

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

---

Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Термоядерные реакторы и плазменные установки

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

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


<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.03</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>5 семестр - 5; 6 семестр - 5; всего - 10</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>360 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>5 семестр - 32 часа; 6 семестр - 28 часа; всего - 60 часов</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>5 семестр - 48 часа; 6 семестр - 28 часа; всего - 76 часа</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>6 семестр - 14 часов;</b>
<b>Консультации</b>	<b>5 семестр - 2 часа; 6 семестр - 2 часа; всего - 4 часа</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>5 семестр - 97,5 часа; 6 семестр - 107,5 часов; всего - 205,0 часов</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> Контрольная работа Домашнее задание Тестирование	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>5 семестр - 0,5 часа;</b>
<b>Экзамен</b>	<b>6 семестр - 0,5 часа; всего - 1,0 час</b>

**Москва 2021**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Егорова Н.В.
	Идентификатор	R0d5093c1-YegorovaNatV-98b5bbq

(подпись)

Н.В. Егорова

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

(подпись)

А.В. Дедов

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

(подпись)

А.В. Дедов

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** является изучение законов термодинамики и термодинамических методов анализа, применительно к системам передачи и трансформации теплоты на атомных электростанциях, теплосиловых, холодильных и теплонасосных установках.

### Задачи дисциплины

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

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

- обучение методам термодинамического анализа для оценки эффективности термодинамических процессов и циклов теплосиловых, холодильных и теплонасосных установок.

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

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-2 Демонстрирует понимание основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	ИД-1ПК-2 Демонстрирует понимание основ термодинамики, основных законов термодинамики и применяет их для расчетов термодинамических процессов, циклов и их показателей	знать: - основные законы термодинамики и условия их применения; - способы определения свойств и методы расчета термодинамических процессов реального газа; - методы расчета обратимых и необратимых процессов в потоке идеального и реального газа; - методы расчета термодинамических свойств и процессов идеального газа.  уметь: - рассчитывать термодинамические циклы паротурбинных, газотурбинных, холодильных и теплонасосных установок; - самостоятельно анализировать термодинамические процессы и циклы, методы их расчета и применять их для решения поставленной задачи; - рассчитывать термодинамические циклы ПТУ; - рассчитывать произвольные термодинамические циклы идеального газа и оценивать их эффективность; - экспериментально определять термодинамические характеристики процессов идеального газа, влажного воздуха, воды и водяного пара.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Термоядерные реакторы и плазменные установки (далее – ОПОП), направления подготовки 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать раздел Математики «Дифференциальное и интегральное исчисление»
- знать раздел Физики (общей) «Молекулярная физика»
- уметь дифференцировать и интегрировать функции, решать дифференциальные уравнения
- уметь использовать молекулярно-кинетическую теорию для расчета калорических свойств идеального газа

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

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 10 зачетных единиц, 360 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Основные законы термодинамики и общие закономерности	52	5	12	-	18	-	-	-	-	-	22	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Основные законы термодинамики и общие закономерности" для успешной сдачи экзамена</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Повторение материала по разделу "Основные законы термодинамики и общие закономерности" необходимо для успешного написания контрольной работы.</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Повторение материала по разделу "Основные законы термодинамики и общие закономерности" необходимо для выполнения расчетных заданий в 5-м и 6-м семестрах и успешной сдачи экзаменов.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 7-25, 78-104 [3], стр. 9-15, 28-69, 81-99, 111-121, 125-140</p>	
1.1	Основные определения и термины	13		3	-	4	-	-	-	-	-	-	6		-
1.2	Первый закон термодинамики	13		3	-	4	-	-	-	-	-	-	6		-
1.3	Второй закон термодинамики	14		3	-	6	-	-	-	-	-	-	5		-
1.4	Дифференциальные уравнения термодинамики	12		3	-	4	-	-	-	-	-	-	5		-
2	Процессы идеального газа	46		8	-	14	-	-	-	-	-	-	24		-
2.1	Законы и уравнения идеального газа	36		6	-	10	-	-	-	-	-	-	20		-
2.2	Смеси газов	10	2	-	4	-	-	-	-	-	-	4	-		

