В.	
Идентификатор	R680daa58-YezhovYevV-d05c8f2a	

---

E.B. Ежов

**СОГЛАСОВАНО:**

---

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
Сведения о владельце ЦЭП МЭИ		
Владелец	Овечников С.А.	
Идентификатор	R8f25bf1e-OvechnikovSA-a943abe	

---

C.A. Овечников

---

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
Сведения о владельце ЦЭП МЭИ		
Владелец	Гончаров А.Л.	
Идентификатор	R1e4b7e3c-GoncharovAL-b043abe	

---

A.L. Гончаров

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение законов термодинамики и термодинамических методов анализа, применительно к системам передачи и трансформации теплоты в теплосиловых, холодильных и теплонасосных установках; изучение принципов тепломассообмена и методы их применения для анализа и расчета процессов, происходящих в теплоэнергетических и теплотехнических установках

### Задачи дисциплины

- освоение основных законов термодинамики и методов их применения для анализа и расчета процессов, используемых в энергетических установках, холодильных, теплонасосных и других теплотехнических установках;

приобретение знаний и навыков, позволяющих рассчитывать термодинамические процессы разнообразных теплоэнергетических и низкотемпературных установок;

- освоение навыков использования справочных данных теплофизических свойств рабочих тел и теплоносителей;

Освоение навыков расчётов циклов газотурбинных, паротурбинных, холодильных и теплонасосных установок;

- формирование базовой и профессиональной теплотехнической подготовки, включающей освоение принципов и современных расчетных методов тепломассообмена для анализа, расчета и оптимизации процессов и установок в атомной энергетике, тепловой энергетике и других теплотехнологиях;

- освоение методов расчета основных процессов тепломассообмена: теплопроводности в элементах конструкций, тепломассообмена при свободной и вынужденной конвекции, двухфазного тепломассообмена, радиационного теплообмена, а также основам расчета теплообменных аппаратов; освоение основ компьютерного моделирования тепломассообменных процессов и установок.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ОПК-4 Способен применять в расчетах теоретические основы рабочих процессов в энергетических машинах и установках	ИД-1 ОПК-4 Демонстрирует понимание основных законов термодинамики, выполняет расчеты основных показателей термодинамических циклов и проводит анализ их эффективности	знатъ: - основные законы термодинамики и условия их применения; - методы расчета термодинамических процессов идеального и реального газа.  уметь: - анализировать, выбирать и применять методы расчета основных характеристик термодинамических циклов холодильных, теплосиловых и теплонасосных установок; - применять основные понятия, термины и законы термодинамики для описания физических процессов, происходящих в техническом оборудовании; - самостоятельно выбирать и применять методы расчета термодинамических свойств идеального и реального газа.

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ОПК-4 Способен применять в расчетах теоретические основы рабочих процессов в энергетических машинах и установках	ИД-3опк-4 Демонстрирует понимание основных законов и способов переноса теплоты и массы, проводит исследования и расчет процессов тепломассообмена в соответствии с заданной методикой	<p>знатъ:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методики расчета теплообменных аппаратов ТЭС, АЭС и принципы и методы интенсификации теплопередачи;</li> <li>- основные принципы тепломассообмена и методы математического моделирования тепломассообменных процессов и установок;</li> <li>- методики расчета процессов теплопроводности в элементах конструкций, тепломассообмена при свободной и вынужденной конвекции, двухфазного тепломассообмена, радиационного теплообмена;</li> <li>- основные источники научно-технической информации о новых разработках в области тепломассообмена.</li> </ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- самостоятельно анализировать процессы тепломассообмена и принимать оптимальные решения при конструировании и эксплуатации тепломассообменного оборудования;</li> <li>- самостоятельно ставить и решать задачи теплогидравлических процессов и выполнять численные расчеты;</li> <li>- разрабатывать компьютерные модели теплогидравлических процессов.</li> </ul>
ОПК-6 Способен проводить измерения физических величин, определяющих работу энергетических машин и установок	ИД-1опк-6 Демонстрирует знание единиц измерения физических величин, основных методов их измерения	<p>знатъ:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные источники информации о теплофизических свойствах теплоносителей.</li> </ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пользоваться справочными данными теплофизических свойств рабочих тел и теплоносителей.</li> </ul>
ОПК-6 Способен проводить измерения физических величин, определяющих работу энергетических машин и установок	ИД-2опк-6 Выполняет измерения физических величин, обрабатывает результаты измерений и оценивает погрешность	<p>знатъ:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные принципы измерения физических величин, обработки результатов измерений и оценки погрешность.</li> </ul>

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО**

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Производство энергетического оборудования (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать - Высшую математику в объёме трёх семестров (дифференциальное и интегральное исчисление, ряды) - химию в объёме средней школы - физику в объёме предшествующих семестров - информатику в объёме средней школы и 1 курса
- уметь - пользоваться прикладными программами MS Office 2010/2016 (Word 2016, Excel 2016) - использовать при расчётах Mathcad 2015 в объёме прошедшего курса

