

**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: Атомные электростанции и 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.04</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> <b>Контрольная работа</b> <b>Домашнее задание</b> <b>Тестирование</b>	
<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 2020**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Егорова Н.В.
	Идентификатор	R0d5093c1-YegorovaNatV-98b5bbd

(подпись)


Н.В. Егорова

(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	Аникеев А.В.
	Идентификатор	R64fa5fd7-AnikeevAV-ee466b65


(подпись)

А.В. Аникеев

(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	Аникеев А.В.
	Идентификатор	R64fa5fd7-AnikeevAV-ee466b65

(подпись)

А.В. Аникеев

(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: - самостоятельно анализировать термодинамические процессы и циклы, методы их расчета и применять их для решения поставленной задачи; - экспериментально определять термодинамические характеристики процессов идеального газа, влажного воздуха, воды и водяного пара; - рассчитывать термодинамические циклы ПТУ; - рассчитывать произвольные термодинамические циклы идеального газа и оценивать их эффективность; - рассчитывать термодинамические циклы паротурбинных, газотурбинных, холодильных и теплонасосных установок.

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

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Атомные электростанции и 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], 7-25, 78-104 [3], 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	-	<p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание</p>	

													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> [2], 26-34, 45-77 [3], 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], 133-152 [3], 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 экзамена
4.1	Расчет сопл	18		2	4	8	-	-	-	-	-	4	-	
4.2	Процессы в диффузоре	4		1	-	-	-	-	-	-	-	3	-	
4.3	Дросселирование	4		1	-	-	-	-	-	-	-	3	-	

													<p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Процессы в потоке вещества" материалу.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[2], 164-205 [3], . 236-245, 256- 266, 267-294</p>
5	Термодинамические циклы паротурбинных установок	62.0	10	4.0	10	-	-	-	-	-	38	-	<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Повторение материала по разделу "Термодинамические циклы паротурбинных установок" для успешного написания контрольной работы</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 циклы паротурбинных установок" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Термодинамические циклы паротурбинных установок" для успешной сдачи экзамена</p> <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в</p>
5.1	Паротурбинные установки	11	2	1	4	-	-	-	-	-	4	-	
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	-	

													разделе "Термодинамические циклы паротурбинных установок" материалу. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 230-249 [3], 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 <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Термодинамические циклы газотурбинных и парогазовых установок" для успешной сдачи экзамена
6.1	Цикл простой газотурбинной установки	8	2	1	2	-	-	-	-	-	3	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 212-223, 251-253 [3], 319-327, 328-331, 383-386
6.2	Цикл газотурбинной установки с регенерацией	5.5	1	0.5	1	-	-	-	-	-	3	-	
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 установок	12	3	1	2	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 267-268, 273-274



														[3], 414-417, 422-427, 438-440; [2] стр. 267-268, 273-274
	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 пароконденсационных теплонасосных установок в  $T,s$ - диаграмме, характеристики цикла.

## **3.3. Темы практических занятий**

1. 2.Контрольная работа №1: Расчет термодинамических свойств бинарной смеси идеальных газов.;
2. 10.Расчет термодинамических циклов паротурбинных установок;
3. 9.Контрольная работа №4. Расчет процессов в суживающихся соплах и соплах Лаваля;
4. 8.Процессы расширения газа и пара в суживающихся соплах и в соплах Лавалья;

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

### **3.4. Темы лабораторных работ**

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

### **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>										
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"
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"
экспериментально определять термодинамические характеристики процессов идеального газа, влажного воздуха, воды и водяного	ИД-1ПК-2				+	+				Тестирование/Лабораторная работа №1-4

пара									
самостоятельно анализировать термодинамические процессы и циклы, методы их расчета и применять их для решения поставленной задачи	ИД-1ПК-2					+			Домашнее задание/Расчетное задание №2 "Расчет термодинамического цикла АЭС - цикла паротурбинной установки на насыщенном паре с сепаратором - пароперегревателем (СПП) и двумя регенеративными подогревателями питательной воды"

## **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.

**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;
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	А-300, Учебная аудитория "А"	кресло рабочее, парта, стеллаж, стол преподавателя, стол учебный, стул, трибуна, микрофон, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, колонки, техническая аппаратура, кондиционер, телевизор
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	А-306, Учебная аудитория "А"	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
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	А-306, Учебная	парта со скамьей, стол преподавателя, стул,

для проведения промежуточной аттестации	аудитория "А"	доска меловая
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	А-306, Учебная аудитория "А"	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
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