

**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: Теплоснабжение и теплотехническое оборудование

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Заочная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА**


<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.03.03</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>5 семестр - 4; 6 семестр - 4; всего - 8</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>288 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>5 семестр - 8 часов; 6 семестр - 8 часов; всего - 16 часов</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>5 семестр - 8 часов; 6 семестр - 8 часов; всего - 16 часов</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>5 семестр - 2 часа; 6 семестр - 2 часа; всего - 4 часа</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>5 семестр - 124,5 часа; 6 семестр - 124,5 часа; всего - 249,0 часа</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>5 семестр - 1,2 часа; 6 семестр - 1,2 часа; всего - 2,4 часа</b>
<b>включая:</b> Тестирование Расчетно-графическая работа Домашнее задание	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>5 семестр - 0,3 часа;</b>
<b>Экзамен</b>	<b>6 семестр - 0,3 часа; всего - 0,6 часа</b>

**Москва 2018**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Джураева Е.В.
	Идентификатор	R930396c8-DzhuraevaEV-8c9904a7

(подпись)


Е.В. Джураева

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Хомченко Н.В.
	Идентификатор	Rpd1b9495-KhomchenkoNV-644530


(подпись)

Н.В. Хомченко

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Гаряев А.Б.
	Идентификатор	R75984319-GariayevAB-a6831ea7

(подпись)

А.Б. Гаряев

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение основных законов термодинамики и термодинамических методов анализа применительно к техническому оборудованию и системам производства, передачи и трансформации теплоты в теплосиловых, холодильных и теплонасосных установках

### Задачи дисциплины

- изучение основных законов термодинамики, методов их применения для расчета и анализа процессов в техническом оборудовании и системах производства, передачи и трансформации теплоты в теплосиловых, холодильных и теплонасосных установках;
- изучение методов получения информации о термических и калорических свойствах веществ, применяемых в качестве теплоносителей и рабочих тел в теплосиловых, холодильных и теплонасосных установках;
- освоение методов расчета термодинамических процессов и циклов теплосиловых, холодильных и теплонасосных установок, методов определения и анализа параметров их работы и показателей эффективности.

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: - основные понятия и термины в области технической термодинамики, их физический смысл; - о термических и калорических свойствах веществ, методах получения информации о них; - основные законы термодинамики, методы их применения для расчета и анализа термодинамических процессов.  уметь: - вычислять показатели энергетической эффективности термодинамических процессов, прямых и обратных термодинамических циклов.
ОПК-4 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	ИД-2 <sub>ОПК-4</sub> Демонстрирует понимание основ термодинамики, основных законов термодинамики и применяет их для расчетов термодинамических процессов, циклов и их показателей	знать: - термодинамические процессы и циклы преобразования энергии, протекающие в теплосиловых, холодильных и теплонасосных установках, показатели их эффективности.  уметь: - определять рабочие параметры работы технического оборудования, анализировать влияние их изменения на показатели эффективности теплотехнических установок и систем.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

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

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основы дифференциального и интегрального исчисления функций одной и нескольких переменных
- знать методы решения линейных алгебраических уравнений и систем
- знать методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений и систем
- знать причинно-следственные связи между объектами и явлениями природы, основанные на физических методах исследования
- знать понятие идеального газа, основы молекулярно-кинетической теории, основы термодинамики
- знать основные понятия и законы химии, основы термохимии, основы химической кинетики
- уметь использовать основные понятия, законы и модели физики при решении инженерных задач
- уметь использовать методы математического анализа при решении инженерных задач
- уметь использовать основные понятия, законы и модели химии при решении задач
- уметь рассчитывать значения величин в единицах Международной системы измерений
- уметь использовать пакеты прикладных программ MS Office, MathCAD и прочие современные компьютерные программы для решения инженерных задач