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 10 зачетных единиц, 360 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы											Содержание самостоятельной работы/ методические указания		
				Контактная работа						СР							
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль				
							КПР	ГК	ИККП	ТК							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15		
1	Основные законы термодинамики и общие закономерности	28	4	8	-	8	-	-	-	-	-	12	-			<u><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b></u> Изучение материала по теме: "Процессы в идеальных газах" <u><b>Подготовка к текущему контролю:</b></u> Решение задач, аналогичных предлагаемым на практическом занятии по теме: "Процессы в идеальных газах" <u><b>Подготовка расчетных задач:</b></u> Задания ориентированы на решения минизадач по разделу "Процессы в идеальных газах". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: расчёт состояний в идеальном газе с использованием табличных данных <u><b>Изучение материалов литературных источников:</b></u> [2], 28, 44-48, 58, 81	
1.1	Введение, основные законы термодинамики, свойства и процессы идеального газа	12		4	-	4	-	-	-	-	-	4	-				
1.2	Первый закон термодинамики	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-				
1.3	Второй закон термодинамики. Теоремы Карно, Энтропия и её свойства	8		2	-	2	-	-	-	-	-	4	-				
1.4	Дифференциальные соотношения термодинамики	2		-	-	-	-	-	-	-	-	2	-				
2	Процессы идеального газа	28		6	8	6	-	-	-	-	-	8	-			<u><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b></u> Изучение теоретического материала по теме: "Смеси идеальных газов" <u><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b></u> Изучение	
2.1	Смеси идеальных газов	12		2	4	2	-	-	-	-	-	4	-				
2.2	Процессы идеального газа	16		4	4	4	-	-	-	-	-	4	-				

													теоретического материала на основе лекционного курса по теме: "Дифференциальные соотношения термодинамики" <b><u>Подготовка расчетных задач:</u></b> Расчёт замкнутого обратимого цикла бинарной смеси идеальных газов из пяти процессов по заданным параметрам состояния <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 13-15 [4], 14-18
3	Процессы в реальных газах. Свойства воды и водяного пара	12		4	-	4	-	-	-	-	4	-	
3.1	Основы молекулярного строения реального вещества. Агрегатные состояния веществ. Водяной пар	12		4	-	4	-	-	-	-	4	-	
4	Процессы течения газов и паров. Понятие сопла и диффузора. Процессы дросселирования рабочих тел	36		6	6	6	-	-	-	-	18	-	
4.1	Истечение идеальных газов из сопел	12		2	2	2	-	-	-	-	6	-	
4.2	Истечение водяного пара из сопел	12		2	2	2	-	-	-	-	6	-	

	различной конфигурации												
4.3	Процессы дросселирования газов и паров. Инверсия	12		2	2	2	-	-	-	-	6	-	
5	Термодинамические циклы теплосиловых, теплонасосных и холодильных установок	40		8	2	8	-	-	-	-	22	-	<p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> Подготовка отчёта о проделанной лабораторной работе. Расчёт термодинамических величин на основе проведённых измерений, согласно описанию работы. Подготовка к тестированию знаний по теме лабораторной работы</p> <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Изучение термодинамических процессов на основе лекционного материала, соответствующих теме лабораторного исследования.</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение учебно-методического пособия к лабораторной работе. Подготовка протокола измерений к предстоящей лабораторной работе</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 319-335, 349-382, 417-439</p>
5.1	Циклы газотурбинных энергетических установок	12		2	-	2	-	-	-	-	8	-	
5.2	Циклы паротурбинных установок	18		4	2	4	-	-	-	-	8	-	
5.3	Обратные термодинамические циклы	10		2	-	2	-	-	-	-	6	-	
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5
	Всего за семестр	180.0		32	16	32	-	2	-	-	0.5	64	33.5
	Итого за семестр	180.0		32	16	32		2		-	0.5		97.5
6	Принципы тепломассобмена	12	5	4	-	-	-	-	-	-	8	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение лекционного материала и рекомендованных литературных источников по теме: "Принципы тепломассообмена"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 7-22</p>
6.1	Законы переноса теплоты, вещества, импульса. Теплообмен	6		2	-	-	-	-	-	-	4	-	
6.2	Температурное поле. Изотермы. Градиент температуры.	6		2	-	-	-	-	-	-	4	-	



											<p>практических занятиях</p> <p><b><u>Подготовка курсовой работы:</u></b> Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Пример задания:</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Теплопроводность. Расчётное задание №1 и подготовка к контрольной работе</p> <p><b><u>Подготовка доклада, выступления:</u></b> Задание связано с углубленным изучением разделов дисциплины и самостоятельным поиском материалов для раскрытия темы доклада. Материалы выполненной работы представляются в электронном виде или в форме распечатанных презентационных слайдов. В качестве тем докладов студентам предлагаются следующие варианты:</p> <p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Теплопроводность. Расчётное задание №1" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы</p> <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в</p>
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--





	тела													
11.3	Излучение и поглощение нечерных тел	10		2	-	4	-	-	-	-	4	-		
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	180.0		32	16	32	-	2	-	-	0.5	64	33.5	
	Итого за семестр	180.0		32	16	32		2		-	0.5		97.5	
	ИТОГО	360.0	-	64	32	64		4		-	1.0		195.0	

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПР – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### 3.2 Краткое содержание разделов

#### 1. Основные законы термодинамики и общие закономерности

1.1. Введение, основные законы термодинамики, свойства и процессы идеального газа

Терминология. Уравнение состояния идеального газа. Теплоёмкость. Расчёт процессов в идеальных газах, смеси идеальных газов.