													выдается студентам по изученному в разделе "Процессы идеального газа" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Процессы идеального газа" для успешной сдачи экзамена <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 5-11 [2], стр. 26-34, 45-77 [3], стр. 15-27, 215-222, 225-236
3	Свойства и процессы реального газа	46	12	-	16	-	-	-	-	-	18	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Повторение материала по разделу "Свойства и процессы реального газа" для успешного написания контрольной работы <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Свойства и процессы реального газа" для успешной сдачи экзамена
3.1	Термодинамические свойства реального газа	16	4	-	6	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 133-152 [3], стр. 141-152, 168-169, 177-183, 187-189, 197-198, 207-211, 215-223
3.2	Термодинамические процессы реального газа.	15	4	-	5	-	-	-	-	-	6	-	
3.3	Термические уравнения состояния реального газа.	15	4	-	5	-	-	-	-	-	6	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	180.0	32	-	48	-	2	-	-	0.5	64	33.5	
	Итого за семестр	180.0	32	-	48	2	-	-	-	0.5	97.5		
4	Процессы в потоке вещества	26	6	4	4	8	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Повторение материала по разделу "Процессы в потоке вещества" для успешного написания контрольной работы <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Процессы в потоке вещества" для успешной сдачи
4.1	Расчет сопл	14	2	4	4	-	-	-	-	-	4	-	
4.2	Процессы в диффузоре	6	1	-	2	-	-	-	-	-	3	-	
4.3	Дросселирование	6	1	-	2	-	-	-	-	-	3	-	

													экзамена <b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Процессы в потоке вещества" материалу. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 164-205 [3], стр. 236-245, 256- 266, 267-294
5	Термодинамические циклы паротурбинных установок	62.0	10	4.0	10	-	-	-	-	-	38	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Повторение материала по разделу "Термодинамические циклы паротурбинных установок" для успешного написания контрольной работы
5.1	Паротурбинные установки	11	2	1	4	-	-	-	-	-	4	-	<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 паротурбинных установок" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.
5.2	Промежуточный перегрев пара в циклах ПТУ на перегретом паре	8.5	2	0.5	2	-	-	-	-	-	4	-	
5.3	Регенерация в циклах ПТУ	8.5	2	0.5	2	-	-	-	-	-	4	-	
5.4	Сепарация пара в циклах ПТУ на насыщенном паре	26	2	1	1	-	-	-	-	-	22	-	
5.5	Теплофикационные циклы ПТУ (циклы ПТУ-ТЭЦ)	8	2	1	1	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Термодинамические циклы паротурбинных установок" для успешной сдачи экзамена <b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов

													обработки результатов по изученному в разделе "Термодинамические циклы паротурбинных установок" материалу. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 11-33 [2], стр. 230-249 [3], стр. 347-358, 372- 379, 388-390
6	Термодинамические циклы газотурбинных и парогазовых установок	32.0	8	4.0	6	-	-	-	-	-	14	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Повторение материала по разделу "Термодинамические циклы паротурбинных установок" для успешного написания контрольной работы
6.1	Цикл простой газотурбинной установки	8	2	1	2	-	-	-	-	-	3	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Термодинамические циклы газотурбинных и парогазовых установок" для успешной сдачи экзамена
6.2	Цикл газотурбинной установки с регенерацией	5.5	1	0.5	1	-	-	-	-	-	3	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 212-223, 251-253 [3], стр. 319-327, 328-331, 383-386
6.3	Теплофикационный цикл газотурбинной установки	5.5	1	0.5	1	-	-	-	-	-	3	-	
6.4	Термодинамический цикл парогазовой установки с котлом-утилизатором	7	2	1	1	-	-	-	-	-	3	-	
6.5	Термодинамические циклы двигателей внутреннего сгорания	6	2	1	1	-	-	-	-	-	2	-	
7	Обратные термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок	24	6	2	4	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Повторение материала по разделу "Обратные термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок" для успешного написания контрольной работы
7.1	Обратные термодинамические циклы холодильных установок	12	3	1	2	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Обратные термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок" для успешной сдачи экзамена
7.2	Термодинамические циклы теплонасосных	12	3	1	2	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Изучение материалов литературных</u></b>