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 8 зачетных единиц, 288 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 и законы термодинамики	35.9	5	2.5	-	2.5	-	0.6	-	0.3	-	30	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Основные понятия и законы термодинамики"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Основные понятия и законы термодинамики"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 67-72 [3], стр. 20-25, 50</p>
1.1	Основные понятия	12.3		1	-	1	-	0.2	-	0.1	-	10	-	
1.2	Первый закон термодинамики	11.3		0.5	-	0.5	-	0.2	-	0.1	-	10	-	
1.3	Второй закон термодинамики	12.3		1	-	1	-	0.2	-	0.1	-	10	-	
2	Процессы идеального газа	24.20		2	-	1.5	-	0.4	-	0.30	-	20	-	<p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задание является частью расчетного задания по разделу "Термодинамические свойства и процессы идеального газа". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используется следующее (пример): Параметры воздуха перед компрессором ГТУ <math>p_1 = 0,1</math> МПа, <math>t_1 = 10</math> С; за компрессором <math>p_2 = 900</math> кПа; температура газа перед газовой турбиной <math>t_3 = 900</math> С; внутренние относительные КПД компрессора и газовой турбины,</p>
2.1	Термодинамические свойства идеального газа	12.35		1	-	1	-	0.2	-	0.15	-	10	-	
2.2	Термодинамические процессы идеального газа	11.85		1	-	0.5	-	0.2	-	0.15	-	10	-	

													<p>соответственно 0,84 и 0,92; расход воздуха и газа 250 кг/с. Определить следующее: 1. Параметры (давление, температуру, энтальпию, энтропию) в характерных точках цикла ГТУ и представить их в табличной форме. Считать, что для газа <math>s = 0</math> при <math>T_0 = 273,15</math> К и <math>p_0 = 0,1</math> МПа. 2. Мощность газовой турбины, компрессора, ГТУ, количество подведенной теплоты <math>Q_1</math>, теплоты <math>Q_2</math>, отведенной с уходящими газами. 3. Термический и внутренний КПД ГТУ. Сравнить термический КПД ГТУ с термическим КПД цикла Карно. Изобразить принципиальную схему установки, цикл ГТУ а <math>T,s</math>-диаграмме.</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Термодинамические свойства и процессы идеального газа"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Термодинамические свойства и процессы идеального газа"</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 "Термодинамические свойства и процессы идеального газа" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. Примеры вариантов домашних заданий: Вариант 1: Углекислый газ <math>CO_2</math> при давлении 0.1 МПа занимает объем 0.3 м<sup>3</sup>. Начальная температура газа <math>t_1 = 20^\circ C</math> . Определить количество теплоты, которое</p>
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

													нужно затратить для изобарного расширения газа до объёма 1,0 м <sup>3</sup> , изменение его внутренней энергии и совершённую газом работу. Представить этот процесс в p,v-диаграмме в совокупности с процессами изотермическим и адиабатным. Вариант 2: В компрессоре сжимается кислород в количестве 0,3 кг/с от давления p <sub>1</sub> =0,15 МПа до давления p <sub>2</sub> =0,7 МПа. Температура кислорода на входе в компрессор 10°С . Определить температуру t <sub>2</sub> , удельные объёмы v <sub>1</sub> и v <sub>2</sub> , работу сжатия в расчёте на 1кг проходящего газа. Процесс сжатия – адиабатный обратимый. Представить этот процесс в p,v-диаграмме в совокупности с процессами изотермическим и политропным при n =1,2. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], стр. 45-50, 136, 384-382 [4], стр. 5-9
3	Свойства и процессы реального газа	24.20	1.5	-	2	-	0.4	-	0.30	-	20	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Термодинамические свойства и процессы реального газа"
3.1	Термодинамические свойства реального газа (воды и водяного пара)	11.85	0.5	-	1	-	0.2	-	0.15	-	10	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Термодинамические свойства и процессы реального газа"
3.2	Термодинамические процессы реального газа (воды и водяного пара)	12.35	1	-	1	-	0.2	-	0.15	-	10	-	<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 "Термодинамические свойства и процессы реального газа" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных

													<p>заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. Примеры вариантов домашних заданий: Вариант 1. Водяной пар расширяется в турбине адиабатно и обратимо от параметров: <math>p_1 = 24,0</math> МПа; <math>t_1 = 550</math> °С до давления 0,05 бар. Найти работу турбины в расчете на 1 кг проходящего пара. Представить процесс в PV, HS, TS - диаграммах. Вариант 2. Водяной пар нагревается изобарно при давлении 5,0 МПа от степени сухости <math>x_1 = 0,8</math> до температуры <math>t_2 = 520</math> °С. Найти значения внутренней энергии <math>u_1</math> и <math>u_2</math>., теплоту и работу пара в процессе. Представить процесс в <math>p,v</math>; <math>h,s</math>; <math>T,s</math> - диаграммах.</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задание является частью расчетного задания по разделу "Термодинамические свойства и процессы реального газа". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используется следующее (пример): Начальные параметры пара перед турбиной ПТУ <math>t_6 = 450</math> С, <math>p_6 = 5</math> МПа; после турбины пар направляется в конденсатор, давление в котором <math>p_7 = 4</math> кПа и затем в насос, повышающий давление до начального. Внутренние относительные КПД паровой турбины и насоса, соответственно, 0,85 и 0,71. Определить следующее: 1. Параметры (давление, температуру, энтальпию, энтропию, степень сухости) в характерных точках цикла установки и представить их в табличной форме. 2. Работу паровой турбины, насоса, цикла ПТУ, удельное количество подведенной теплоты <math>q_1</math>, теплоты <math>q_2</math>, отведенной в окружающую</p>
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



														среду в конденсаторе. 3. Термический и внутренний КПД ПТУ. Сравнить термический КПД ПТУ с термическим КПД цикла Карно. 4. Изобразить принципиальную схему установки, цикл ПТУ в T,s-диаграмме. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [4], стр. 23-32 [5], стр. 214-219, 290
4	Термодинамические циклы паротурбинных установок	41.70	2.0	-	2.0	-	0.6	-	0.30	-	36.8	-	-	<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 "Термодинамические циклы теплоэнергетических установок" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. Примеры заданий: Вариант 1. Определить термический и внутренний КПД цикла ПТУ. Начальные параметры пара: давление $p_1 = 10,0$ МПа; температура $t_1 = 520^\circ\text{C}$ ; давление в конденсаторе $p_2 = 5$ кПа; внутренние относительные КПД турбины и насоса $\eta_{тоi}=0,85$ ; $\eta_{ноi}=0,71$ . Определить мощности турбины, насоса и всей установки, если расход пара – 640 т/ч, и влажность пара в конце расширения в турбине. Рассчитать удельный расход условного топлива при известных КПД: котла $\eta_k = 0,9$ , паропровода $\eta_{пп} = 0,98$ и электрогенератора $\eta_g = 0,97$ . Представить схему установки и T,s-диаграмму цикла. Вариант 2. Определить термический и внутренний КПД цикла ГТУ, имеющей следующие параметры: давление на входе в компрессор $p_1 = 0,11$ МПа,
4.1	Циклы паротурбинных установок (ПТУ)	11.3	0.5	-	0.5	-	0.2	-	0.1	-	10	-	-	
4.2	Циклы газотурбинных установок (ГТУ)	11.15	0.5	-	0.5	-	0.1	-	0.05	-	10	-	-	
4.3	Циклы парогазовых установок (ПГУ)	11.25	0.5	-	0.5	-	0.2	-	0.05	-	10	-	-	
4.4	Циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС)	8.0	0.5	-	0.5	-	0.1	-	0.1	-	6.8	-	-	

