

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

---

Направление подготовки/специальность: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Энергетика теплотехнологии

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины  
ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	Обязательная
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.О.20
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	3 семестр - 4; 4 семестр - 5; всего - 9
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	324 часа
<b>Лекции</b>	3 семестр - 32 часа; 4 семестр - 32 часа; всего - 64 часа
<b>Практические занятия</b>	3 семестр - 32 часа; 4 семестр - 32 часа; всего - 64 часа
<b>Лабораторные работы</b>	4 семестр - 16 часов;
<b>Консультации</b>	3 семестр - 2 часа; 4 семестр - 2 часа; всего - 4 часа
<b>Самостоятельная работа</b>	3 семестр - 77,5 часа; 4 семестр - 97,5 часа; всего - 175,0 часа
<b>в том числе на КП/КР</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Иная контактная работа</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>включая:</b> Контрольная работа Расчетно-графическая работа Лабораторная работа	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
Экзамен	3 семестр - 0,5 часа;
Экзамен	4 семестр - 0,5 часа;
	всего - 1,0 час

**Москва 2022**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сухих А.А.
	Идентификатор	R263e31c0-SukhikhAA-8cd24e7d

(подпись)

А.А. Сухих

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Бернадинер И.М.
	Идентификатор	Rb54b1d8f-BernadinerIM-8f498830

(подпись)

И.М.

Бернадинер

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b

(подпись)

А.Н. Рогалев

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** - изучение законов сохранения и превращения энергии и математического аппарата технической термодинамики;  
- освоение методов анализа эффективности термодинамических систем и процессов передачи и трансформации теплоты;  
- развитие технического образа мышления.

### Задачи дисциплины

- освоение применения основных законов термодинамики для анализа работы теплотехнического оборудования;
- ознакомление с методами получения информации о термических и калорических свойствах рабочих веществ теплосиловых, теплонасосных и холодильных установок;
- освоение методов расчета термодинамических процессов и термодинамических циклов;
- освоение методов определения и анализа показателей эффективности работы тепловых и холодильных машин.

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-3 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	ИД-5 <sub>ОПК-3</sub> Демонстрирует понимание физических явлений и умеет применять физические законы механики, молекулярной физики, термодинамики, электричества и магнетизма для решения типовых задач	знать: - основы экспериментального исследования и математического моделирования термодинамических процессов и циклов теплосиловых установок; - о термических и калорических свойствах веществ, методах получения информации о них; - основные понятия и термины в области технической термодинамики, их физический смысл; основные законы термодинамики, особенности их применения для расчета и анализа термодинамических процессов.  уметь: - применять знания о термических и калорических свойствах веществ для расчета и анализа термодинамических процессов в техническом оборудовании, пользоваться справочными данными для их поиска; - применять основные понятия, термины и законы термодинамики для описания физических процессов, происходящих в техническом оборудовании.
ОПК-4 Способен демонстрировать применение основных	ИД-2 <sub>ОПК-4</sub> Демонстрирует понимание основ термодинамики, основных	знать: - термодинамические методы расчета и анализа типовых процессов в

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	законов термодинамики и применяет их для расчетов термодинамических процессов, циклов и их показателей	<p>техническом оборудовании, циклов и их показателей;</p> <p>- термодинамические процессы и циклы преобразования энергии, используемые в теплосиловых, холодильных и теплонасосных установках, показатели их эффективности.</p> <p>уметь:</p> <p>- вычислять показатели энергетической эффективности термодинамических процессов, прямых и обратных термодинамических циклов;</p> <p>- определять рабочие параметры технического оборудования, анализировать влияние их изменения на показатели эффективности теплотехнических установок и систем.</p>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Энергетика теплотехнологии (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать дисциплины высшей математики, химии, физики, информатики
- уметь пользоваться прикладными программами MS Office, MathCad

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 9 зачетных единиц, 324 часа.

№ 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 понятия термодинамики	5	3	2	-	1	-	-	-	-	-	2	-	<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Решение задач по теме Основные понятия и определения термодинамики по учебному пособию Сухих А.А., Антаненкова И.С., Кузнецов В.Н., Милютин А.А. Приложение законов термодинамики к расчету основных процессов идеального и реального газа. Учебное пособие. // Москва. Издательство МЭИ. 2018. 40 с. (с.4-7).</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение литературы по учебнику Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика, 5-е изд.,-М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 496 с. (с. 9-15).</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [9], 9-15</p>	
1.1	Основные понятия термодинамики	5		2	-	1	-	-	-	-	-	2	-		
2	Первый закон термодинамики	6		2	-	2	-	-	-	-	-	-	2		-
2.1	Первый закон термодинамики	6		2	-	2	-	-	-	-	-	-	2		-
3	Молекулярно-	5		2	-	1	-	-	-	-	-	-	2		-





7.1	Методы термодинамического анализа	8		4	-	2	-	-	-	-	-	2	-	"Исследование адиабатного процесса истечения водяного пара через суживающееся сопло". М.: Издательский дом МЭИ, 2016. <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Изучение литературы по учебнику Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика, 5-е изд.,-М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 496 с. (с.12-16). <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение литературы по учебнику Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика, 5-е изд.,-М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 496 с. (с. 290-302). <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [9], 295-302
8	Фазовые диаграммы и процессы с реальными веществами	17		5	-	8	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Решение задач по теме Основные понятия и определения термодинамики по учебному пособию Сухих А.А., Антаненкова И.С., Кузнецов В.Н., Милютин А.А. Приложение законов термодинамики к расчету основных процессов идеального и реального газа. Учебное пособие. // Москва. Издательство МЭИ. 2018. 40 с. (с. 28-33). <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение литературы по учебнику Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика, 5-е изд.,-М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 496 с. (с.209-302). <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 25-147 [8], 23-34 [9], 290-302
8.1	Фазовые диаграммы и процессы с реальными веществами	17		5	-	8	-	-	-	-	-	4	-	
9	Характеристические	11		3	-	4	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b>

