

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

---

Направление подготовки/специальность: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Автоматизация технологических процессов в теплоэнергетике

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины  
ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА**


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

**Москва 2019**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)


Н.В. Егорова

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

|   |  |                            |
|---|--|----------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                            |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                            |
|   | Владелец   | Мезин С.В.                 |
|   | Идентификатор                                      | R420ae592-MezinSV-dc40cfee |


(подпись)

С.В. Мезин

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

|   |  |                               |
|---|--|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                               |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                               |
|   | Владелец   | Черняев А.Н.                  |
|   | Идентификатор                                      | R7a97f450-ChernyaevAN-b37575e |

(подпись)

А.Н. Черняев

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

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

### Задачи дисциплины

- изучение основных законов термодинамики, методов их применения для расчета и анализа процессов в техническом оборудовании и системах производства, передачи и трансформации теплоты в теплосиловых, холодильных и теплонасосных установках;
- изучение методов получения информации о термических и калорических свойствах веществ, применяемых в качестве теплоносителей и рабочих тел в теплосиловых, холодильных и теплонасосных установках;
- освоение методов расчета термодинамических процессов и циклов теплосиловых, холодильных и теплонасосных установок, методов определения и анализа параметров их работы и показателей эффективности;
- изучение основ экспериментального исследования и математического моделирования термодинамических процессов и циклов теплосиловых 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   |
|---|---|---|
| ОПК-3 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач | ИД-5 <sub>ОПК-3</sub> Демонстрирует понимание физических явлений и умеет применять физические законы механики, молекулярной физики, термодинамики, электричества и магнетизма для решения типовых задач | знать:<br>- особенности и методы расчета термодинамических процессов и циклов теплоэнергетических, холодильных и теплосиловых установок, показатели их эффективности;<br>- о термических и калорических свойствах веществ, методах получения информации о них;<br>- основные понятия и термины в области технической термодинамики, их физический смысл; методики расчета термодинамических процессов идеального и реального газа.<br><br>уметь:<br>- экспериментально определять термодинамические характеристики процессов реального газов. |
| ОПК-4 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах                          | ИД-2 <sub>ОПК-4</sub> Демонстрирует понимание основ термодинамики, основных законов термодинамики и применяет их для расчетов термодинамических процессов, циклов и их показателей                      | знать:<br>- расчет термодинамических свойств и процессов идеального газа, основные законы термодинамики..<br><br>уметь:<br>- рассчитывать термодинамические процессы и циклы преобразования энергии, используемые в теплосиловых, холодильных и теплонасосных   |

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Запланированные результаты обучения   |
|--------------------------------|--|---|
|                                |  | установках, показатели их эффективности;;<br>- определять рабочие параметры технического оборудования, анализировать влияние их изменения на показатели эффективности теплотехнических установок и систем.;<br>- рассчитывать термодинамические циклы ПТУ и оценивать их эффективность;<br>- рассчитывать произвольные термодинамические циклы идеального газа и оценивать их эффективность;. |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Автоматизация технологических процессов в теплоэнергетике (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

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

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

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 9 зачетных единиц, 324 часа.