1.2. Первый закон термодинамики

Первый закон термодинамики для неподвижного рабочего тела. Первый закон термодинамики для одномерного стационарного потока.

1.3. Второй закон термодинамики. Теоремы Карно, Энтропия и её свойства

Второй закон термодинамики. Первая теорема Карно. Интеграл Клаузиуса. Энтропия. Вторая и третья теоремы Карно. Средняя интегральная температура подвода и отвода теплоты. Необратимость процессов.

1.4. Дифференциальные соотношения термодинамики

Построение шаблона дифференциальных уравнений для вывода уравнений Максвелла. Построение основных уравнений Максвелла. Дифференциальные соотношения термодинамики в  $v, T$  - координатах. Дифференциальные соотношения термодинамики в  $p, T$  - координатах. Применение mnemonicского квадрата для построения термодинамических соотношений. Расчёт калорических величин по данным термических величин.

#### 2. Процессы идеального газа

2.1. Смеси идеальных газов

Задание концентраций смесей. Взаимное преобразование концентраций. Массовая, молярная, объёмная концентрации. Расчёт заданной концентрации из данных по имеющейся. Расчёты концентраций по данным о парциальном давлении, либо объёме. Расчёт парциального давления с использованием закона Дальтона. Парциальное давление, парциальный объём компонента в смеси. Законы Дальтона-Амага. Расчёты процессов в смесях идеальных газов. Расчёт термодинамических функций смеси идеальных газов по табличным данным компонентов. Расчёт работы "разделения" смеси. Энтропия смешения. Энтропия смеси.

2.2. Процессы идеального газа

Законы и уравнения идеального газа. Основные процессы идеального газа, соотношения параметров, теплота и работа процессов, расчет для газов с постоянной теплоёмкостью и для газов с теплоёмкостью, зависящей от температуры, теплота и техническая работа в потоке газа. Изображение процессов в  $p, v$ - и  $T, s$ - диаграммах.

#### 3. Процессы в реальных газах. Свойства воды и водяного пара

3.1. Основы молекулярного строения реального вещества. Агрегатные состояния веществ. Водяной пар

Потенциал парного взаимодействия молекул. Силы, обусловливающие взаимодействие молекул. Уравнения реального газа. Уравнение Ван-Дер-Ваальса. Константы уравнения Ван-Дер-Ваальса. Уравнение Майера-Боголюбова. Полная фазовая диаграмма реального вещества в  $p, v$  и  $T, s$  диаграмме и воды в частности. Таблицы свойств воды и водяного пара.. Расчёт процессов в воде и водяном паре с использованием табличных данных.

#### 4. Процессы течения газов и паров. Понятие сопла и диффузора. Процессы дросселирования рабочих тел

##### 4.1. Истечение идеальных газов из сопел

Алгоритм расчёта параметров потока при истечении идеального газа из суживающегося сопла. Расчёт истечения идеального газа из сопла Лаваля. Расчёт геометрических размеров расширяющейся части сопла Лаваля.

##### 4.2. Истечение водяного пара из сопел различной конфигурации

Алгоритм расчёта параметров потока при истечении водяного пара из суживающегося сопла. Расчёт истечения водяного пара из сопла Лаваля. Расчёт геометрических размеров расширяющейся части сопла Лаваля. Особенности расчёта истечений с использованием табличных данных. Линейная интерполяция по табличных данных по двум аргументам.

##### 4.3. Процессы дросселирования газов и паров. Инверсия

Адиабатное дросселирование. Дифференциальный и интегральный дроссель-эффект. Обращение в ноль дифференциального дроссель-эффекта, точка инверсии. Кривая инверсии.

### 5. Термодинамические циклы теплосиловых, теплонасосных и холодильных установок

#### 5.1. Циклы газотурбинных энергетических установок

Расчёт технико-экономических характеристик газотурбинной установки (ГТУ), работающей по обыкновенному циклу Брайтона.. Расчёт технико-экономических характеристик регенеративного цикла ГТУ. Расчёт регенеративного цикла ГТУ с многоступенчатым сжатием и многоступенчатым расширением рабочего тела.

#### 5.2. Циклы паротурбинных установок

Паротурбинная установка, работающая по обыкновенному циклу Ренкина. Расчёт технико-экономических показателей цикла. Расчёт средней температуры подвода теплоты. Расчёт технико-экономических показателей цикла с промежуточным перегревом пара. Расчёт технико-экономических показателей цикла с регенеративным подогревом питательной воды в смещающих и поверхностных подогревателях за счёт отбора пара из турбины. Циклы атомных электростанций. Расчёт технико-экономических показателей цикла АЭС ВВЭР с предельной сепарацией пара и с применением промежуточного перегрева пара за счёт отбора части греющей воды. Бинарные циклы. Расчёт технико-экономических показателей цикла парогазовой энергетической установки.