	установок												<b>источников:</b> [2], стр. 267-268, 273-274 [3], стр. 414-417, 422-427, 438-440
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5
	Всего за семестр	180.0		28	14.0	28	-	2	-	-	0.5	74	33.5
	Итого за семестр	180.0		28	14.0	28		2	-		0.5		107.5
	<b>ИТОГО</b>	<b>360.0</b>	-	<b>60</b>	<b>14.0</b>	<b>76</b>		<b>4</b>	-		<b>1.0</b>		<b>205.0</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 законы термодинамики и общие закономерности

##### 1.1. Основные определения и термины

Основные термины и определения. Функции состояния и функции процесса.

##### 1.2. Первый закон термодинамики

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

##### 1.3. Второй закон термодинамики

Формулировки второго закона термодинамики. Обратимые и необратимые процессы, причины необратимости. Цикл Карно, теоремы Карно. Энтропия, аналитическое выражение второго закона термодинамики для обратимых и необратимых процессов, расчет энтропии. Энтропия изолированной системы, энтропия и термодинамическая вероятность. Эксергетический анализ термодинамических систем, эксергия теплоты и потока вещества, уравнение Гюи – Стодолы, эксергетический КПД.

##### 1.4. Дифференциальные уравнения термодинамики

Характеристические функции, уравнения Максвелла. Дифференциальные соотношения между калорическими и термическими функциями состояния, особенности уравнений для систем с переменной массой.

#### 2. Процессы идеального газа

##### 2.1. Законы и уравнения идеального газа

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

##### 2.2. Смеси газов

Способы задания смеси, парциальные давления и объёмы. Законы Дальтона и Амага. Термодинамические свойства смеси идеального газа.

#### 3. Свойства и процессы реального газа

##### 3.1. Термодинамические свойства реального газа

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

##### 3.2. Термодинамические процессы реального газа.

Теплота и работа процессов. Теплота и техническая работа в потоке реального газа. Изображение процессов в термодинамических диаграммах.

##### 3.3. Термические уравнения состояния реального газа.

Уравнение Ван-дер-Ваальса. Вириальное уравнение состояния, вириальные коэффициенты. Подобие термодинамических свойств веществ,  $z$ ,  $p$ - диаграмма..

#### 4. Процессы в потоке вещества

##### 4.1. Расчет сопл

Параметры торможения. Процессы в соплах, расчет скорости и расхода газа и пара, коэффициенты скорости и расхода, изображение процессов в  $h,s$ - и  $p,v$ - диаграммах, влияние трения. Кризис течения, критические параметры потока, скорость звука. Закон обращения воздействия, геометрическое и тепловое воздействие на поток. Три случая истечения из суживающего сопла, сопло Лавала.

##### 4.2. Процессы в диффузоре

Процессы в диффузоре, влияние трения.

##### 4.3. Дросселирование

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

#### 5. Термодинамические циклы паротурбинных установок

##### 5.1. Паротурбинные установки

Принципиальная схема паротурбинной установки (ПТУ) и цикл Ренкина. Удельная работа, подведенная и отведенная теплота, термический и внутренний КПД цикла, мощность ПТУ, изображение циклов в  $T,s$ - и  $h, s$ - диаграммах. Влияние начальных и конечных параметров пара на КПД цикла Ренкина.

##### 5.2. Промежуточный перегрев пара в циклах ПТУ на перегретом паре

Принципиальная схема и цикл в  $T,s$ - диаграмме, процессы в  $h, s$ - диаграмме. КПД цикла. Цикл в  $T,s$ - диаграмме при  $p_1$  больше, чем  $p_{кр}$ .