	функции, уравнения состояния и дифференциальный аппарат термодинамики												<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Решение задач по теме Процессы истечения газов и жидкостей в соплах по учебному пособию Сухих А.А., Антаненкова И.С., Кузнецов В.Н., Милютин А.А. Расчет процессов истечения газов в соплах. Расчет прямых и обратных термодинамических циклов. Учебное пособие. // Москва. Издательство МЭИ. 2018. 64 с. (с.4-14). <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение материала по учебнику Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика, 5-е изд.,-М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 496 с. (с. 267-293). <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [9], 118-125
9.1	Характеристические функции, уравнения состояния и дифференциальный аппарат термодинамики	11	3	-	4	-	-	-	-	-	4	-	
10	Основы химической термодинамики	7	3	-	2	-	-	-	-	-	2	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение литературы по учебнику Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика, 5-е изд.,-М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 496 с. (с. 457-482). <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [9], 457-468
10.1	Основы химической термодинамики	7	3	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
11	Третий закон термодинамики и его следствия	5	2	-	1	-	-	-	-	-	2	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение материала по учебнику Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика, 5-е изд.,-М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 496 с. (с. 457-482). <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [9], 482-487
11.1	Третий закон термодинамики и его следствия	5	2	-	1	-	-	-	-	-	2	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2.0	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>2.0</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>44</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>32</b>	<b>2.0</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>44</b>	<b>77.5</b>		

12	Процессы истечения газов и жидкостей в соплах	26	4	4	8	6	-	-	-	-	-	8	-	<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Решение задач в учебно-методическом пособии по проведению практических занятий по курсу «Техническая термодинамика»: Методическое пособие / А.А. Сухих, В.Н. Кузнецов, В.А. Милютин, И.С. Антаненкова – М.: Издательство МЭИ, 2017 – (с. 5-14).</p> <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Изучение методики проведения ЛР №9 В.С. Охотин, П.Г. Прусаков. "Исследование адиабатного процесса течения воздуха в суживающихся соплах". М.: Издательский дом МЭИ, 2016.</p> <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Изучение методики проведения ЛР №7 Е.В. Джурева, В.Ф. Утенков, К.И. Кузнецов "Исследование адиабатного процесса истечения водяного пара через суживающееся сопло". М.: Издательский дом МЭИ, 2016.</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение материала по учебнику Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика, 5-е изд.,-М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 496 с. (с. 267-293).</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 25-147 [2], 5-280 [7], 5-14 [9], 267-284</p>
12.1	Процессы истечения газов и жидкостей в соплах	26		4	8	6	-	-	-	-	-	8	-	
13	Влажный воздух	13		2	6	1	-	-	-	-	-	4	-	<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Решение задач в учебно-методическом пособии по проведению практических занятий по курсу «Техническая термодинамика»: Методическое пособие / А.А. Сухих, В.Н. Кузнецов, В.А. Милютин,</p>
13.1	Влажный воздух	13		2	6	1	-	-	-	-	-	4	-	

														И.С. Антаненкова – М.: Издательство МЭИ, 2017 – (с. 15-19). <b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Изучение методики проведения ЛР №8 Б.И. Казанджан, К.И. Кузнецов, С.В. Скородумов "Исследование процессов истечения во влажном воздухе". М.: Издательский дом МЭИ, 2018. <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение материала по учебнику Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика, 5-е изд.,-М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 496 с. (с. 445-452). <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [7], 15-18 [9], 445-452
14	Циклы паротурбинных установок	39	7	2	8	-	-	-	-	-	22	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Решение задач в учебно-методическом пособии по проведению практических занятий по курсу «Техническая термодинамика»: Методическое пособие / А.А. Сухих, В.Н. Кузнецов, В.А. Милотин, И.С. Антаненкова – М.: Издательство МЭИ, 2017 – (с. 19-31). <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение материала по учебнику Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика, 5-е изд.,-М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 496 с. (с. 347-375). <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 25-147 [6], 14-32 [7], 19-31 [9], 347-380	
14.1	Циклы паротурбинных установок	39	7	2	8	-	-	-	-	-	22	-		
15	Теплофикационные	12	4	-	2	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b>	

	циклы														
15.1	Теплофикационные циклы	12	4	-	2	-	-	-	-	-	-	6	-	Решение задач в учебно-методическом пособии по проведению практических занятий по курсу «Техническая термодинамика»: Методическое пособие / А.А. Сухих, В.Н. Кузнецов, В.А. Милютин, И.С. Антаненкова – М.: Издательство МЭИ, 2017 – (с. 32-36). <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение материала по учебнику Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика, 5-е изд.,-М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 496 с. (с. 388-390). <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 25-147 [7], 32-36 [9], 388-391	
16	Циклы АЭС	9	3	-	2	-	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Изучение методики и выполнение индивидуального домашнего задания (КМЗ) «Расчет термодинамического цикла паротурбинной установки с промежуточным перегревом пара и регенерацией». Учебное - методическое пособие: Джураева Е.В., Охотин В.С., Утенков В.Ф. Расчетные задания для самостоятельных занятий по термодинамике и технической термодинамике. М. Издательство МЭИ. 2015.	
16.1	Циклы АЭС	9	3	-	2	-	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Решение задач в учебно-методическом пособии по проведению практических занятий по курсу «Техническая термодинамика»: Методическое пособие / А.А. Сухих, В.Н. Кузнецов, В.А. Милютин, И.С. Антаненкова – М.: Издательство МЭИ, 2017 – (с. 28-31). <b><u>Изучение материалов литературных</u></b>	