| № п/п | Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации | Всего часов на раздел | Семестр | Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы |     |    |              |   |     |    |    |                   |                                   | Содержание самостоятельной работы/ методические указания   |   |
|-------|--|-----------------------|---------|--|-----|----|--------------|---|-----|----|----|-------------------|-----------------------------------|--|---|
|       |  |                       |         | Контактная работа  |     |    |              |   |     |    | СР |                   |                                   |  |   |
|       |  |                       |         | Лек  | Лаб | Пр | Консультация |   | ИКР |    | ПА | Работа в семестре | Подготовка к аттестации /контроль |  |   |
| КПР   | ГК   | ИККП                  | ТК      |  |     |    |              |   |     |    |    |                   |                                   |  |   |
| 1     | 2  | 3                     | 4       | 5  | 6   | 7  | 8            | 9 | 10  | 11 | 12 | 13                | 14                                | 15   |   |
| 1     | Введение. Первый закон термодинамики                   | 32                    | 3       | 8  | -   | 8  | -            | - | -   | -  | -  | 16                | -                                 | <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение литературы по теме раздела</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Решение задач по теме процессов идеального газа</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], 9-19; 28-48<br/>[3], 5-16, 31-38<br/>[5], 3-95<br/>[6], 3-220</p> |   |
| 1.1   | Основные понятия термодинамики.                        | 4                     |         | 2  | -   | 1  | -            | - | -   | -  | -  | 1                 | -                                 |  |   |
| 1.2   | Первый закон термодинамики                             | 28                    |         | 6  | -   | 7  | -            | - | -   | -  | -  | 15                | -                                 |  |   |
| 2     | Смеси газов. Второй закон термодинамики                | 27                    |         | 8  | -   | 7  | -            | - | -   | -  | -  | 12                | -                                 |  | <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение литературы по теме раздела</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Решение задач на тему процессы и свойства смеси идеальных газов</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Выполнить домашнее задание, рассчитать цикл идеального газа</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], 20-27; 49-117<br/>[3], 17-30<br/>[4], 8-13<br/>[5], 3-95<br/>[6], 3-220</p> |
| 2.1   | Смеси идеальных газов                                  | 6                     |         | 2  | -   | 2  | -            | - | -   | -  | -  | 2                 | -                                 |  |   |
| 2.2   | Второй закон термодинамики                             | 21                    |         | 6  | -   | 5  | -            | - | -   | -  | -  | 10                | -                                 |  |   |

|     |   |              |   |           |          |           |          |          |          |            |             |           |             |   |
|-----|---|--------------|---|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|------------|-------------|-----------|-------------|---|
| 3   | Эксергия. Реальные газы. Химическая термодинамика           | 49           |   | 16        | -        | 17        | -        | -        | -        | -          | -           | 16        | -           | <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение литературы по теме раздела</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Решение задач по теме термодинамических свойств и процессов, связанных с рабочим телом - вода и водяной пар, построение параметров в диаграммах: h-s, T-s, p-v.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], 128-155; 170-215; 302-308; 457-487.<br/>[3], 66-72, 39-65<br/>[6], 3-220</p> |
| 3.1 | Эксергия  | 6            |   | 2         | -        | 2         | -        | -        | -        | -          | -           | 2         | -           |   |
| 3.2 | Водяной пар   | 37           |   | 10        | -        | 14        | -        | -        | -        | -          | -           | 13        | -           |   |
| 3.3 | Основы химической термодинамики. Третий закон термодинамики | 6            |   | 4         | -        | 1         | -        | -        | -        | -          | -           | 1         | -           |   |
|     | Экзамен   | 36.0         |   | -         | -        | -         | -        | 2        | -        | -          | 0.5         | -         | 33.5        |   |
|     | <b>Всего за семестр</b>                                     | <b>144.0</b> |   | <b>32</b> | <b>-</b> | <b>32</b> | <b>-</b> | <b>2</b> | <b>-</b> | <b>-</b>   | <b>0.5</b>  | <b>44</b> | <b>33.5</b> |   |
|     | <b>Итого за семестр</b>                                     | <b>144.0</b> |   | <b>32</b> | <b>-</b> | <b>32</b> | <b>2</b> | <b>-</b> | <b>-</b> | <b>0.5</b> | <b>77.5</b> |           |             |   |
| 4   | Течение газов и жидкостей.                                  | 34           | 4 | 8         | -        | 8         | -        | -        | -        | -          | -           | 18        | -           | <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение литературы по теме раздела</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Решение задач по теме истечения жидкостей и газов из сопел, выбор типа сопла, построение процесса в h-s и T-s диаграммах</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], 267-293; 445-457<br/>[5], 3-95<br/>[6], 3-220</p>   |
| 4.1 | Течение газов и жидкостей                                   | 26           |   | 6         | -        | 8         | -        | -        | -        | -          | -           | 12        | -           |   |
| 4.2 | Влажный воздух  | 8            |   | 2         | -        | -         | -        | -        | -        | -          | -           | 6         | -           |   |
| 5   | Термодинамические циклы паротурбинных установок             | 57           |   | 12        | -        | 12        | -        | -        | -        | -          | -           | 33        | -           | <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение литературы по теме раздела</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Выполнить домашнее задание, рассчитать цикл паротурбинной установки при заданных начальных параметрах, параметрах промежуточного перегрева, рассчитать балансы регенеративных подогревателей. По результатам расчета построить в масштабе цикл в T-s диаграмме</p>   |
| 5.1 | Схемы паротурбинных установок                               | 46           |   | 10        | -        | 10        | -        | -        | -        | -          | -           | 26        | -           |   |
| 5.2 | Циклы атомных ПТУ   | 11           |   | 2         | -        | 2         | -        | -        | -        | -          | -           | 7         | -           |   |