##### 5.3. Регенерация в циклах ПТУ

Обобщенный цикл Карно и его КПД. Принципиальная схема и цикл ПТУ с одним регенеративным подогревателем смешивающего типа; схема и цикл в  $T,s$ - диаграмме, удельная работа и КПД цикла. Оптимальная температура питательной воды. Зависимость КПД цикла от температуры питательной воды и числа подогревателей. Особенность схемы с подогревателями поверхностного типа.

##### 5.4. Сепарация пара в циклах ПТУ на насыщенном паре

Принципиальная схема и цикл ПТУ с одним промежуточным сепаратором пара. Иллюстрации в  $T,s$ - и в  $h, s$ - диаграммах, удельная работа и КПД цикла. Принципиальная схема и цикл АЭС с сепаратором– пароперегревателем (СПП). Принципиальная схема и цикл в  $T,s$ - диаграмме, процессы в  $h, s$ - диаграмме, удельная работа и КПД цикла. Особенности схемы с двухступенчатым СПП.

##### 5.5. Теплофикационные циклы ПТУ (циклы ПТУ-ТЭЦ)

Критерии эффективности ПТУ-ТЭЦ: коэффициент использования теплоты (топлива), отопительный коэффициент, эксергетический КПД. Принципиальные схемы и циклы в  $T,s$ - диаграмме для ТЭЦ с турбиной типа Р (турбина с противодавлением). Принципиальные схемы и циклы в  $T,s$ - диаграмме для ТЭЦ с турбиной типа Т (с отборами пара из турбины)..

## 6. Термодинамические циклы газотурбинных и парогазовых установок

### 6.1. Цикл простой газотурбинной установки

Цикл простой газотурбинной установки (ГТУ): удельная работа, подведенная и отведенная теплота, термический и внутренний КПД цикла, мощность ГТУ, изображение цикла в  $T,s$ - диаграмме. Влияние параметров газа на КПД цикла.

### 6.2. Цикл газотурбинной установки с регенерацией

Принципиальная схема и цикл ГТУ с регенерацией, изображение цикла в  $T,s$ - диаграмме. Предельная регенерация, степень регенерации. Удельная работа, подведенная и отведенная теплота, внутренний КПД цикла.

### 6.3. Теплофикационный цикл газотурбинной установки

Теплофикационный цикл ГТУ (ГТУ-ТЭЦ), коэффициент использования теплоты (топлива) и эксергетический КПД.

### 6.4. Термодинамический цикл парогазовой установки с котлом-утилизатором

Термодинамический цикл парогазовой установки (ПГУ) с котлом-утилизатором, изображение цикла в  $T,s$ - диаграмме, мощность ПГУ, КПД цикла.

### 6.5. Термодинамические циклы двигателей внутреннего сгорания

Цикл двигателя с подводом теплоты при постоянном объеме (цикл Отто). Цикл двигателя с подводом теплоты при постоянном давлении (цикл Дизеля). Цикл двигателя с комбинированным подводом теплоты (цикл Тринклера). Сравнение экономичности двигателей внутреннего сгорания.

## 7. Обратные термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок

### 7.1. Обратные термодинамические циклы холодильных установок

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 воздушной холодильной установки, изображение цикла в  $T,s$ - диаграмме, характеристики цикла. Цикл паро-компрессионной холодильной установки, изображение цикла в  $T,s$ - диаграмме, характеристики цикла. Сравнение внутреннего охлаждения в детандерах и дросселях.

### 7.2. Термодинамические циклы теплонасосных установок

Термодинамические циклы теплонасосных установок и их характеристики: тепловая мощность и мощность привода, отопительный коэффициент и эксергетический КПД. Обратный цикл Карно – цикл теплонасосной установки. Принципиальная схема и цикл парокомпрессионных теплонасосных установок в  $T,s$ - диаграмме, характеристики цикла.