															<p>температура <math>t_1 = 20,0^\circ\text{C}</math>, степень повышения давления <math>\beta = 9</math>, температура на входе в турбину <math>t_3 = 1000^\circ\text{C}</math>. Внутрен-ние относительные КПД турбины и компрессора <math>\eta_{тоi} = 0,89</math>; <math>\eta_{коi} = 0,81</math>. Рассчитать также мощности турбины, компрессора и всей установки, если расход воздуха составляет <math>D = 450</math> т/ч. Вариант 3. В цикле двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при <math>v = \text{const}</math> (цикл Отто) начальные параметры воздуха <math>p_1 = 0,1 \text{ МПа}</math>, <math>t_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}</math>, степень сжатия равна <math>\epsilon</math>, а количество отведенной теплоты <math>q_2 = 300 \text{ кДж/кг}</math>. Определить параметры воздуха в характерных точках цикла, количество подведенной теплоты, работу и термический КПД цикла, а также термический КПД цикла Карно в том же интервале температур. Представить <math>p, v</math> и <math>T, s</math>-диаграммы цикла.</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение</u></b>  <b><u>теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Термодинамические циклы теплоэнергетических установок"</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b>  Повторение материала по разделу "Термодинамические циклы теплоэнергетических установок"</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задание является частью расчетного задания по разделу "Термодинамические циклы теплоэнергетических установок". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используется следующее (пример): Рассчитать термодинамический цикл одноконтурной парогазовой установки (ПГУ) с котлом-утилизатором, используя</p>
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---

													ранее полученные данные о параметрах ГТУ и ПТУ. Известно также, что минимальная разность температур между газом и кипящей водой в котле-утилизаторе (КУ) составляет 10 С. Определить следующее: 1. Расход пара в паротурбинном контуре, мощность паровой турбины, насоса, ПТУ. 2. Мощность ПГУ, количество теплоты Q <sub>2</sub> , отведенной через конденсатор в окружающую среду, теплоты Q <sub>ку</sub> , переданной в КУ за единицу времени. 3. Внутренний КПД ПГУ и котла-утилизатора. Сравнить внутренний КПД ПГУ с термическим КПД цикла Карно. 4. Изобразить принципиальную схему установки, цикл ПГУ в T,s-диаграмме и процессы, совершаемые газом и водяным паром в котле-утилизаторе, в T,Q-диаграмме. 5. Оформить расчетное задание полностью. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [5], стр. 296, 298-302	
	Зачет с оценкой	18.0		-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7		
	Всего за семестр	144.00		8.0	-	8.0	-	2.0	-	1.20	0.3	106.8	17.7	
	Итого за семестр	144.00		8.0	-	8.0	2.0		1.20	0.3		124.5		
5	Процессы в потоке вещества	21.90	6	1.6	-	1.6	-	0.4	-	0.30	-	18	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Процессы в потоке вещества"
5.1	Параметры торможения	10.95		0.8	-	0.8	-	0.2	-	0.15	-	9	-	
5.2	Дросселирование	10.95		0.8	-	0.8	-	0.2	-	0.15	-	9	-	
6	Термодинамические циклы газотурбинных и парогазовых установок	32.7		2.4	-	2.4	-	0.6	-	0.3	-	27	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Термодинамические циклы газотурбинных и парогазовых установок" <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Термодинамические циклы газотурбинных и парогазовых установок" <b><u>Изучение материалов литературных</u></b>
6.1	Цикл простой газотурбинной установки (ГТУ)	10.9		0.8	-	0.8	-	0.2	-	0.1	-	9	-	
6.2	Термодинамические циклы двигателей внутреннего сгорания	10.9		0.8	-	0.8	-	0.2	-	0.1	-	9	-	

6.3	Эксергия теплоты	10.9		0.8	-	0.8	-	0.2	-	0.1	-	9	-	<u>источников:</u> [5], стр. 185-187, 201
7	Обратные термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок	31.7		2.4	-	2.4	-	0.6	-	0.3	-	26	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Обратные термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок"
7.1	Обратные термодинамические циклы холодильных установок и их характеристики	10.9		0.8	-	0.8	-	0.2	-	0.1	-	9	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Обратные термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок"
7.2	Сравнение внутреннего охлаждения в детандерах и дросселях	10.9		0.8	-	0.8	-	0.2	-	0.1	-	9	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 56-67 [5], стр. 302-306, 314-317
7.3	Обратный цикл Карно – цикл теплонасосной установки (ТНУ)	9.9		0.8	-	0.8	-	0.2	-	0.1	-	8	-	
8	Новейшая термодинамика	21.70		1.6	-	1.6	-	0.4	-	0.30	-	17.8	-	<u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Новейшая термодинамика" материалу.
8.1	Новейшая термодинамика	9.95		0.8	-	0.8	-	0.2	-	0.15	-	8	-	Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.
8.2	Дифференциальные соотношения между калорическими и термическими функциями состояния	11.75		0.8	-	0.8	-	0.2	-	0.15	-	9.8	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Новейшая термодинамика"
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	35.7	
	Всего за семестр	144.00		8.0	-	8.0	-	2.0	-	1.20	0.3	88.8	35.7	
	Итого за семестр	144.00		8.0	-	8.0	2.0	1.20	0.3			124.5		
	ИТОГО	288.00	-	16.0	-	16.0	4.0	2.40	0.6			249.0		