#### 5.3. Обратные термодинамические циклы

Назначение холодильных циклов. Их технико-экономические показатели. Расчёт технико-экономических показателей воздушно-холодильных установок (ВХУ). Назначение элементов схем ВХУ. Схема и цикл паро-компрессионной холодильной установки (ПКХУ). Расчёт технико-экономических показателей ПКХУ. Тепло-насосные установки (ТНУ). Применение ТНУ. Расчёт технико-экономических показателей ТНУ.

### 6. Принципы тепломассобмена

#### 6.1. Законы переноса теплоты, вещества, импульса. Теплообмен

Законы сохранения. Дифференциальные уравнения тепломассообмена. Общая форма балансового уравнения. Закон сохранения массы, уравнение неразрывности. Закон

сохранения 1-компонентного, уравнение конвективной диффузии. Закон сохранения энергии, уравнение энергии. Закон сохранения импульса, уравнение движения.

6.2. Температурное поле. Изотермы. Градиент температуры. Плотность теплового потока. Система дифференциальных уравнений конвективного тепломассообмена. Термодинамические соотношения и свойства теплоносителей.

### 7. Теплопроводность. Расчётное задание №1

#### 7.1. Закон теплопроводности Фурье

Одномерные стационарные задачи теплопроводности. Плоская стенка. Цилиндрическая стенка. Сферическая стенка. Теплопередача. Критический диаметр изоляции. Принципы интенсификации теплопередачи. Интенсификация посредством оребрения. Теплопроводность вдоль стержня. Теплопроводность тел с внутренними источниками теплоты. Плоское тело. Цилиндрическое тело.

#### 7.2. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Краевые условия. Типы граничных условий.

Дифференциальные уравнения и краевые условия. Пластина. Цилиндр. Нестационарная теплопроводность тел, образованных пересечением пластин и цилиндров. Численные методы теплопроводности. Метод контрольного объема для получения ко-нечно-разностных аппроксимаций уравнения теплопроводности. Явные и неявные численные методы. Метод прогонки. Обзор математических пакетов для численного анализа.

### 8. Инженерные методы расчета тепло-массообмена в энергетических установках

#### 8.1. Расчет теплоотдачи в элементах теплообменных устройств

#### 8.2. Методы подобия и размерностей

Теплоотдача при продольном обтекании пластины. Теплоотдача в поперечно-обтекаемых пучках труб. Теплоотдача в трубах. Теплообмен и сопротивление при течении в кольцевых каналах. Теплообмен и сопротивление при продольном обтекании пучков труб. Теплоотдача при свободной конвекции. Интенсификация теплообмена. Аналогия процессов тепло- и массообмена. Основные соотношения для расчета теплообменников. Типы теплообменников и схемы движения теплоносителей. Изменение температур теплоносителей и средний температурный напор для прямотока, противотока и перекрестного тока. Эффективность теплообменника. Тепловой и гидравлический расчет теплообменников. Методы интенсификации теплопередачи. Методы оценки энергетической эффективности теплообменников.

### 9. Конвективный тепломассообмен

#### 9.1. Теория пограничного слоя. Оценка порядка величин в дифференциальных уравнениях конвективного теплообмена для течений с большими числами Рейнольдса. Уравнения пограничного слоя. Преобразование подобия.

Оценка порядка величин в дифференциальных уравнениях конвективного теплообмена для течений с большими числами Рейнольдса. Уравнения пограничного слоя. Преобразование подобия.

## 9.2. Автомодельные переменные.

Интегрирование уравнения Фолкнера-Скэн для пограничных слоев. Интегрирование уравнения теплового пограничного слоя. Интегрирование уравнений свободно-конвективных пограничных слоев. Интегральный метод решения задач пограничного слоя. Законы трения, тепло-обмена, массообмена. Стандартные законы. Условия ламинарно-турбулентного перехода. Расчет теплоотдачи при различных тепловых граничных условиях на обтекаемой поверхности. Расчетные модели турбулентности в задачах конвективного теплообмена. Модели пути смещения. Дифференциальное уравнение переноса турбулентной энергии. Модель турбулентности  $k$ - $\epsilon$ . Численное моделирование конвективного тепломассообмена и универсальные программные пакеты.

## 10. Двухфазный теплообмен. Расчетное задание №2. Расчетное задание №3

### 10.1. Условия динамического и теплового взаимодействия на поверхности раздела фаз

Структуры, режимы и количественные характеристики двухфазных потоков. Теплообмен при кипении. Кривые кипения. Физика кипения. Модели теплообмена при пузырьковом кипении. Плотность центров парообразования. Рост пузырька пара в перегретой жидкости. Коэффициент теплоотдачи при пузырьковом кипении. Расчетные соотношения для кипения в большом объеме. Кризис кипения. Пленочное кипение. Кипение в трубах. Структура потока и режимы кипения. Диагностика кризисов кипения в зависимости от давления, массовой скорости и паросодержания. Теплообмен при конденсации. Пленочные течения. Теплообмен при конденсации на гравитационных ламинарных пленках жидкости. Гравитационные турбулентные пленки. Сдвиговые ламинарные пленки. Сдвиговые турбулентные пленки. Расчет трения на межфазной границе.

### 10.2. Структуры, режимы и количественные характеристики двухфазных потоков

Универсальные аппроксимации для расчета теплообмена при конденсации. Конденсация на трубных пучках. Конденсация в трубах. Влияние примесей неконденсирующихся газов. Конденсация при непосредственном контакте на сплошных и диспергированных струях жидкости. Расчет тепломассообмена при конденсации парогазовой смеси.