													<b><u>источников:</u></b> [1], 25-147 [3], 103-106	
17	Процессы сжатия в компрессорах	8	2	-	2	-	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Решение задач в учебно-методическом пособии по проведению практических занятий по курсу «Техническая термодинамика»: Методическое пособие / А.А. Сухих, В.Н. Кузнецов, В.А. Милютин, И.С. Антаненкова – М.: Издательство МЭИ, 2017 – (с. 37-40).
17.1	Процессы сжатия в компрессорах	8	2	-	2	-	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [5], 1-17 [7], 37-40
18	Циклы ГТУ и ДВС	11	4	-	3	-	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Решение задач в учебно-методическом пособии по проведению практических занятий по курсу «Техническая термодинамика»: Методическое пособие / А.А. Сухих, В.Н. Кузнецов, В.А. Милютин, И.С. Антаненкова – М.: Издательство МЭИ, 2017 – (с. 41-46).
18.1	Циклы ГТУ и ДВС	11	4	-	3	-	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение материала по учебнику Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика, 5-е изд.,-М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 496 с. (с. 309-319).
														<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 111-128 [5], 18-52 [7], 41-46
19	Циклы парогазовых установок	8	2	-	2	-	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение материала по учебнику Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика, 5-е изд.,-М.: Издательский
19.1	Циклы парогазовых установок	8	2	-	2	-	-	-	-	-	-	4	-	

													дом МЭИ, 2008. 496 с. (с. 399-337). Изучение материала по учебному пособию: Александров А.А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок. Учебное пособие. – М.: Издательство МЭИ, Изд. 2, 2006. 158 с. (с. 128-133). <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 128-134
20	Циклы холодильных и теплонасосных установок	18	4	-	6	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Решение задач в учебно-методическом пособии по проведению практических занятий по курсу «Техническая термодинамика»: Методическое пособие / А.А. Сухих, В.Н. Кузнецов, В.А. Милютин, И.С. Антаненкова – М.: Издательство МЭИ, 2017 – (с. 47-52). <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение материала по учебнику Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика, 5-е изд.,-М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 496 с. (с. 414-428; 438-439). <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [4], 10-30 [7], 47-48 [9], 414-422; 438-440
20.1	Циклы холодильных и теплонасосных установок	18	4	-	6	-	-	-	-	-	8	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2.0	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	180.0	32	16	32	-	2.0	-	-	0.5	64	33.5	
	Итого за семестр	180.0	32	16	32	2.0	-	-	-	0.5	97.5		
	<b>ИТОГО</b>	<b>324.0</b>	<b>64</b>	<b>16</b>	<b>64</b>	<b>4.0</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1.0</b>	<b>175.0</b>		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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 понятия термодинамики

#### 1.1. Основные понятия термодинамики

Техническая термодинамика как теоретическая основа систем энергообеспечения (теплотой, электроэнергией и холодом). Понятия о термодинамических системах, параметрах состояния, равновесных и неравновесных процессах. Определение понятий термодинамической системы и окружающей среды. Функции состояния и функции процесса. Уравнение состояния идеальных газов. Термические коэффициенты и соотношение между ними..

### 2. Первый закон термодинамики

#### 2.1. Первый закон термодинамики

Первый закон термодинамики как закон сохранения и превращения энергии. Теплота и работа - формы передачи энергии. Принцип эквивалентности тепла и механической работы. Формулировки первого закона термодинамики. Внутренняя энергия и ее свойства. Энтальпии и её свойства. Виды работ термомеханической системы и связь между ними. Первый закон термодинамики для стационарного потока массы. Вывод и примеры его приложения. Определение изобарной и изохорной теплоемкостей, вывод уравнения для их соотношения. Определение теплоемкости. Размерность теплоемкостей. Соотношение массовой, мольной и объемной теплоемкостей. Теплоемкость идеальных газов. Уравнение Майера..

### 3. Молекулярно-кинетическая теория теплоемкости идеальных газов

#### 3.1. Молекулярно-кинетическая теория теплоемкости идеальных газов

Молекулярно-кинетическая теория теплоемкости газов. Зависимость теплоемкости идеального газа от температуры. Формула Эйнштейна для расчета колебательных степеней свободы..

### 4. Процессы с идеальными газами

#### 4.1. Процессы с идеальными газами

Внутренняя энергия и энтальпия идеального газа. Таблицы термодинамических свойств идеальных газов. Основные процессы идеальных газов. Вывод соотношений для относительных объемов и давлений для адиабатного процесса с учетом зависимости теплоемкости от температуры. Политропные процессы и их анализ. Графическое представление процессов в  $Pv$  и  $PT$ -диаграммах..

### 5. Второй закон термодинамики

#### 5.1. Второй закон термодинамики

Понятие об обратимых и необратимых процессах. Второе начало термодинамики. Формулировки и аналитическое выражение. Интеграл Клаузиуса. Определение энтропии. Вывод формулы для расчета изменения энтропии в процессах с идеальными газами. КПД прямого цикла Карно и теоретический холодильный коэффициент цикла Карно. Первая и вторая теоремы Карно. Изменение энтропии в необратимых процессах. Энтропийный метод термодинамического анализа для процесса теплообмена в конденсаторе ПТУ. Изменение энтропии в необратимых процессах. Энтропийный метод термодинамического анализа для процессов расширения (в турбине) и сжатия (в компрессоре).  $T,S$  - диаграмма и ее свойства.