## **3.3. Темы практических занятий**

1. 12. Расчет термодинамических циклов газотурбинных и парогазовых установок;
2. 11. Контрольная работа №5. Расчет термодинамических циклов паротурбинных установок;
3. 10. Расчет термодинамических циклов паротурбинных установок;
4. 9. Контрольная работа №4. Расчет процессов в суживающихся соплах и соплах Лаваля;

5. 8. Процессы расширения газа и пара в суживающихся соплах и в соплах Лаваля;
6. 7. Влажный воздух;
7. 2. Контрольная работа №1: Расчет термодинамических свойств бинарной смеси идеальных газов.;
8. 5. Термодинамические свойства и процессы реального газа – водяного пара;
9. 4. Контрольная работа №2: Расчет термодинамических процессов идеального газа с учетом зависимости теплоемкости газа от температуры;
10. 3. Процессы идеального газа. Расчет процессов с учетом зависимости теплоемкости газа от температуры;
11. 13. Расчет обратных термодинамических циклов холодильных и теплонасосных установок;
12. 1. Параметры состояния. Законы и уравнения идеального газа. Термодинамические свойства смеси идеальных газов;
13. 6. Контрольная работа №3. Определение термодинамических свойств и расчет процессов воды и водяного пара;
14. 14. Контрольная работа №6. Расчет термодинамических циклов газотурбинных, парогазовых установок, холодильных и теплонасосных установок.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Определение изобарной теплоемкости и термодинамических свойств воздуха;
2. Исследование процесса адиабатного течения воздуха в суживающихся соплах;
3. Изохорное нагревание воды и водяного пара;
4. Исследование процессов во влажном воздухе.

### **3.5 Консультации**

### **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		
<b>Знать:</b>										
методы расчета термодинамических свойств и процессов идеального газа	ИД-1ПК-2		+							Контрольная работа/Контрольная работа №2 «Расчет термодинамических процессов идеального газа»
методы расчета обратимых и необратимых процессов в потоке идеального и реального газа	ИД-1ПК-2				+					Контрольная работа/Контрольная работа №4 «Расчет процессов в суживающихся соплах и соплах Лаваля»
способы определения свойств и методы расчета термодинамических процессов реального газа	ИД-1ПК-2			+						Контрольная работа/Контрольная работа №3 «Определение термодинамических свойств и расчет процессов воды и водяного пара»
основные законы термодинамики и условия их применения	ИД-1ПК-2	+								Контрольная работа/Контрольная работа №1 «Расчет термодинамических свойств бинарной смеси идеальных газов»
<b>Уметь:</b>										
экспериментально определять термодинамические характеристики процессов идеального газа, влажного воздуха, воды и водяного пара	ИД-1ПК-2				+	+				Тестирование/Лабораторная работа №1-4
рассчитывать произвольные термодинамические циклы идеального газа и оценивать их эффективность	ИД-1ПК-2		+							Домашнее задание/Расчетное задание №1 «Расчет произвольного термодинамического цикла, состоящего из пяти различных процессов, совершаемых идеальным газом»
рассчитывать термодинамические циклы ПТУ	ИД-1ПК-2					+				Контрольная работа/Контрольная работа №5 "Расчет термодинамических циклов паротурбинных установок"
самостоятельно анализировать термодинамические процессы и циклы, методы их расчета и	ИД-1ПК-2					+				Домашнее задание/Расчетное задание №2 "Расчет термодинамического цикла АЭС - цикла паротурбинной установки на насыщенном паре с сепаратором -

применять их для решения поставленной задачи									пароперегревателем (СПП) и двумя регенеративными подогревателями питательной воды"
рассчитывать термодинамические циклы паротурбинных, газотурбинных, холодильных и теплонасосных установок	ИД-1ПК-2						+	+	Контрольная работа/Контрольная работа №6 "Расчет термодинамических циклов газотурбинных, парогазовых установок, холодильных и теплонасосных установок"