|     |   |    |    |    |    |   |   |   |   |   |    |   |   |
|-----|---|----|----|----|----|---|---|---|---|---|----|---|---|
|     |   |    |    |    |    |   |   |   |   |   |    |   | <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b><br/>Решение задач по теме циклы паротурбинных установок, теплофикационные циклы, цикла атомных ПТУ. Построение цикла ПТУ в h-s и T-s диаграммах</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], 347-380, 388-391<br/>[3], 73-110<br/>[4], 14-32<br/>[6], 3-220</p> |
| 6   | Газовые и парогазовые термодинамические циклы.                              | 37 | 12 | -  | 12 | - | - | - | - | - | 13 | - | <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение литературы по теме раздела</p>   |
| 6.1 | Сжатие газов, газовые термодинамические циклы и циклы парогазовых установок | 26 | 8  | -  | 8  | - | - | - | - | - | 10 | - | <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b><br/>Изучение материалов по разделу Газовые и парогазовые термодинамические циклы. Решение задач по темам газотурбинных, парогазовых установок, двигателей внутреннего сгорания, холодильных установок, теплонасосных установок</p>  |
| 6.2 | Обратные термодинамические циклы  | 11 | 4  | -  | 4  | - | - | - | - | - | 3  | - | <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], 256-267, 309 - 347, 380-388, 414-429, 438-440<br/>[2], 1-31<br/>[3], 111-133<br/>[5], 3-95<br/>[6], 3-220<br/>[7], 4-44</p>  |
| 7   | Лабораторный практикум  | 16 | -  | 16 | -  | - | - | - | - | - | -  | - | <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 "Лабораторный практикум" материалу</p>  |
| 7.1 | Лабораторные работы   | 16 | -  | 16 | -  | - | - | - | - | - | -  | - |   |

|  |                  |              |    |           |           |           |          |   |   |            |    |              |  |
|--|------------------|--------------|----|-----------|-----------|-----------|----------|---|---|------------|----|--------------|--|
|  |                  |              |    |           |           |           |          |   |   |            |    |              | <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b><br/>Подготовка отчетов по лабораторным работам. Повторение материала по разделу "Лабораторный практикум"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Лабораторный практикум"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], 20-27; 44-48; 125-127; 170-202; 215-220; 267-293; 445-456<br/>[5], 3-95<br/>[6], 3-220</p> |
|  | Экзамен          | 36.0         | -  | -         | -         | -         | 2        | - | - | 0.5        | -  | 33.5         |  |
|  | Всего за семестр | 180.0        | 32 | 16        | 32        | -         | 2        | - | - | 0.5        | 64 | 33.5         |  |
|  | Итого за семестр | 180.0        | 32 | 16        | 32        | 2         | -        | - | - | 0.5        | -  | 97.5         |  |
|  | <b>ИТОГО</b>     | <b>324.0</b> | -  | <b>64</b> | <b>16</b> | <b>64</b> | <b>4</b> | - | - | <b>1.0</b> | -  | <b>175.0</b> |  |

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



## 3.2 Краткое содержание разделов

### 1. Введение. Первый закон термодинамики

#### 1.1. Основные понятия термодинамики.

Техническая термодинамика как теоретическая основа теплоэнергетики. Основные понятия термодинамики. Термодинамическая система и окружающая среда. Функции состояния и функции процесса. Уравнение состояния. Равновесные и неравновесные состояния и процессы..

#### 1.2. Первый закон термодинамики

Первый закон термодинамики как закон сохранения и превращения энергии. Теплота и работа - формы передачи энергии. Работа расширения и техническая работа. Внутренняя энергия и энтальпия. Аналитическое выражение первого закона. Уравнение первого закона термодинамики для неравновесных процессов. Уравнение первого закона термодинамики для стационарного одномерного потока. Термодинамические свойства и процессы идеального газа. Уравнение состояния Клапейрона - Менделеева. Калорические свойства идеального газа. Молекулярно-кинетическая теория теплоемкости газов. Зависимость теплоемкости идеального газа от температуры. Внутренняя энергия и энтальпия идеального газа. Таблицы термодинамических свойств идеальных газов. Основные процессы идеальных газов. Политропные процессы и их анализ..