## 11. Теплообмен излучением

### 11.1. Основные понятия и законы. Количественные характеристики излучения

### 11.2. Классификация потоков излучения. Закон Кирхгофа. Законы излучения абсолютно черного тела

Теплообмен излучением в прозрачной среде. Понятие углового коэффициента излучения. Расчет угловых коэффициентов. Замкнутая система поверхностей. Аналитические решения для простых систем. Примеры, приложения. Радиационные и конвективные тепловые потоки. Гравитационные условия. Задача об экранах поверхностях нагрева. Компьютерное моделирование.

### 11.3. Излучение и поглощение нечерных тел

Теплообмен излучением в системе с излучающим и поглощающим газом. Расчет излучения и поглощения газов. Уравнение переноса излучения. Замкнутая система поверхностей. Радиационно-конвективный теплообмен в камере сгорания. Компьютерное моделирование.

## 12. Лабораторный практикум по тепломассообмену

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Расчет теплоотдачи при свободной конвекции.;
2. Расчет угловых коэффициентов излучения для сложных систем.;
3. Расчет теплоотдачи и гидравлического сопротивления в трубных пучках.;
4. Расчет теплопередачи через цилиндрические трубы с изоляцией. Расчет критического диаметра изоляции.;
5. Расчет теплопередачи через оребренные поверхности.;
6. Расчет теплопередачи через плоские, цилиндрические и сферические стенки.;
7. Расчет результирующих потоков излучения для сложных систем.;
8. Расчет теплоотдачи при вынужденной конвекции (обтекании горизонтальной пластины).;
9. Расчет теплоотдачи и гидравлического сопротивления при течении однофазной жидкости в трубах и каналах.;
10. Законы излучения. Расчет теплообмена излучением для простых систем.;
11. Расчет теплообмена при конденсации пара на поверхности вертикальной пластины (трубы). Расчет теплообмена при конденсации пара на поверхности горизонтальной трубы.;
12. Расчет нестационарной теплопроводности пластины и цилиндра.;
13. Дифференциальные уравнения термодинамики. Характеристические функции, уравнения Макс-велла. Дифференциальные соотношения между калорическими и термическими функциями состояния.;
14. Законы и уравнения идеального газа. Основные процессы идеального газа, соотношения пара-метров, теплота и работа процессов, расчет для газов с постоянной теплоемкостью и для газов с тепло-емкостью, зависящей от температуры, теплота и техническая работа в потоке газа. Изображение процессов в  $p,v$ - и  $T,s$ -диаграммах.;
15. Термодинамические циклы теплонасосных установок. Обратный цикл Карно – цикл теплонасосной установки (ТНУ). Принципиальная схема и цикл парокомпрессионных ТНУ в  $T,s$ -диаграмме, отопительный коэффициент и экспергетический КПД, мощность привода.;
16. Обратные термодинамические циклы. Циклы холодильных установок. Холодопроизводительность, холодильный коэффициент и экспергетический КПД установок.;
17. Бинарные циклы; термодинамический цикл парогазовой установки (ПГУ) с котлом-утилизатором, изображение цикла в  $T,s$ -диаграмме, мощность ПГУ, КПД цикла.;
18. Цикл простой газотурбинной установки (ГТУ). Удельная работа и подведенная теплота, термический и внутренний КПД цикла, мощность ГТУ, изображение цикла в  $T,s$ -диаграмме. Влияние параметров газа на КПД цикла;
19. Принципиальная схема паротурбинной установки (ПТУ) и цикл Ренкина. Удельная работа, подведенная теплота, термический и внутренний КПД цикла, мощность ПТУ, изображение циклов в  $T,s$ - и  $h,s$ -диаграммах. Влияние начальных и конечных параметров пара на КПД цикла Ренкина. Цикл ПТУ с промежуточным перегревом пара. Цикл ПТУ с регенеративным подогревом питательной воды;
20. Процессы в неохлаждаемых и охлаждаемых компрессорах. Изображение процессов в  $p,v$ - и  $h,s$ -диаграммах, удельная работа компрессоров, мощность привода. Процессы в многоступенчатом компрессоре;
21. Параметры торможения. Процессы в соплах, расчет скорости и расхода газа и пара, коэффициенты скорости и расхода, изображение процессов в  $h,s$ - и  $p,v$ -диаграммах, влияние трения. Кризис течения, критические параметры потока, скорость звука. Закон обращения воздействия, геометрическое воздействие на поток, три режима истечения из суживающего сопла, сопло Лаваля. Процессы в диффузоре, влияние трения.

Дросселирование. Основное уравнение адиабатного дросселирования, эффект Джоуля-Томсона, кривая инверсии, изображение процесса дросселирования в  $h,s$ - и  $T,s$ -диаграммах.;

22. Термодинамические свойства реального газа, свойства влажного пара, линии фазовых переходов в термодинамических диаграммах ( $p,v$ -,  $p,T$ -,  $T,s$ - и  $h,s$ -), критическая точка, надкритическая область параметров состояния. Фазовые переходы, уравнение Клапейрона – Клаузиуса, правило фаз Гиббса.

