

**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: Техника и физика низких температур

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> <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 2023**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Охотин В.С.
	Идентификатор	Rb4ac9f4b-OkhotinVS-9c5a725f

(подпись)

В.С. Охотин

(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	Крюков А.П.
	Идентификатор	R9b81f956-KryukovAP-8dacf4ed

(подпись)

А.П. Крюков

(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	Пузина Ю.Ю.
	Идентификатор	Re86e9a56-Puzina-4d2acad1

(подпись)

Ю.Ю. Пузина

(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 Способен анализировать результаты расчетов процессов переноса, протекающих в конкретных технических устройствах и аппаратах энергетического оборудования специального назначения	ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Демонстрирует понимание основных законов термодинамики и применяет их для расчетов термодинамических процессов в элементах энергетических систем различного назначения	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: - экспериментально определять термодинамические характеристики процессов идеального газа, влажного воздуха, воды и водяного пара.; - рассчитывать произвольные термодинамические циклы идеального газа и оценивать их эффективность; - рассчитывать термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок; - рассчитывать термодинамические циклы теплосиловых установок;; - рассчитывать сложные термодинамические циклы холодильных и теплосиловых установок;.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Техника и физика низких температур (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	33	5	14	-	8	-	-	-	-	-	11	-	<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Повторение материала по разделу "Основные законы термодинамики и общие закономерности" необходимо для успешного написания контрольных работ КР2, КР3, КР4, КР5, КР6.</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. Подготовка расчетного задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Расчетное задание выдается студентам по изученному в разделе "Основные законы термодинамики и общие закономерности" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка расчетного задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 9-15, 28-69, 81-99, 111-121, 125-14 [2], стр. 7-25, 78-104</p>	
1.1	Основные определения и термины	9		4	-	2	-	-	-	-	-	-	3		-
1.2	Первый закон термодинамики	9		4	-	2	-	-	-	-	-	-	3		-
1.3	Второй закон термодинамики	9		4	-	2	-	-	-	-	-	-	3		-
1.4	Дифференциальные уравнения термодинамики	6		2	-	2	-	-	-	-	-	-	2		-
2	Процессы идеального	38		4	-	12	-	-	-	-	-	22	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b>	

газа														
2.1	Законы и уравнения идеального газа	24	2	-	6	-	-	-	-	-	-	16	-	Повторение материала по разделу "Процессы идеального газа" необходимо для успешного написания контрольных работ КР2, КР4, КР5, КР6. <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Повторение материала по разделу "Процессы идеального газа" необходимо для выполнения расчетного задания в 5-м семестре и успешной сдачи экзаменов. Подготовка расчетного задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Расчетное задание выдается студентам по изученному в разделе "Процессы идеального газа" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка расчетного задания проводится по представленным письменным работам. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 15-27, 215-222, 225-236 [2], стр. 26-34, 45-77
2.2	Смеси газов	14	2	-	6	-	-	-	-	-	-	6	-	
3	Свойства и процессы реального газа	35	6	-	14	-	-	-	-	-	-	15	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Повторение материала по разделу "Свойства и процессы реального газа" необходимо для успешного написания контрольных работ КР3, КР4, КР5, КР6 <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Повторение материала по разделу "Свойства и процессы реального газа" необходимо для выполнения расчетного задания в 6-м семестре и успешной сдачи экзаменов. Подготовка расчетного задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Расчетное задание выдается студентам по изученному в разделе "Свойства и процессы реального газа" материалу. Дополнительно студенту
3.1	Термодинамические свойства реального газа	12	2	-	5	-	-	-	-	-	-	5	-	
3.2	Термодинамические процессы реального газа.	12	2	-	5	-	-	-	-	-	-	5	-	
3.3	Термические уравнения состояния реального газа.	11	2	-	4	-	-	-	-	-	-	5	-	

													необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка расчетного задания проводится по представленным письменным работам. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 141-152, 168-169, 177-183, 187-189, 197-198, 207-211, 215-223 [2], стр. 133-152	
4	Процессы в потоке вещества	38		8	-	14	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Повторение материала по разделу "Процессы в потоке вещества" необходимо для успешного написания контрольных работ КР2, КР3, КР4, КР5, КР6 <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Повторение материала по разделу "Процессы в потоке вещества" необходимо для выполнения расчетного задания в 6-м семестре и успешной сдачи экзаменов. Подготовка расчетного задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Расчетное задание выдается студентам по изученному в разделе "Процессы в потоке вещества" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 236-245, 256- 266, 267-294 [2], стр. 164-205
4.1	Процессы истечения газа и пара из сопл	13		3	-	5	-	-	-	-	-	5	-	
4.2	Процессы в диффузоре	13		3	-	5	-	-	-	-	-	5	-	
4.3	Процессы дросселирования	12		2	-	4	-	-	-	-	-	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			
5	Термодинамические циклы теплосиловых установок	56	6	12	8	14	-	-	-	-	-	22	-	<b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе и защите отчета по лабораторной работе