Термодинамические циклы в  $T,S$  - диаграмме. Понятие о среднеинтегральной температуре подвода и отвода теплоты. Возрастание энтропии изолированной системы. Свойства энтропии. Аналитическое выражение второго закона термодинамики..

## 6. Смеси газов

### 6.1. Смеси газов

Смеси идеальных газов. Основные определения. Способы задания состава смеси. Уравнение состояния Клапейрона-Менделеева для смеси идеальных газов. Расчет термодинамических свойств идеальных газов по свойствам компонентов. Энтропия смеси идеальных газов. Смеси реальных газов. Калорические эффекты смешения. Определение калорических эффектов смешения по объемному эффекту смешения. Зависимость калорических эффектов смешения от давления и концентрации..

## 7. Методы термодинамического анализа

### 7.1. Методы термодинамического анализа

Изменение энтропии в необратимых процессах. Энтропийный метод термодинамического анализа для процесса теплообмена в конденсаторе ПТУ. Изменение энтропии в необратимых процессах. Понятие об изоэнтропном (внутреннем относительном) КПД. Энтропийный метод термодинамического анализа для процессов расширения (в турбине) и сжатия (в компрессоре). Определение эксергии. Потери эксергии. Формула Гюи - Стодола. Эксергетический КПД. Эксергетический метод термодинамического анализа. Эксергия неподвижной системы и стационарного потока. Эксергия источников теплоты с постоянной и переменной температурами. Эксергетический КПД турбины и компрессора. Эксергетический КПД теплообменного аппарата и трубопровода. Эксергетический КПД прямого цикла. Эксергетический КПД обратного цикла..

## 8. Фазовые диаграммы и процессы с реальными веществами

### 8.1. Фазовые диаграммы и процессы с реальными веществами

Фазовое равновесие и фазовые переходы. Агрегатные состояния. Фазовая  $p,T$  - диаграмма. Правило фаз Гиббса. Полные  $TS$ ,  $PV$  и  $PT$  диаграммы для нормальных веществ.  $PV$  и  $PT$  диаграммы для состояний воды и пара. Степень сухости, кипящая жидкость, сухой насыщенный и влажный пар. Справочные таблицы по теплофизическим свойствам воды и водяного пара. Метастабильные состояния переохлажденного пара и перегретой жидкости. Фазовые  $PV$ ,  $hP$ ,  $hS$  диаграммы в области жидкости и водяного пара. Свойства воды и водяного пара. Зависимость теплоемкости  $C_p$  водяного пара от температуры при до- и сверхкритических давлениях. Равновесные изотермический, изобарный и изохорный процессы реального вещества в  $PV$ ,  $TS$ ,  $PT$  и  $hS$  диаграммах. Расчет теплоты и работы. Фазовые  $PV$ ,  $hP$ ,  $hS$  диаграммы в области жидкости и пара. Теоретический и реальный адиабатный процесс в турбинах и компрессорах. Изображение адиабатных процессов в  $TS$  и  $hS$  диаграммах. Вычисление технической работы и мощности. Процесс адиабатного дросселирования. Изображение процесса в  $TS$ ,  $hP$  диаграммах. Кривая инверсии в  $hP$  и  $PT$  диаграммах. Вывод зависимости коэффициента адиабатного дросселирования от изменения термических параметров. Аналитическое и графическое (в  $TS$  диаграмме) сравнение процессов адиабатного дросселирования и изоэнтропного расширения..

## 9. Характеристические функции, уравнения состояния и дифференциальный аппарат термодинамики

### 9.1. Характеристические функции, уравнения состояния и дифференциальный аппарат термодинамики

Условие термодинамического равновесия в изолированной системе. Условия термодинамического равновесия при взаимодействии системы с окружающей средой. Условия устойчивости и равновесия в изолированной однородной системе. Принцип Ле Шателье – Брауна. Условие фазового равновесия в области жидкости и пара. Анализ устойчивости фаз в области жидкости и пара с помощью химического потенциала. Зависимость теплоты парообразования от температуры. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Уравнение состояния реального газа Ван-дер-Ваальса. Изотермы Ван-дер-Ваальса в  $PV$  диаграмме. Коэффициент сжимаемости. Температура Бойля. Уравнение состояния реального газа в вириальной форме. Характеристические функции для закрытой термодинамической системы и вывод соотношений Максвелла. Выражение теплоемкостей  $C_p$  и  $C_v$  через изменение энергий Гельмгольца и Гиббса. Летучесть реального газа. Характеристические функции при изменяющемся в системе количестве вещества. Характеристические функции многокомпонентной (гетерогенной) системы. Дифференциальные уравнения, связывающие  $u$ ,  $h$  реальных газов с термическими параметрами в  $V$ ,  $T$  – переменных. Дифференциальные уравнения, связывающие  $u$ ,  $h$  реальных газов с термическими параметрами в  $P$ ,  $T$  – переменных. Дифференциальные уравнения, связывающие теплоемкости реальных газов  $C_p$  и  $C_v$  между собой и с производными от  $P$ ,  $V$ ,  $T$  – параметров..