**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 понятия и законы термодинамики

#### 1.1. Основные понятия

Термодинамическая система и окружающая среда. Функции состояния и функции процесса. Равновесные и неравновесные состояния и процессы.

#### 1.2. Первый закон термодинамики

Первый закон термодинамики как закон сохранения и превращения энергии. Теплота и работа - формы передачи энергии. Работа расширения и техническая работа. Внутренняя энергия и энтальпия. Аналитическое выражение первого закона термодинамики. Уравнение первого закона термодинамики для неравновесных процессов. Уравнение первого закона термодинамики для стационарного одномерного потока.

#### 1.3. Второй закон термодинамики

Обратимые и необратимые процессы. Основные причины необратимости процессов. Формулировки второго закона термодинамики и связь между ними. Термодинамические циклы. Термический коэффициент полезного действия цикла теплового двигателя. Цикл Карно и его КПД. Коэффициенты трансформации теплоты цикла холодильной машины. Обратный цикл Карно. Энтропия. T,s-диаграмма. Термодинамические циклы в T,s-диаграмме. Формулировки и аналитические выражения второго закона термодинамики для обратимых и необратимых процессов.

### 2. Процессы идеального газа

#### 2.1. Термодинамические свойства идеального газа

Уравнение состояния идеального газа (Клапейрона - Менделеева). Калорические свойства идеального газа. Молекулярно-кинетическая теория теплоемкости идеальных газов. Зависимость теплоемкости идеального газа от температуры. Внутренняя энергия и энтальпия идеального газа. Таблицы термодинамических свойств идеальных газов.

#### 2.2. Термодинамические процессы идеального газа

Изобарный процесс идеального газа. Соотношение параметров, расчет теплоты и работы расширения по таблицам, изображение процесса в диаграммах. Изохорный процесс идеального газа. Соотношение параметров, расчет теплоты и работы расширения по таблицам, изображение процесса в диаграммах. Изотермический процесс идеального газа. Соотношение параметров, расчет теплоты и работы расширения по таблицам, изображение процесса в диаграммах. Адиабатный (идеальный и реальный) процесс идеального газа. Соотношение параметров, расчет теплоты, работы расширения и технической работы (неохлаждаемый компрессор и газовая турбина) по таблицам, изображение процесса в диаграммах. Политропный процесс идеального газа. Соотношение параметров, расчет теплоты, работы расширения и технической работы по таблицам, изображение процесса в диаграммах.

### 3. Свойства и процессы реального газа

#### 3.1. Термодинамические свойства реального газа (воды и водяного пара)

Отличия свойств реальных газов от идеальных. Фаза и фазовый переход. Тройная точка, критическая точка вещества. Фазовые диаграммы реального газа (p,V-, p,T-, T,s-, h,s-). Вода и водяной пар. Удельный объем, энтальпия и энтропия воды, влажного, сухого насыщенного

и перегретого пара. Сверхкритическая область состояния пара.  $T,s$ - и  $h,s$  - диаграммы водяного пара.

### 3.2. Термодинамические процессы реального газа (воды и водяного пара)

Расчет теплоты и работы расширения в изобарном процессе. Изображение процесса в диаграммах. Расчет теплоты и работы расширения в изохорном процессе. Изображение процесса в диаграммах. Расчет теплоты и работы расширения в изотермическом процессе. Изображение процесса в диаграммах. Расчет теплоты, работы расширения и технической работы в адиабатном (реальном и идеальном) процессе. Изображение процесса в диаграммах. Адиабатное дросселирование. Расчет процесса. Коэффициент Джоуля-Томсона. Точки и кривая инверсии. Сравнение эффектов охлаждения при изоэнтальпийном расширении и адиабатном дросселировании.