Термодинамические процессы реального газа. Теплота и работа процессов, теплота и техническая работа в потоке реального газа, изображение процессов в термодинамических диаграммах.

Термические уравнения состояния реального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса и вириальное уравнение состояния, вириальные коэффициенты. Подобие термодинамических свойств веществ,  $z$ ,  $p$ -диаграмма.;

23. Смеси газов. Способы задания смеси, парциальные давления и объемы, законы Дальтона и Ама-га. Термодинамические свойства смеси идеального газа.;

24. Второй закон термодинамики. Формулировки второго закона термодинамики. Обратимые и не-обратимые процессы, причины необратимости. Цикл Карно, теоремы Карно. Энтропия, аналитическое выражение второго закона термодинамики для обратимых и необратимых процессов, расчет энтропии.;

25. Основные термины и определения. Функции состояния и функции процесса.

Первый закон термодинамики. Принцип эквивалентности, формулировки и уравнения первого закона термодинамики. Работа расширения, внутренняя энергия, энталпия, теплоемкость. Первый закон термодинамики для потока вещества, уравнение неразрывности, техническая работа, энталпия.;

26. Расчет характеристик двухфазных потоков. Расчет теплоотдачи при кипении в трубах. Расчет кризисов 2-го рода.;

27. Расчет теплообмена излучением в системе с излучающим и поглощающим газом.;

28. Термодинамические процессы во влажном воздухе. Расчет процессов с использованием  $h-d$  диаграммы;

29. Расчет теплоотдачи при кипении на поверхности. Расчет кризисов кипения 1-го рода..

### 3.4. Темы лабораторных работ

1. Лабораторная работа № 1. Определение коэффициента теплопроводности теплоизоляционного материала методом плоского слоя;
2. ТД. Лабораторная работа №2. Изохорное нагревание воды и водяного пара;
3. ТД. Лабораторная работа №1. Исследование процесса изотермического сжатия гексафторида серы;
4. Лабораторная работа № 36 и 36а. Нестационарная теплопроводность (Определение тепловых свойств материалов методом регулярного режима);
5. Лабораторная работа № 32. Местная теплоотдача при турбулентном движении воздуха в трубе;
6. Лабораторная работа № 19. Определение углового коэффициента излучения методом светового моделирования;
7. Лабораторная работа № 18. Определение коэффициента излучения твердого тела калориметрическим методом;
8. Лабораторная работа № 13. Теплоотдача при продольном протекании пластины;
9. Лабораторная работа №4. Определение изобарной теплоемкости и термодинамических свойств воздуха;
10. Лабораторная работа № 10. Теплоотдача при свободном движении капельной жидкости;

11. Лабораторная работа № 9. Местная теплоотдача при свободном движении воздуха около вертикальной пластины;
12. Лабораторная работа № 7. Теплоотдача горизонтальной трубы при свободном движении воздуха;
13. Лабораторная работа № 3. Определение теплопроводности воздуха методом нагретой нити;
14. Лабораторная работа № 2. Определение коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов методом трубы;
15. Лабораторная работа № 17. Теплоотдача при кипении воды;
16. Лабораторная работа № 37. Теплоотдача при поперечном обтекании цилиндра.

### **3.5 Консультации**

#### *Аудиторные консультации по курсовому проекту/работе (КПР)*

1. Изучение алгоритма решения расчётного задания №2. Ознакомление с примерами расчёта процессов в бинарных смесях и правилами представления результатов расчётов

#### *Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)*

1. Методы расчёта параметров и функций состояния с помощью таблиц ВТИ и МЭИ
2. Использование доступных Web-ресурсов для расчёта термодинамических процессов
3. Обсуждение материала по разделу: "Дифференциальные соотношения термодинамики"
4. Обсуждение материала по разделу: "Процессы в реальных газах" с точки зрения молекулярного строения вещества
5. Обсуждение материала по разделу: "Расчёты процессов в водяном паре"
6. Обсуждение материала по разделу: "Истечение и дросселирование газов и паров"
7. Обсуждение материала по разделу: "Расчёт термодинамических циклов ГТУ"
8. Обсуждение материала по разделу: "Расчёт термодинамических циклов ПТУ"
9. Обсуждение материала по разделу: "Лабораторный практикум по технической термодинамике"

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)											Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<b>Знать:</b>													
методы расчета термодинамических процессов идеального и реального газ	ИД-1 <sub>ОПК-4</sub>		+	+									Тестирование/Защита лабораторных работ № 1-4 Расчетно-графическая работа/Расчетное задание 1.2. Расчёт цикла смеси идеальных газов в 5 процессах
основные законы термодинамики и условия их применения	ИД-1 <sub>ОПК-4</sub>	+											Контрольная работа/Контрольная работа №1.1. Расчет термодинамических процессов идеального газа с учетом зависимости теплоёмкости газа от температуры. Контрольная работа №1.2. Определение термодинамических свойств и расчет процессов воды и водяного пара
основные источники научно-технической информации о новых разработках в области тепломассообмена	ИД-3 <sub>ОПК-4</sub>							+					Расчетно-графическая работа/Расчетное задание
методики расчета процессов теплопроводности в элементах конструкций, тепломассообмена при свободной и вынужденной конвекции, двухфазного тепломассообмена, радиационного теплообмена	ИД-3 <sub>ОПК-4</sub>						+	+					Коллоквиум/Защита одной из лабораторных работ №1, №2, №3, №36, №36 Коллоквиум/Защита одной из лабораторных работ №13, №32, №37, №7, №9, №10
основные принципы тепломассообмена и методы математического моделирования тепломассообменных процессов и	ИД-3 <sub>ОПК-4</sub>											+	Контрольная работа/Контрольная работа «Теплообмен при фазовых переходах, теплообмен излучением»