## 10. Основы химической термодинамики

### 10.1. Основы химической термодинамики

Тепловые эффекты химических реакций. Закон Гесса и его следствия. Соотношение между изохорным и изобарным эффектами реакции. Определение теплового эффекта химической реакции при условиях, отличающихся от стандартных. Зависимость теплового эффекта химической реакции  $Q_p$  от температуры. Закон Кирхгофа. Анализ химического равновесия с помощью энергии Гиббса. Физический смысл химического потенциала. Константа равновесия. Закон действующих масс. Принцип Ле Шателье – Брауна. Аналитическое выражение второго начала термодинамики для необратимых химических реакций. Химическое равновесие и закон действующих масс. Выражение зависимости константы равновесия от температуры. Вывод уравнения Вант-Гоффа. Графическая иллюстрация зависимости константы равновесия ( $\ln K$ ) от температуры ( $1/T$ )..

## 11. Третий закон термодинамики и его следствия

### 11.1. Третий закон термодинамики и его следствия

Тепловая теорема Нернста. Гипотеза Планка. Третий закон термодинамики и его следствия. Определение значения абсолютной величины энтропии на основе калорических данных..

## 12. Процессы истечения газов и жидкостей в соплах

### 12.1. Процессы истечения газов и жидкостей в соплах

Уравнение первого закона термодинамики для стационарного потока. Адиабатное течение газа и несжимаемой жидкости. Вывод зависимости скорости звука от термодинамических параметров. Уравнение Лапласа. Скорость и расход газа в суживающихся соплах. Кризис течения в суживающемся сопле. Сравнение скорости звука в газовых и жидких средах. Вычисление критического отношения давлений и скорости звука в соплах. Переход на сверхзвуковые режимы течения в комбинированном сопле. Уравнение неразрывности в дифференциальной форме. Качественный анализ зависимости выходной

скорости потока для диффузоров и сопел при скоростях набегающего потока меньших или больших скорости звука. Вычисление выходных скорости, сечения (расхода) в соплах при заданных скоростях набегающего потока. Параметры полного адиабатического торможения потока. Истечение с учетом необратимости. Коэффициенты скорости и расхода..

### 13. Влажный воздух

#### 13.1. Влажный воздух

Основные определения. . h-d диаграмма. Определение относительной влажности  $\phi$ , массового влагосодержания  $d$  и точки росы по h-d диаграмме. Определение точки росы и парциального давления водяного пара по формулам и по h-d диаграмме. Определение по h-d диаграмме количества удаленной влаги. Процесс сушки влажного материала нагретым воздухом в h,d- диаграмме влажного воздуха. Вычисление энтальпии влажного воздуха..

### 14. Циклы паротурбинных установок

#### 14.1. Циклы паротурбинных установок

Принципиальная схема паротурбиной установки. Цикл в p,v и T,s диаграммах. Термический КПД цикла. Влияние P, T – параметров теоретического цикла на КПД и мощность ПТУ. Анализ цикла Ренкина с учетом необратимых внутренних потерь. Внутренние относительные КПД турбин и насосов. Действительный и относительный КПД цикла. Абсолютный эффективный КПД ПТУ. Диаграмма тепловых потоков в ПТУ. Цикл ПТУ с промежуточным перегревом пара. Термический КПД, удельные расходы пара и тепла. Цикл ПТУ с промежуточным перегревом пара. Зависимость термического КПД от давления промперегрева. Регенеративный цикл ПТУ. Схема с подогревателями смешивающего типа. Термический КПД, удельные расходы пара и тепла. Регенеративный цикл ПТУ. Схема с подогревателями поверхностного типа. Термический КПД, удельные расходы пара и тепла. Зависимость КПД цикла от температуры питательной воды и числа регенеративных подогревателей. Теоретические TS и TD – диаграммы для бесконечного числа регенеративных подогревателей..

### 15. Теплофикационные циклы

#### 15.1. Теплофикационные циклы

Совместная выработка электроэнергии и теплоты для технологических процессов, для обеспечения населения отоплением и горячим водоснабжением. Теплофикационный цикл ПТУ с противодавлением. Теплофикационный цикл с отборами пара. Отопительный коэффициент и удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении. Расчет удельных расходов топлива при комбинированной выработке теплоты и электроэнергии..

### 16. Циклы АЭС

#### 16.1. Циклы АЭС

Принципиальная схема атомной электростанции с реактором ВВЭР. Циклы атомных станций с водяным теплоносителем. Цикл насыщенного пара с промежуточной сепарацией. Цикл с сепарацией и перегревом пара..

### 17. Процессы сжатия в компрессорах

#### 17.1. Процессы сжатия в компрессорах

Процессы сжатия газов в  $P,v$  и  $T,s$  – диаграммах. Необратимое адиабатное сжатие в компрессоре. Работа охлаждаемого одноступенчатого компрессора. Многоступенчатый компрессор. Процессы сжатия рабочего тела в поршневых компрессорах с межступенчатым охлаждением в  $P,v$  и  $T,s$  – диаграммах. Соотношение для определения оптимального перепада давлений между ступенями компрессора. Процессы сжатия рабочего тела в поршневых компрессорах с охлаждением цилиндра в  $P,v$  и  $T,s$  – диаграммах. Затраченная работа. Отведенная теплота..

### 18. Циклы ГТУ и ДВС

#### 18.1. Циклы ГТУ и ДВС

Цикл ДВС с изохорным подводом теплоты. Цикл ДВС с комбинированным подводом теплоты. Цикл ДВС с изобарным подводом теплоты. Термический КПД и удельная работа. Сравнение циклов ДВС с изохорным, изобарным и комбинированным подводом теплоты. Принцип работы эжектора и  $h,s$  – диаграмма процессов. Теоретический цикл и схема ГТУ. Влияние параметров рабочего тела на КПД и мощность ГТУ. Цикл и схема ГТУ с внутренними потерями в турбомашине. Влияние параметров рабочего тела на КПД и мощность ГТУ. Теоретический цикл ГТУ с многоступенчатым сжатием и расширением газа. Влияние параметров цикла на термический КПД и мощность ГТУ. Цикл и схема ГТУ с 3-х ступенчатым сжатием, 2-х ступенчатым расширением и предельной регенерацией. Термический КПД и мощность ГТУ. Теоретический регенеративный цикл ГТУ. Зависимость термического КПД от температур  $T_2$  и  $T_4$  для циклов ГТУ с различной степенью регенерации..