5.1	Термодинамические циклы паротурбинных установок	18		4	2	4	-	-	-	-	-	8	-	необходимо предварительно изучить тему "Термодинамические циклы теплосиловых установок" <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Повторение материала по разделу "Термодинамические циклы теплосиловых установок" необходимо для выполнения расчетного задания в 6-м семестре и успешной сдачи экзаменов. 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. <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Термодинамические циклы паротурбинных установок" для успешного написания контрольной работы КР6 <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 319-328, 347-358, 383-386 [2], стр. 230-253
5.2	Термодинамические циклы газотурбинных установок (циклы ГТУ)	19		4	2	5	-	-	-	-	-	8	-	
5.3	Термодинамический цикл одноконтурной парогазовой установки (ПГУ) с котлом-утилизатором	19		4	4	5	-	-	-	-	-	6	-	
6	Обратные термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок	31		4	4	4	-	-	-	-	-	19	-	<b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе и защите отчета по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему "Обратные термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок" <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Повторение материала по разделу "Обратные термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок" необходимо для выполнения расчетного задания в 6-м
6.1	Обратные термодинамические циклы холодильных установок	18		2	4	2	-	-	-	-	-	10	-	
6.2	Термодинамические циклы теплонасосных	13		2	-	2	-	-	-	-	-	9	-	



	установок												<p>семестре и успешной сдачи экзаменов. Подготовка расчетного задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Расчетное задание выдается студентам по изученному в разделе "Обратные термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка расчетного задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Повторение материала по разделу "Обратные термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок" необходимо для успешного написания контрольных работ КР2, КР3, КР4, КР5</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 414-427, 438-440 [2], стр. 267-274</p>
7	Избранные главы термодинамики	57	12	2	10	-	-	-	-	-	33	-	<p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе и защите отчета по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему "Избранные главы термодинамики"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Повторение материала по разделу "Избранные главы термодинамики " необходимо для успешной сдачи экзаменов. Материалы раздела "Избранные главы термодинамики ", необходимы при изучении следующих дисциплин: «Криофизика», «Термодинамические основы низкотемпературной техники», «Физика конденсированного состояния», а также при выполнении выпускной квалификационной</p>
7.1	Третий закон термодинамики	10	2	-	2	-	-	-	-	-	6	-	
7.2	Процессы во влажном воздухе	12	2	2	2	-	-	-	-	-	6	-	
7.3	Термодинамика магнетиков	10	2	-	2	-	-	-	-	-	6	-	
7.4	Фазовые переходы 2-го рода	10	2	-	2	-	-	-	-	-	6	-	
7.5	Термодинамика поверхности раздела фаз	15	4	-	2	-	-	-	-	-	9	-	

													работы <b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе ЛР8 и защите отчета по лабораторной работе необходимо предварительно изучить материалы раздела "Избранные главы термодинамики " по теме "Процессы во влажном воздухе" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 211-214, 445-456
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	180.0	28	14	28	-	2	-	-	0.5	74	33.5	
	Итого за семестр	180.0	28	14	28		2	-		0.5		107.5	
	<b>ИТОГО</b>	<b>360.0</b>	-	<b>60</b>	<b>14</b>	<b>76</b>	<b>4</b>	-		<b>1.0</b>		<b>205.0</b>	

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

### 3.2 Краткое содержание разделов

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

##### 1.1. 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. Процессы истечения газа и пара из сопла

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 Лавалья.

##### 4.2. Процессы в диффузоре

Процессы в диффузоре, влияние трения.

##### 4.3. Процессы дросселирования

Основное уравнение адиабатного дросселирования, изображение процесса в  $h,s$ - и  $T,s$ - диаграммах, изменение свойств газов и жидкостей при адиабатном дросселировании. Изменение температуры при адиабатном дросселировании, эффект Джоуля-Томсона, кривая инверсии.