## 4. Термодинамические циклы паротурбинных установок

### 4.1. Циклы паротурбинных установок (ПТУ)

Принципиальная схема ПТУ. Цикл в  $p,v$ - и  $T,s$ - диаграммах. Термический КПД цикла ПТУ. Влияние начальных и конечных параметров пара на термический КПД цикла. Необратимое расширение пара в турбине и сжатие воды в насосе. Действительный КПД цикла ПТУ. Цикл и схема ПТУ с промежуточным перегревом пара. Цикл в  $T,s$ - и  $h,s$ - диаграммах. КПД цикла. Регенеративный подогрев питательной воды в циклах ПТУ. Схема регенеративного подогрева с отбором пара. Термический КПД, зависимость его от числа подогревателей и температуры питательной воды. Теплофикационные циклы ПТУ. Критерии оценки эффективности циклов, схемы с противодавлением и с отбором пара из турбины. Циклы атомных станций с водяным теплоносителем. Принципиальная схема атомной электростанции с реактором ВВЭР. Цикл АЭС с ВВЭР с сепарацией и перегревом пара.

### 4.2. Циклы газотурбинных установок (ГТУ)

Принципиальная схема и цикл ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении. Термический КПД идеального цикла ГТУ. Влияние степени сжатия в компрессоре и температуры газа перед турбиной на термический КПД цикла ГТУ. Действительный цикл ГТУ и его КПД. Влияние необратимости процессов сжатия и расширения на КПД цикла ГТУ. Регенерация, многоступенчатое сжатие и ступенчатый подвод тепла в газотурбинной установке. Принципиальная схема и цикл ГТУ-ТЭЦ в  $T,s$ - диаграмме. • Электрическая и тепловая мощность ГТУ-ТЭЦ, коэффициент использования теплоты сгорания топлива Кит.

### 4.3. Циклы парогазовых установок (ПГУ)

Комбинированные циклы. Принципиальная схема одноконтурной ПГУ с котлом-утилизатором и цикл в  $T,s$ - диаграмме. Мощность ПГУ, подведенная и отведенная теплота. Теплота, передаваемая в котле-утилизаторе. Уравнения теплового баланса для котла-утилизатора. Внутренний КПД цикла ПГУ. Степень бинарности цикла ПГУ.

### 4.4. Циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС)

Термодинамические циклы двигателей внутреннего сгорания с подводом теплоты при постоянном объеме, постоянном давлении и со смешанным подводом теплоты. Изображение циклов ДВС в  $p,V$ - и  $T,s$ - диаграммах, основные характеристики и КПД циклов. Сравнение термических КПД циклов ДВС. Индикаторные диаграмма, давление и мощность.

## 5. Процессы в потоке вещества

### 5.1. 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.

### 5.2. Дросселирование

Основное уравнение адиабатного дросселирования, эффект Джоуля-Томсона, кривая инверсии, изображение процесса дросселирования в  $h,s$ - и  $T,s$ - диаграммах. Процессы в неохлаждаемых и охлаждаемых компрессорах. Процессы в многоступенчатом компрессоре.

## 6. Термодинамические циклы газотурбинных и парогазовых установок

### 6.1. Цикл простой газотурбинной установки (ГТУ)

Влияние параметров газа на КПД цикла. Принципиальная схема и цикл ГТУ с регенерацией, изображение цикла в  $T,s$ - диаграмме, предельная регенерация, степень регенерации.

### 6.2. Термодинамические циклы двигателей внутреннего сгорания

Термодинамические циклы двигателей внутреннего сгорания. Термодинамические циклы двигателей внутреннего сгорания. Цикл двигателя с комбинированным подводом теплоты (цикл Тринклера).