### 19. Циклы парогазовых установок

#### 19.1. Циклы парогазовых установок

Бинарный парогазовый цикл с газо-водяным подогревателем. Бинарный парогазовый цикл с котлом-утилизатором. Термический КПД и мощность парогазовой установки..

### 20. Циклы холодильных и теплонасосных установок

#### 20.1. Циклы холодильных и теплонасосных установок

Принципиальная схема газовой холодильной установки. Теоретический и действительный цикл газовой холодильной установки. Цикл и схема газовой холодильной установки с двухступенчатым сжатием рабочего тела в компрессорах. Цикл и схема парокомпрессионной холодильной установки. Цикл и схема регенеративной парокомпрессионной холодильной установки. Термодинамические характеристики обратных циклов. Сравнение термодинамических характеристик циклов газовой и парожидкостной холодильных установок. Цикл и схема парокомпрессионного теплового насоса. Вычисление коэффициента преобразования теплоты и мощности приводного электродвигателя. Цикл и схема парокомпрессионного теплового насоса на диоксиде углерода. Коэффициент преобразования теплоты и коэффициент совместного использования теплоты и холода. Цикл и схема парокомпрессионного теплового насоса. Вычисление коэффициента преобразования теплоты и эксергетического КПД при комбинированной выработке теплоты и холода..

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

1. 10. Семестр №3. Эксергия источников теплоты с постоянной и переменной температурами. Расчет эксергетического КПД прямого цикла. (2 часа). Семестр №3;
2. 5. Семестр №4. Термодинамические основы теплофикации. (2 часа).;
3. 4. Семестр №4. Схемы и циклы термодинамические циклы паротурбинных установок

- с промежуточным перегревом пара и регенерацией. (2 часа).;
4. 3. Семестр №4. Влажный воздух. (2 часа).;
  5. 2. Семестр №4. Контрольная работа №4 «Истечение идеальных газов и водяного пара из сопел». (2 часа).;
  6. 1. Семестр №4. Расчет выходной скорости и расходов в суживающихся и комбинированных соплах для идеальных и реальных газов. (4 часа).;
  7. 15. Семестр №3. Контрольная работа №3 «Термодинамические свойства и процессы водяного пара». (2 часа).;
  8. 14. Семестр №3. Расчет процессов адиабатного дросселирования. Представление процессов в  $hP$ ,  $TS$ , и  $hS$  диаграммах. (2 часа).;
  9. 13. Семестр №3. Расчет адиабатных процессов с водяным паром с производством технической работы. Представление процессов в  $PV$ ,  $TS$ , и  $hS$  диаграммах. (2 часа).;
  10. 12. Семестр №3. Расчет подводимой/отводимой теплоты, работы и внутренней энергии в изотермическом процессе с водяным паром. Представление процессов в  $PV$ ,  $TS$ ,  $PT$  и  $hS$  диаграммах. (3 часа).;
  11. 11. Семестр №3. Термодинамические свойства воды и водяного пара, таблицы свойств водяного пара. Области состояний воды и водяного пара в  $PV$ ,  $TS$ ,  $PT$  и  $hS$  диаграммах. (2 часа).;
  12. 9. Семестр №3. Эксергия неподвижной системы. Эксергия потока массы. Расчет эксергетического КПД турбины и компрессора. (2 часа).;
  13. 8. Семестр №3. Контрольная работа №2 «Термодинамические свойства смесей идеальных газов». (2 часа).;
  14. 7. Семестр №3. Смеси идеальных газов. Приложение уравнения состояния идеальных газов к расчету параметров смеси. Расчет энтропии смеси идеальных газов. (2 часа).;
  15. 3. Семестр №3. Первый закон термодинамики для потока вещества. Расчет технической работы, мощности турбин и компрессоров в адиабатных процессах. Расчет количества подведенной/отведенной теплоты в изобарном процессе. (3 часа).;
  16. 2. Семестр №3. Понятие об идеальном газе. Первый закон термодинамики для неподвижной системы. Виды работ в термомеханической системе и соотношение между ними. (2 часа).;
  17. 1. Семестр №3. Параметры состояния термодинамической системы. (2 часа).;
  18. 6. Семестр №4. Циклы и тепловые схемы атомных станций. (2 часа).;
  19. 7. Семестр №4. Контрольная работа №5 «Расчет циклов паротурбинных установок». (2 часа).;
  20. 8. Семестр №4. Процессы сжатия газов в компрессорах. (2 часа).;
  21. 9. Семестр №4. Термодинамические циклы двигателей внутреннего сгорания. (2 часа).;
  22. 10. Семестр №4. Схемы и термодинамические циклы газотурбинных установок. (2 часа).;
  23. 11. Семестр №4. Схемы и термодинамические циклы парогазовых установок. (2 часа).;
  24. 12. Семестр №4. Схемы и термодинамические циклы газовой холодильных установок. (2 часа).;
  25. 13. Семестр №4. Схемы и термодинамические циклы парокомпрессионных холодильных установок. (2 часа).;
  26. 14. Семестр №4. Схемы и термодинамические циклы тепловых насосов. (2 часа).;
  27. 15. Семестр №4. Контрольная работа №6 «Термодинамические циклы газотурбинных установок, двигателей внутреннего сгорания и холодильных машин». (2 часа)..