#### 5. Термодинамические циклы теплосиловых установок

##### 5.1. Термодинамические циклы паротурбинных установок

Принципиальная схема паротурбинной установки (ПТУ) и цикл Ренкина в  $T,s$ - и  $h,s$ - диаграммах. Удельная работа, подведенная и отведенная теплота, термический и внутренний КПД цикла, мощность ПТУ. Влияние начальных и конечных параметров пара на КПД цикла Ренкина. Теплофикационные циклы ПТУ (циклы ПТУ-ТЭЦ), произведенная тепловая и электрическая энергия, критерии эффективности.

##### 5.2. Термодинамические циклы газотурбинных установок (циклы ГТУ)

Принципиальная схема и цикл простой ГТУ в  $T,s$ - диаграмме, термический и внутренний КПД цикла, мощность ГТУ. Влияние параметров газа на удельную работу, термический и внутренний КПД цикла ГТУ. Теплофикационные циклы ГТУ (циклы ГТУ-ТЭЦ), произведенная тепловая и электрическая энергия, критерии эффективности ГТУ-ТЭЦ.

##### 5.3. Термодинамический цикл одноконтурной парогазовой установки (ПГУ) с котлом-утилизатором

Принципиальная схема и цикл простой ГТУ в  $T,s$ - диаграмме, термический и внутренний КПД цикла, мощность ПТУ. Влияние параметров газа на удельную работу, термический и внутренний КПД цикла ГТУ. Теплофикационные циклы ГТУ (циклы ГТУ-ТЭЦ), произведенная тепловая и электрическая энергия, критерии эффективности ГТУ-ТЭЦ.

#### 6. Обратные термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок

##### 6.1. 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.

#### 6.2. 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 пароконпрессионных теплонасосных установок в  $T,s$ - диаграмме, характеристики цикла.

### 7. Избранные главы термодинамики

#### 7.1. Третий закон термодинамики

Формулировка третьего закона термодинамики. Следствия из третьего закона термодинамики.

#### 7.2. Процессы во влажном воздухе

Определение и свойства влажного воздуха. Процессы во влажном воздухе.

#### 7.3. Термодинамика магнетиков

Основные свойства и характеристики диамагнетиков, парамагнетиков и ферромагнетиков, закон Кюри. Основные законы термодинамики для магнетиков, изотермический и адиабатный процессы в магнетиках. Получение низких температур методом адиабатного размагничивания парамагнетиков.

#### 7.4. Фазовые переходы 2-го рода

Классификация фазовых переходов по Эренфесту, соотношения Эренфеста для фазовых переходов 2-го рода. Лямбда-переходы, особенности и объяснение лямбда-переходов.

#### 7.5. Термодинамика поверхности раздела фаз

Термодинамические свойства поверхности раздела фаз. Фазовое равновесие при искривленной границе раздела фаз.

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

10. Расчет термодинамических циклов пароконпрессионных двухступенчатых и каскадных холодильных установок;
- Расчет теплофикационных циклов паротурбинных и газотурбинных установок;
14. Расчет простых термодинамических циклов паротурбинных и газотурбинных установок – цикла Ренкина и цикла Брайтона.;
- Контрольная работа №5. Расчет термодинамических циклов холодильных и теплонасосных установок;
12. Расчет термодинамических циклов теплонасосных установок (ТНУ): обратного обратимого цикла Карно и цикла пароконпрессионной ТНУ;
11. Расчет термодинамических циклов воздушных холодильных установок;
16. Контрольная работа №6. Расчет термодинамических циклов простых паротурбинных и газотурбинных установок, теплофикационных циклов паротурбинных и газотурбинных установок;
3. Контрольная работа №1: термодинамические свойства смеси идеальных газов. Контрольная работа №2: расчет процессов идеального газа с учетом зависимости теплоемкости газа от температуры;

9. 7. Контрольная работа №4. Расчет процессов, скорости и расхода газа (или пара) в суживающихся соплах и в соплах Лавалья;
10. 6. Процессы расширения газа и пара в суживающихся соплах и в соплах Лавалья;
11. 5. Контрольная работа №3. Термодинамические свойства и процессы реального газа – водяного пара;
12. 4. Термодинамические свойства и процессы реального газа – водяного пара;
13. 2. Законы и уравнения идеального газа. Термодинамические свойства смеси идеальных газов. Процессы идеального газа, расчет процессов с учетом зависимости теплоемкости газа от температуры;
14. 8. Процессы в компрессорах;
15. 17. Расчет свойств и процессов влажного воздуха;
16. 9. Расчет термодинамических циклов холодильных установок: обратного обратимого цикла Карно, простых циклов пароконденсационной и воздушной холодильных установок;
17. 1. Основные законы термодинамики. Параметры состояния..