### 6.3. Эксергия теплоты

Потери эксергии теплоты при необратимых процессах. Теорема Гюи-Стодола. Эксергия потока вещества. Эксергия потока идеального газа. Эксергетический КПД.

## 7. Обратные термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок

### 7.1. Обратные термодинамические циклы холодильных установок и их характеристики

Холодопроизводительность и мощность привода, холодильный коэффициент и эксергетический КПД. Обратный цикл Карно – цикл холодильной установки и его характеристики. Цикл парокомпрессионной холодильной установки, изображение цикла в  $T,s$ - диаграмме, характеристики цикла.

### 7.2. Сравнение внутреннего охлаждения в детандерах и дросселях

Термодинамические циклы теплонасосных установок и их характеристики. Тепловая мощность и мощность привода, отопительный коэффициент и эксергетический КПД.

### 7.3. Обратный цикл Карно – цикл теплонасосной установки (ТНУ)

Принципиальная схема и цикл парокомпрессионных ТНУ в  $T,s$ - диаграмме, характеристики цикла.

## 8. Новейшая термодинамика

### 8.1. Новейшая термодинамика

Эксергия потока идеального газа. Эксергетический КПД.

8.2. Дифференциальные соотношения между калорическими и термическими функциями состояния



Основные процессы идеального газа, соотношения параметров, теплота и работа процессов.

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

1. Термодинамические свойства и процессы воды и водяного пара;
2. Расчет параметров и характеристик термодинамической эффективности цикла ДВС;
3. Расчет параметров и характеристик термодинамической эффективности цикла Брайтона;
4. Термодинамические свойства и процессы воды и водяного пара;
5. Расчет параметров и характеристик термодинамической эффективности цикла парогазовой установки.

### **3.4. Темы лабораторных работ** не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

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

1. Обсуждение материалов по темам раздела "Основные понятия и законы термодинамики"
2. Обсуждение материалов по темам раздела "Термодинамические свойства и процессы идеального газа". Разбор сложных моментов, вызывающих трудности при решении задач.
3. Обсуждение материалов по темам раздела "Термодинамические свойства и процессы реального газа". Разбор сложных моментов, вызывающих трудности при решении задач.
4. Обсуждение материалов по темам раздела "Термодинамические циклы теплоэнергетических установок". Разбор сложных моментов, вызывающих трудности при решении задач.
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Процессы в потоке вещества"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Термодинамические циклы газотурбинных и парогазовых установок"
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Обратные термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок"
8. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Новейшая термодинамика"

### **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		
<b>Знать:</b>											
основные законы термодинамики, методы их применения для расчета и анализа термодинамических процессов	ИД-5ОПК-3					+					Тестирование/Вещества
о термических и калорических свойствах веществ, методах получения информации о них	ИД-5ОПК-3	+	+								Тестирование/Закон термодинамики Тестирование/Идеальный газ
основные понятия и термины в области технической термодинамики, их физический смысл	ИД-5ОПК-3			+							Тестирование/Свойства
термодинамические процессы и циклы преобразования энергии, протекающие в теплосиловых, холодильных и теплонасосных установках, показатели их эффективности	ИД-2ОПК-4							+	+		Тестирование/Обратные термодинамические Тестирование/Установки
<b>Уметь:</b>											
вычислять показатели энергетической эффективности термодинамических процессов, прямых и обратных термодинамических циклов	ИД-5ОПК-3				+						Расчетно-графическая работа/Циклы
определять рабочие параметры работы технического оборудования, анализировать влияние их изменения на показатели эффективности теплотехнических установок и систем	ИД-2ОПК-4									+	Домашнее задание/Новейшая термодинамика

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

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

**5 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Закон термодинамики (Тестирование)
2. Идеальный газ (Тестирование)
3. Свойства (Тестирование)

Форма реализации: Письменная работа

1. Циклы (Расчетно-графическая работа)

**6 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Вещества (Тестирование)
2. Обратные термодинамические (Тестирование)
3. Установки (Тестирование)

Форма реализации: Письменная работа

1. Новейшая термодинамика (Домашнее задание)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Зачет с оценкой (Семестр №5)*