### 3.4. Темы лабораторных работ

1. 4. Семестр №4. Исследование процессов во влажном воздухе при сушке материала. (4 часа).;
2. 3. Семестр №4. Определение изобарной теплоемкости термодинамических свойств воздуха при атмосферном давлении. (4 часа).;
3. 2. Семестр №4. Исследование процесса адиабатного истечения воздуха через суживающееся сопло. (4 часа).;
4. 1. Семестр №4. Исследование процесса адиабатного истечения водяного пара через суживающееся сопло. (4 часа)..

### 3.5 Консультации

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

1. Ответы на вопросы по тематике раздела. Разбор типичных ошибок.
2. Ответы на вопросы по тематике раздела. Разбор типичных ошибок.
3. Ответы на вопросы по тематике раздела. Разбор типичных ошибок.
4. Ответы на вопросы по тематике раздела. Разбор типичных ошибок.
5. Ответы на вопросы по тематике раздела. Разбор типичных ошибок.
6. Ответы на вопросы по тематике раздела. Разбор типичных ошибок.
7. Ответы на вопросы по тематике раздела. Разбор типичных ошибок.
8. Ответы на вопросы по тематике раздела. Разбор типичных ошибок.
9. Ответы на вопросы по тематике раздела. Разбор типичных ошибок.
10. Ответы на вопросы по тематике раздела. Разбор типичных ошибок.
11. Ответы на вопросы по тематике раздела. Разбор типичных ошибок.
12. Ответы на вопросы по тематике раздела. Разбор типичных ошибок.
13. Ответы на вопросы по тематике раздела. Разбор типичных ошибок.
14. Ответы на вопросы по тематике раздела. Разбор типичных ошибок.
15. Ответы на вопросы по тематике раздела. Разбор типичных ошибок.
16. Ответы на вопросы по тематике раздела. Разбор типичных ошибок.
17. Ответы на вопросы по тематике раздела. Разбор типичных ошибок.
18. Ответы на вопросы по тематике раздела. Разбор типичных ошибок.
19. Ответы на вопросы по тематике раздела. Разбор типичных ошибок.
20. Ответы на вопросы по тематике раздела. Разбор типичных ошибок.

#### Индивидуальные консультации по курсовому проекту /работе (ИККП)

1. Ответы на вопросы по тематике раздела. Разбор типичных ошибок.

### 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	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
<b>Знать:</b>																						
основные понятия и термины в области технической термодинамики, их физический смысл; основные законы термодинамики, особенности их применения для расчета и анализа термодинамических процессов	ИД-5опк-3	+	+	+																		Контрольная работа/Термодинамические процессы идеального газа
о термических и калорических свойствах веществ, методах получения информации о них	ИД-5опк-3							+	+	+	+	+										Контрольная работа/Термодинамические свойства и процессы водяного пара
основы экспериментального исследования и математического моделирования термодинамических процессов и	ИД-5опк-3												+	+	+							Лабораторная работа/Выполнение и защита лабораторных работ

циклов теплосиловых установок																						
термодинамические процессы и циклы преобразования энергии, используемые в теплосиловых, холодильных и теплонасосных установках, показатели их эффективности	ИД-2опк-4																					Контрольная работа/Расчет процессов сжатия в компрессорах, циклов газотурбинных установок, двигателей внутреннего сгорания, холодильных машин и теплонасосных установок
термодинамические методы расчета и анализа типовых процессов в техническом оборудовании, циклов и их показателей	ИД-2опк-4																					Контрольная работа/Истечение идеальных газов и водяного пара из сопел и в диффузорах.
<b>Уметь:</b>																						
применять основные понятия, термины и законы термодинамики для описания физических процессов, происходящих в техническом	ИД-5опк-3																					Контрольная работа/Термодинамические свойства и процессы смесей идеальных газов





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

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

#### **3 семестр**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Термодинамические процессы идеального газа (Контрольная работа)
2. Термодинамические свойства и процессы водяного пара (Контрольная работа)
3. Термодинамические свойства и процессы смесей идеальных газов (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Расчет цикла на идеально-газовом рабочем веществе (Расчетно-графическая работа)

#### **4 семестр**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Истечение идеальных газов и водяного пара из сопел и в диффузорах. (Контрольная работа)
2. Расчет процессов сжатия в компрессорах, циклов газотурбинных установок, двигателей внутреннего сгорания, холодильных машин и теплонасосных установок (Контрольная работа)
3. Расчет циклов паротурбинных установок (Контрольная работа)

Форма реализации: Защита задания

1. Выполнение и защита лабораторных работ (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Расчет цикла ПТУ с промежуточным перегревом пара и двумя регенеративными подогревателями (Расчетно-графическая работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