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Исследование процессов во влажном воздухе;
2. 1. Исследование процесса адиабатного течения воздуха в суживающихся соплах;
3. Определение изобарной теплоемкости и термодинамических свойств воздуха.

### **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 сложные термодинамические циклы холодильных и теплосиловых установок;	ИД-1ПК-2								+	Домашнее задание/Расчетное задание 2 «Расчет сложных термодинамических циклов»
рассчитывать термодинамические циклы теплосиловых установок;	ИД-1ПК-2					+				Контрольная работа/Контрольная работа 6 «Расчет термодинамических циклов паротурбинных и газотурбинных установок»
рассчитывать термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок	ИД-1ПК-2							+		Контрольная работа/Контрольная работа 5 «Расчет простых циклов 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»
экспериментально определять	ИД-1ПК-2								+	Тестирование/Защита лабораторных работ

термодинамические характеристики процессов идеального газа, влажного воздуха, воды и водяного пара.									тестированием
---	--	--	--	--	--	--	--	--	---------------



#### **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: Билеты (письменный опрос)

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

###### **6 семестр**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Контрольная работа 5 «Расчет простых циклов холодильных и теплонасосных установок» (Контрольная работа)
2. Контрольная работа 6 «Расчет термодинамических циклов паротурбинных и газотурбинных установок» (Контрольная работа)

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Защита лабораторных работ тестированием (Тестирование)

Форма реализации: Письменная работа

1. Расчетное задание 2 «Расчет сложных термодинамических циклов» (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. 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);
2. Сборник задач по технической термодинамике : учебное пособие для теплоэнергетических специальностей вузов / Т. Н. Андрианова, и др. ; ред. М. П. Вукалович . – М-Л : Энергия, 1964 . – 200 с..

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

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Майнд Видеоконференции;
3. TBT 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 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
	Б-205, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, колонки
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Б-205, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, колонки
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	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 аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Б-205, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, колонки
Помещения для самостоятельной работы	М-411/1, Компьютерный класс	стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный

Помещения для консультирования	М-402, Аудитория каф. "НТ"	стеллаж для хранения книг, стул, стол письменный
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	М-407/1, Кладовая	стеллаж для хранения инвентаря, стеллаж для хранения книг, инвентарь специализированный

## 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 Контрольная работа №3 «Определение термодинамических свойств и расчет процессов воды и водяного пара» (Контрольная работа)
- КМ-4 Расчетное задание №1 «Расчет произвольного термодинамического цикла, состоящего из пяти различных процессов, совершаемых идеальным газом » (Домашнее задание)
- КМ-5 Контрольная работа 4 «Расчет процессов в суживающихся соплах и соплах Лавалья» (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	7	11	13	15
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.				+		

4	Процессы в потоке вещества					
4.1	Процессы истечения газа и пара из сопл					+
4.2	Процессы в диффузоре					+
4.3	Процессы дросселирования					+
Вес КМ, %:		10	15	25	25	25

### 6 семестр

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

- КМ-6 Контрольная работа 5 «Расчет простых циклов холодильных и теплонасосных установок» (Контрольная работа)
- КМ-7 Контрольная работа 6 «Расчет термодинамических циклов паротурбинных и газотурбинных установок» (Контрольная работа)
- КМ-8 Расчетное задание 2 «Расчет сложных термодинамических циклов» (Домашнее задание)
- КМ-9 Защита лабораторных работ тестированием (Тестирование)

#### Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-6	КМ-7	КМ-8	КМ-9
		Неделя КМ:	4	10	12	14
1	Термодинамические циклы теплосиловых установок					
1.1	Термодинамические циклы паротурбинных установок			+		
1.2	Термодинамические циклы газотурбинных установок (циклы ГТУ)			+		
1.3	Термодинамический цикл одноконтурной парогазовой установки (ПГУ) с котлом-утилизатором			+		
2	Обратные термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок					
2.1	Обратные термодинамические циклы холодильных установок		+			
2.2	Термодинамические циклы теплонасосных установок		+			
3	Избранные главы термодинамики					
3.1	Третий закон термодинамики				+	
3.2	Процессы во влажном воздухе					+
3.3	Термодинамика магнетиков				+	
3.4	Фазовые переходы 2-го рода				+	

3.5	Термодинамика поверхности раздела фаз			+	
	Вес КМ, %:	20	20	30	30