теплогидравлических процессов										задание
самостоятельно ставить и решать задачи теплогидравлических процессов и выполнять численные расчеты	ИД-3ОПК-4								+	Коллоквиум/Защита лабораторной работы №17  Контрольная работа/Контрольная работа «Теплообмен при фазовых переходах, теплообмен излучением»
самостоятельно анализировать процессы тепломассообмена и принимать оптимальные решения при конструировании и эксплуатации тепломассообменного оборудования	ИД-3ОПК-4								+	Коллоквиум/Защита одной из лабораторных работ №1, №2, №3, №36а, №36  Контрольная работа/Контрольная работа «Теплообмен при фазовых переходах, теплообмен излучением»  Контрольная работа/Контрольная работа "Теплопроводность, конвективный теплообмен, теплообменные аппараты"
пользоваться справочными данными теплофизических свойств рабочих тел и теплоносителей	ИД-1ОПК-6								+	Коллоквиум/Защита одной из лабораторных работ №13, №32, №37, №7, №9, №10

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

#### **4 семестр**

##### Форма реализации: Защита задания

1. Защита лабораторных работ № 1-4 (Тестирование)

##### Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа №1.1. Расчет термодинамических процессов идеального газа с учетом зависимости теплоёмкости газа от температуры. Контрольная работа №1.2. Определение термодинамических свойств и расчет процессов воды и водяного пара (Контрольная работа)
2. Контрольная работа №1.3. Расчет процессов в суживающихся соплах и соплах Лаваля. (Контрольная работа)
3. Контрольная работа №1.4. Расчет термодинамических циклов паротурбинных и газотурбинных установок (Контрольная работа)
4. Расчетное задание 1.1. Расчёт состояний в идеальных газах с помощью таблиц ВТИ и МЭИ (Решение задач)
5. Расчетное задание 1.2. Расчёт цикла смеси идеальных газов в 5 процессах (Расчетно-графическая работа)

#### **5 семестр**

##### Форма реализации: Защита задания

1. Защита лабораторной работы №17 (Коллоквиум)
2. Защита одной из лабораторных работ №1, №2, №3, №36а, №36 (Коллоквиум)
3. Защита одной из лабораторных работ №13, №32, №37, №7, №9, №10 (Коллоквиум)

##### Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа "Теплопроводность, конвективный теплообмен, теплообменные аппараты" (Контрольная работа)
2. Контрольная работа « Теплообмен при фазовых переходах, теплообмен излучением» (Контрольная работа)
3. Расчетное задание (Расчетно-графическая работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

#### Экзамен (Семестр №4)

Итоговая оценка = оценка за текущий контроль  $\times$  0,4 + оценка за промежуточный контроль  $\times$  0,6

#### Экзамен (Семестр №5)

Итоговая оценка = оценка за текущий контроль  $\times$  0,4 + оценка за промежуточный контроль  $\times$  0,6

В диплом выставляется оценка за 5 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Исаченко, В. П. Теплопередача : Учебник для энергетических вузов и факультетов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел . – 4-е изд., перераб. и доп . – М. : Энергоиздат, 1981 . – 416 с.;
2. Кириллин, В. А. Техническая термодинамика : учебник для вузов по направлению 140100 "Теплоэнергетика" / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин . – 5-е изд., перераб. и доп . – М. : Издательский дом МЭИ, 2008 . – 496 с. - ISBN 978-5-383-00263-6 .  
<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=4174>;
3. "Теплоэнергетика и теплотехника: Справочная серия: В 4 кн. Кн. 2. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: справочник", (4-е изд., стереот.),  
Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2007 - (564 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72301](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72301);
4. А. В. Козырев- "Термодинамика и молекулярная физика", Издательство: "Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники", Томск, 2012 - (113 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208984>.

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Acrobat Reader;
4. SmathStudio.

### **5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:**

1. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" -  
[http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных ВИНИТИ online - <http://www.viniti.ru/>
4. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
5. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
6. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
7. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
8. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
9. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
10. Журналы American Chemical Society - <https://www.acs.org/content/acs/en.html>
11. Журналы American Institute of Physics - <https://www.scitation.org/>
12. Журналы American Physical Society - <https://journals.aps.org/about>
13. База данных издательства Annual Reviews Science Collection -  
<https://www.annualreviews.org/>
14. База данных Association for Computing Machinery Digital Library -  
<https://dl.acm.org/about/content>
15. Журналы издательства Cambridge University Press - <https://www.cambridge.org/core>
16. База данных IEL издательства IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) - <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp?reload=true>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	В-308, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, трибуна, доска меловая, микрофон, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, техническая аппаратура, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Б-409, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	В-209/10, Учебная лаборатория тепломассообмена	рабочее место сотрудника, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, лабораторный стенд, компьютер персональный, принтер, инвентарь учебный, стенд информационный
	В-205, Учебная лаборатория технической термодинамики	рабочее место сотрудника, стол преподавателя, стол, шкаф для документов, шкаф для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, инвентарь специализированный, стенд лабораторный, учебно-наглядное пособие
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Б-413, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-201, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Б-413, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Б-400/1, Помещение дирекции ЭнМИ	стеллаж, стол, шкаф