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ»

*Экзамен (Семестр №6)*

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ»

В диплом выставляется оценка за 6 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. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник : Рек. Гос. службой стандартных справочных данных ГСССД Р-776-98 / А. А. Александров, Б. А. Григорьев . – М. : Изд-во МЭИ, 2003 . – 168 с. - К 100-летию со дня рождения М.П. Вукаловича . - ISBN 5-7046-0397-1 .;
2. 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 .;

3. 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);
4. Ривкин, С. Л. Термодинамические свойства газов / С. Л. Ривкин . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Энергия, 1964 . – 294 с.;
5. Цирельман Н. М.- "Техническая термодинамика", (2-е изд., доп.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2018 - (352 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/107965>.

## 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции.

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
5. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
6. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
7. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
8. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
9. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
10. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-417/6, Белая мультимедийная студия	стол компьютерный, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, компьютер персональный
	Ж-417/7, Световая черная студия	стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, микрофон, мультимедийный проектор, экран, оборудование специализированное, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-417/1, Компьютерный класс ИДДО	стол преподавателя, стол компьютерный, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная передвижная, компьютер персональный, принтер,

		кондиционер, стенд информационный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-417/1, Компьютерный класс ИДДО	стол преподавателя, стол компьютерный, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная передвижная, компьютер персональный, принтер, кондиционер, стенд информационный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Ж-2006, Конференц-зал ИДДО	стол, стул, компьютер персональный, кондиционер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Ж-417 /2а, Помещение для инвентаря	стеллаж для хранения инвентаря, экран, указка, архивные документы, дипломные и курсовые работы студентов, канцелярский принадлежности, спортивный инвентарь, хозяйственный инвентарь, запасные комплектующие для оборудования

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Техническая термодинамика

(название дисциплины)

## 5 семестр

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

КМ-1 Закон термодинамики (Тестирование)

КМ-2 Идеальный газ (Тестирование)

КМ-3 Свойства (Тестирование)

КМ-4 Циклы (Расчетно-графическая работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	3	6	9	12
1	Основные понятия и законы термодинамики					
1.1	Основные понятия		+	+		
1.2	Первый закон термодинамики		+	+		
1.3	Второй закон термодинамики		+	+		
2	Процессы идеального газа					
2.1	Термодинамические свойства идеального газа		+	+		
2.2	Термодинамические процессы идеального газа		+	+		
3	Свойства и процессы реального газа					
3.1	Термодинамические свойства реального газа (воды и водяного пара)				+	
3.2	Термодинамические процессы реального газа (воды и водяного пара)				+	
4	Термодинамические циклы паротурбинных установок					
4.1	Циклы паротурбинных установок (ПТУ)					+
4.2	Циклы газотурбинных установок (ГТУ)					+
4.3	Циклы парогазовых установок (ПГУ)					+
4.4	Циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС)					+

Вес КМ, %:	25	25	25	25
------------	----	----	----	----

### 6 семестр

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

КМ-5 Вещества (Тестирование)

КМ-6 Установки (Тестирование)

КМ-7 Обратные термодинамические (Тестирование)

КМ-8 Новейшая термодинамика (Домашнее задание)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
		Неделя КМ:	3	6	9	12
1	Процессы в потоке вещества					
1.1	Параметры торможения		+			
1.2	Дросселирование		+			
2	Термодинамические циклы газотурбинных и парогазовых установок					
2.1	Цикл простой газотурбинной установки (ГТУ)			+	+	
2.2	Термодинамические циклы двигателей внутреннего сгорания			+	+	
2.3	Эксергия теплоты			+	+	
3	Обратные термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок					
3.1	Обратные термодинамические циклы холодильных установок и их характеристики			+	+	
3.2	Сравнение внутреннего охлаждения в детандерах и дросселях			+	+	
3.3	Обратный цикл Карно – цикл теплонасосной установки (ТНУ)			+	+	
4	Новейшая термодинамика					
4.1	Новейшая термодинамика					+
4.2	Дифференциальные соотношения между калорическими и термическими функциями состояния					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25