#### **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: Письменная работа

1. Контрольная работа №1 «Расчет термодинамических свойств бинарной смеси идеальных газов» (Контрольная работа)
2. Контрольная работа №2 «Расчет термодинамических процессов идеального газа» (Контрольная работа)
3. Контрольная работа №3 «Определение термодинамических свойств и расчет процессов воды и водяного пара» (Контрольная работа)
4. Расчетное задание №1 «Расчет произвольного термодинамического цикла, состоящего из пяти различных процессов, совершаемых идеальным газом » (Домашнее задание)

###### **6 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Лабораторная работа №1-4 (Тестирование)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа №4 «Расчет процессов в суживающихся соплах и соплах Лаваля» (Контрольная работа)
2. Контрольная работа №5 "Расчет термодинамических циклов паротурбинных установок" (Контрольная работа)
3. Контрольная работа №6 "Расчет термодинамических циклов газотурбинных, парогазовых установок, холодильных и теплонасосных установок" (Контрольная работа)
4. Расчетное задание №2 "Расчет термодинамического цикла АЭС - цикла паротурбинной установки на насыщенном паре с сепаратором - пароперегревателем (СПП) и двумя регенеративными подогревателями питательной воды" (Домашнее задание)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

###### Экзамен (Семестр №5)

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

###### Экзамен (Семестр №6)

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 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. 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://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=7263](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=7263);
2. Сборник задач по технической термодинамике : учебное пособие для вузов по направлениям "Теплоэнергетика" и "Техническая физика" / Т. Н. Андрианова, Б. В. Дзампов, В. Н. Зубарев, и др. – 5-е изд, стер . – М. : Издательский дом МЭИ, 2006 . – 356 с. - ISBN 5-903072-29-1 .;
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).

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

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Майнд Видеоконференции;
3. ТВТ Shell;
4. Электронная энциклопедия энергетики.

### **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. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
11. Журналы American Chemical Society - <https://www.acs.org/content/acs/en.html>
12. Журналы American Institute of Physics - <https://www.scitation.org/>
13. Журналы American Physical Society - <https://journals.aps.org/about>
14. База данных издательства Annual Reviews Science Collection - <https://www.annualreviews.org/>
15. База данных Association for Computing Machinery Digital Library - <https://dl.acm.org/about/content>
16. Журналы издательства Cambridge University Press - <https://www.cambridge.org/core>
17. База данных IEL издательства IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) - <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp?reload=true>
18. База данных Computers & Applied Sciences Complete (CASC) - <http://search.ebscohost.com>
19. База данных INSPEC на платформе компании EBSCO Publishing - <http://search.ebscohost.com>
20. Журналы Institute of Physics (IOP), Великобритания - <https://iopscience.iop.org/>

21. Журналы научного общества **Optical Society of America (OSA)** - <https://www.osapublishing.org/about.cfm>
22. Патентная база **Orbit Intelligence** компании **Questel** - <https://www.orbit.com/>
23. Журналы издательства **Oxford University Press** - <https://academic.oup.com/journals/>
24. База данных диссертаций **ProQuest Dissertations and Theses Global** - <https://search.proquest.com/pqdtglobal/index>
25. Журналы **Royal Society of Chemistry** - <https://pubs.rsc.org/>
26. Журналы издательства **SAGE Publication (Sage)** - <https://journals.sagepub.com/>
27. Журнал **Science** - <https://www.sciencemag.org/>
28. Журналы научного общества **Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Digital Library** - <https://www.spiedigitallibrary.org/>
29. Коллекция журналов **Taylor & Francis Group** - <https://www.tandfonline.com/>
30. Журналы по химии **Thieme Chemistry Package** компании **Georg Thieme Verlag KG** - <https://www.thieme-connect.com/products/all/home.html>
31. Журналы издательства **Wiley** - <https://onlinelibrary.wiley.com/>
32. Электронная библиотека **МЭИ (ЭБ МЭИ)** - <http://elib.mpei.ru/login.php>
33. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
34. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
35. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
36. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
37. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
38. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
39. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru; http://docs.cntd.ru/>
40. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	В-205, Учебная лаборатория технической термодинамики	рабочее место сотрудника, стол преподавателя, стол, шкаф для документов, шкаф для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, лабораторный стенд, компьютер персональный, инвентарь специализированный, учебно-наглядное пособие
Учебные аудитории для проведения промежуточной	Т-408, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска

аттестации		маркерная, компьютер персональный
Помещения для самостоятельной работы	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
Помещения для консультирования	В-209/2, Кабинет сотрудников каф. "ТОТ"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф для документов, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, многофункциональный центр, компьютер персональный, кондиционер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	В-417, Помещение учебно-вспомогательного персонала каф. "ТОТ"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф для документов, шкаф для хранения инвентаря, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, многофункциональный центр, компьютер персональный, принтер, кондиционер

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Термодинамика

(название дисциплины)

## 5 семестр

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

- КМ-1 Контрольная работа №1 «Расчет термодинамических свойств бинарной смеси идеальных газов» (Контрольная работа)
- КМ-2 Контрольная работа №2 «Расчет термодинамических процессов идеального газа» (Контрольная работа)
- КМ-3 Расчетное задание №1 «Расчет произвольного термодинамического цикла, состоящего из пяти различных процессов, совершаемых идеальным газом » (Домашнее задание)
- КМ-4 Контрольная работа №3 «Определение термодинамических свойств и расчет процессов воды и 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	8	10	12
1	Основные законы термодинамики и общие закономерности					
1.1	Основные определения и термины		+			
1.2	Первый закон термодинамики		+			
1.3	Второй закон термодинамики		+			
1.4	Дифференциальные уравнения термодинамики		+			
2	Процессы идеального газа					
2.1	Законы и уравнения идеального газа			+	+	
2.2	Смеси газов			+		
3	Свойства и процессы реального газа					
3.1	Термодинамические свойства реального газа					+
3.2	Термодинамические процессы реального газа.					+
3.3	Термические уравнения состояния реального газа.					+
Вес КМ, %:			15	20	35	30

## 6 семестр

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

- КМ-5 Контрольная работа №4 «Расчет процессов в суживающихся соплах и соплах Лаваля» (Контрольная работа)
- КМ-6 Контрольная работа №5 "Расчет термодинамических циклов паротурбинных установок" (Контрольная работа)
- КМ-7 Расчетное задание №2 "Расчет термодинамического цикла АЭС - цикла паротурбинной установки на насыщенном паре с сепаратором - пароперегревателем (СПП) и двумя регенеративными подогревателями питательной воды" (Домашнее задание)
- КМ-8 Контрольная работа №6 "Расчет термодинамических циклов газотурбинных, парогазовых установок, холодильных и теплонасосных установок" (Контрольная работа)
- КМ-9 Лабораторная работа №1-4 (Тестирование)

### Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8	КМ-9
		Неделя КМ:	4	8	10	12	13
1	Процессы в потоке вещества						
1.1	Расчет сопл		+				+
1.2	Процессы в диффузоре		+				
1.3	Дросселирование		+				
2	Термодинамические циклы паротурбинных установок						
2.1	Паротурбинные установки			+			+
2.2	Промежуточный перегрев пара в циклах ПТУ на перегретом паре			+			
2.3	Регенерация в циклах ПТУ			+			
2.4	Сепарация пара в циклах ПТУ на насыщенном паре			+	+		
2.5	Теплофикационные циклы ПТУ (циклы ПТУ-ТЭЦ)			+			
3	Термодинамические циклы газотурбинных и парогазовых установок						
3.1	Цикл простой газотурбинной установки					+	
3.2	Цикл газотурбинной установки с регенерацией					+	
3.3	Теплофикационный цикл газотурбинной установки					+	
3.4	Термодинамический цикл парогазовой установки с котлом-утилизатором					+	

3.5	Термодинамические циклы двигателей внутреннего сгорания				+	
4	Обратные термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок					
4.1	Обратные термодинамические циклы холодильных установок				+	
4.2	Термодинамические циклы теплонасосных установок				+	
Вес КМ, %:		20	20	20	20	20