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Термодинамика и тепло- и массообмен

(название дисциплины)

## 4 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Расчетное задание 1.1. Расчёт состояний в идеальных газах с помощью таблиц ВТИ и МЭИ (Решение задач)
- КМ-2 Контрольная работа №1.1. Расчет термодинамических процессов идеального газа с учетом зависимости теплоёмкости газа от температуры. Контрольная работа №1.2. Определение термодинамических свойств и расчет процессов воды и водяного пара (Контрольная работа)
- КМ-3 Расчетное задание 1.2. Расчёт цикла смеси идеальных газов в 5 процессах (Расчетно-графическая работа)
- КМ-4 Контрольная работа №1.3. Расчет процессов в суживающихся соплах и соплах Лаваля. (Контрольная работа)
- КМ-5 Контрольная работа №1.4. Расчет термодинамических циклов паротурбинных и газотурбинных установок (Контрольная работа)
- КМ-6 Защита лабораторных работ № 1-4 (Тестирование)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	4	12	14	15	15	16
1	Основные законы термодинамики и общие закономерности							
1.1	Введение, основные законы термодинамики, свойства и процессы идеального газа	+	+					
1.2	Первый закон термодинамики	+	+					
1.3	Второй закон термодинамики. Теоремы Карно, Энтропия и её свойства	+	+					
1.4	Дифференциальные соотношения термодинамики		+					
2	Процессы идеального газа							
2.1	Смеси идеальных газов				+			+
2.2	Процессы идеального газа				+			+
3	Процессы в реальных газах. Свойства воды и водяного пара							
3.1	Основы молекулярного строения реального вещества. Агрегатные состояния веществ. Водяной пар				+			+

4	Процессы течения газов и паров. Понятие сопла и диффузора. Процессы дросселирования рабочих тел						
4.1	Истечение идеальных газов из сопел				+		
4.2	Истечение водяного пара из сопел различной конфигурации				+		
4.3	Процессы дросселирования газов и паров. Инверсия				+		
5	Термодинамические циклы теплосиловых, теплонасосных и холодильных установок						
5.1	Циклы газотурбинных энергетических установок				+		
5.2	Циклы паротурбинных установок				+		
5.3	Обратные термодинамические циклы				+		
6	Лабораторный практикум по тепломассообмену						
Вес КМ, %:		10	30	20	15	15	10

## 5 семестр

### Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-7 Защита одной из лабораторных работ №1, №2, №3, №36а, №36 (Коллоквиум)
- КМ-8 Контрольная работа "Теплопроводность, конвективный теплообмен, теплообменные аппараты" (Контрольная работа)
- КМ-9 Контрольная работа « Теплообмен при фазовых переходах, теплообмен излучением» (Контрольная работа)
- КМ-10 Защита лабораторной работы №17 (Коллоквиум)
- КМ-11 Расчетное задание (Расчетно-графическая работа)
- КМ-12 Защита одной из лабораторных работ №13, №32, №37, №7, №9, №10 (Коллоквиум)

### Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-7	КМ-8	КМ-9	КМ-10	КМ-11	КМ-12
		Неделя КМ:	14	8	10	12	4	16
1	Принципы тепломассообмена							
1.1	Законы переноса теплоты, вещества, импульса. Теплообмен	+						+
1.2	Температурное поле. Изотермы. Градиент температуры. Плотность теплового потока	+						+
2	Теплопроводность. Расчетное задание №1							

2.1	Закон теплопроводности Фурье	+				+	+
2.2	Дифференциальное уравнение теплопроводности. Краевые условия. Типы граничных условий.					+	
3	Инженерные методы расчета тепло-массообмена в энергетических установках						
3.1	Расчет теплоотдачи в элементах теплообменных устройств		+				
3.2	Методы подобия и размерностей					+	
4	Конвективный тепломассообмен						
4.1	Теория пограничного слоя. Оценка порядка величин в дифференциальных уравнениях конвективного теплообмена для течений с большими числами Рейнольдса. Уравнения пограничного слоя. Преобразование подобия.	+	+	+	+	+	+
4.2	Автомодельные переменные.		+			+	
5	Двухфазный теплообмен. Расчетное задание №2. Расчетное задание №3						
5.1	Условия динамического и теплового взаимодействия на поверхности раздела фаз			+	+		
5.2	Структуры, режимы и количественные характеристики двухфазных потоков			+	+		
6	Теплообмен излучением						
6.1	Основные понятия и законы. Количественные характеристики излучения			+			
6.2	Классификация потоков излучения. Закон Кирхгофа. Законы излучения абсолютно черного тела			+			
6.3	Излучение и поглощение нечерных тел			+			
Вес КМ, %:		20	15	15	15	15	20