#### Экзамен (Семестр №3)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

#### Экзамен (Семестр №4)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 4 семестр.

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

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

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

1. Александров, А. А. Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики : справочник / А. А. Александров, К. А. Орлов, В. Ф. Очков . – М. : Издательский дом МЭИ, 2009 . – 224 с. - ISBN 978-5-383-00405-0 .;
2. Ривкин, С. Л. Термодинамические свойства газов : Справочник / С. Л. Ривкин . – 4-е изд., перераб . – М. : Энергия, 1987 . – 288 с.;
3. Александров, А. А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок : учебное пособие для вузов по направлению "Теплоэнергетика" / А. А. Александров . – 2-е изд., стереот . – М. : Издательский дом МЭИ, 2006 . – 158 с. - ISBN 5-903072-60-7 .;
4. Охотин, В. С. Таблицы термодинамических свойств хладагентов : методическое пособие по курсам "Термодинамика", "Техническая термодинамика" и "Теоретические основы теплотехники" по направлениям "Теплоэнергетика", "Энергомашиностроение" и "Техническая физика" / В. С. Охотин, А. А. Александров, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2006 . – 32 с.;
5. Охотин, В. С. Учебное пособие по курсу "Техническая термодинамика": Циклы газотурбинных и парогазовых установок / В. С. Охотин ; Ред. Д. Д. Калафати ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ) . – М. : Изд-во МЭИ, 1984 . – 52 с.;
6. Джураева, Е. В. Расчетные задания для самостоятельных занятий по термодинамике и технической термодинамике : учебное пособие по направлениям "Теплоэнергетика и теплотехника", "Энергомашиностроение" и "Ядерная энергетика и теплофизика" / Е. В. Джураева, В. С. Охотин, В. Ф. Утенков, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2015 . – 76 с. - ISBN 978-5-7046-1616-0 .  
[http://elibr.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=7263](http://elibr.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=7263);
7. Приложение законов термодинамики к расчету основных процессов идеального и реального газа : учебное пособие по направлениям 13.03.01 "Теплоэнергетика и теплотехника", 13.03.03 "Энергетическое машиностроение", 14.03.01 "Ядерная энергетика и теплофизика" / А. А. Сухих, И. С. Антаненкова, В. Н. Кузнецов, В. А. Милютин, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2018 . – 37 с. - ISBN 978-5-7046-1974-1 .  
[http://elibr.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10306](http://elibr.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10306);
8. Расчет процессов истечения газов в соплах. Расчет прямых и обратных термодинамических циклов : учебное пособие по направлениям "Теплоэнергетика и теплотехника", "Ядерная энергетика и теплофизика", "Энергетическое машиностроение" / А. А. Сухих, И. С. Антаненкова, В. Н. Кузнецов, В. А. Милютин, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2018 . – 61 с. - ISBN 978-5-7046-1973-4 .  
[http://elibr.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10226](http://elibr.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10226);
9. Кириллин В.А. , Сычев В.В. , Шейндлин А.Е. - "Техническая термодинамика", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2016 - (496 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72305](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72305).

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

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. MathCad;
4. TBT Shell;
5. Электронная энциклопедия энергетики.

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
8. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
9. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
10. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
11. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
12. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
	отсутствует	

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Техническая термодинамика

(название дисциплины)

## 3 семестр

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

- КМ-1 Термодинамические процессы идеального газа (Контрольная работа)  
 КМ-2 Термодинамические свойства и процессы смесей идеальных газов (Контрольная работа)  
 КМ-3 Расчет цикла на идеально-газовом рабочем веществе (Расчетно-графическая работа)  
 КМ-4 Термодинамические свойства и процессы водяного пара (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	7	12	16
1	Основные понятия термодинамики					
1.1	Основные понятия термодинамики		+			
2	Первый закон термодинамики					
2.1	Первый закон термодинамики		+			
3	Молекулярно-кинетическая теория теплоемкости идеальных газов					
3.1	Молекулярно-кинетическая теория теплоемкости идеальных газов		+			
4	Процессы с идеальными газами					
4.1	Процессы с идеальными газами				+	
5	Второй закон термодинамики					
5.1	Второй закон термодинамики			+		
6	Смеси газов					
6.1	Смеси газов			+		
7	Методы термодинамического анализа					
7.1	Методы термодинамического анализа					+
8	Фазовые диаграммы и процессы с реальными веществами					

8.1	Фазовые диаграммы и процессы с реальными веществами				+
9	Характеристические функции, уравнения состояния и дифференциальный аппарат термодинамики				
9.1	Характеристические функции, уравнения состояния и дифференциальный аппарат термодинамики				+
10	Основы химической термодинамики				
10.1	Основы химической термодинамики				+
11	Третий закон термодинамики и его следствия				
11.1	Третий закон термодинамики и его следствия				+
Вес КМ, %:		30	20	15	35

#### 4 семестр

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

- КМ-5 Истечение идеальных газов и водяного пара из сопел и в диффузорах. (Контрольная работа)
- КМ-6 Расчет циклов паротурбинных установок (Контрольная работа)
- КМ-7 Расчет цикла ПТУ с промежуточным перегревом пара и двумя регенеративными подогревателями (Расчетно-графическая работа)
- КМ-8 Расчет процессов сжатия в компрессорах, циклов газотурбинных установок, двигателей внутреннего сгорания, холодильных машин и теплонасосных установок (Контрольная работа)
- КМ-9 Выполнение и защита лабораторных работ (Лабораторная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8	КМ-9
		Неделя КМ:	4	9	12	15	15
1	Процессы истечения газов и жидкостей в соплах						
1.1	Процессы истечения газов и жидкостей в соплах		+				+
2	Влажный воздух						
2.1	Влажный воздух		+				+
3	Циклы паротурбинных установок						
3.1	Циклы паротурбинных установок		+	+			+
4	Теплофикационные циклы						
4.1	Теплофикационные циклы		+	+	+		

5	Циклы АЭС					
5.1	Циклы АЭС		+	+		
6	Процессы сжатия в компрессорах					
6.1	Процессы сжатия в компрессорах				+	
7	Циклы ГТУ и ДВС					
7.1	Циклы ГТУ и ДВС				+	
8	Циклы парогазовых установок					
8.1	Циклы парогазовых установок				+	
9	Циклы холодильных и теплонасосных установок					
9.1	Циклы холодильных и теплонасосных установок				+	
Вес КМ, %:		25	25	10	20	20