### 2. Смеси газов. Второй закон термодинамики

#### 2.1. Смеси идеальных газов

Понятие о смесях. Смеси идеальных газов. Способы задания состава смеси. Расчет термодинамических свойств идеальных газов по свойствам компонентов..

#### 2.2. Второй закон термодинамики

Обратимые и необратимые процессы. Основные причины необратимости процессов. Формулировки второго закона термодинамики и связь между ними. Термодинамические циклы. Термический коэффициент полезного действия цикла теплового двигателя. Цикл Карно и его КПД. Доказательство существования энтропии. Расчет изменения энтропии идеального газа с помощью таблиц.  $T,s$ -диаграмма и ее свойства. Термодинамические циклы в  $T,s$ -диаграмме. Возрастание энтропии изолированной системы. Аналитическое выражение второго закона термодинамики. Статистический смысл второго закона термодинамики. Энтропия и термодинамическая вероятность состояния. Энтропийный метод термодинамического анализа..

### 3. Эксергия. Реальные газы. Химическая термодинамика

#### 3.1. Эксергия

Понятие эксергии. Эксергия неподвижного тела, потока вещества и теплоты. Потери эксергии. Формула Гюи -Стодола. Эксергетический КПД. Характеристические функции. Химический потенциал. Основные дифференциальные уравнения термодинамики..

#### 3.2. Водяной пар

Термодинамические свойства реальных газов.  $p,V$ -диаграмма. Фазовое равновесие. Фазовая  $p,T$ -диаграмма. Правило фаз Гиббса. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Фактор сжимаемости и  $z,p$  - диаграмма. Вода и водяной пар. Удельный объем, энтальпия и энтропия воды, влажного, сухого насыщенного и перегретого пара. Сверхкритическая область состояния пара.  $T,s$ - и  $h,s$  - диаграммы водяного пара. Расчет процессов для водяного пара.

Уравнение Ван-дер-Ваальса и его анализ. Вириальное уравнение состояния для умеренно сжатых газов. Подобие термодинамических свойств веществ. Уравнение процесса дросселирования. Представление процесса дросселирования водяного пара в  $h,s$  - диаграмме. Дифференциальное уравнение адиабатного дроссель-эффекта. Температура инверсии. Кривая инверсии, проявление ее в различных термодинамических диаграммах..

### 3.3. Основы химической термодинамики. Третий закон термодинамики

Тепловой эффект реакции. Закон Гесса и его следствия. Соотношение между изохорным и изобарным эффектами реакции. Зависимость теплового эффекта реакции от температуры. Условия химического равновесия. Константа равновесия реакции. Виды констант равновесия реакции. Зависимость константы равновесия реакции от температуры. Зависимости выхода продуктов реакции от температуры, давления и присутствия инертных газов. Общие условия термодинамического равновесия. Формулировки и аналитическое выражение третьего закона термодинамики. Гипотеза Планка. Абсолютная энтропия. Следствия третьего закона термодинамики..

## 4. Течение газов и жидкостей.

### 4.1. Течение газов и жидкостей

Уравнение I закона термодинамики для обратимого адиабатного потока несжимаемой жидкости (уравнение Бернулли). Уравнение неразрывности потока. Параметры полного адиабатического торможения потока. Уравнение механической энергии. Скорость истечения из суживающегося сопла. Максимальный расход и критическая скорость. Зависимость скорости и расхода газа через сопло от отношения конечного и начального давлений. Сопло Лавая. Истечение с учетом необратимости. Коэффициенты скорости и расхода. Профиль сопла. Закон обращения воздействий. Уравнение процесса дросселирования. Представление процесса дросселирования водяного пара в  $h,s$  - диаграмме. Дифференциальное уравнение адиабатного дроссель-эффекта. Температура инверсии. Кривая инверсии, проявление ее в различных термодинамических диаграммах..

### 4.2. Влажный воздух

Свойства влажного воздуха, точка росы, влагосодержание, влажность абсолютная и относительная, энтальпия,  $h,d$ - диаграмма влажного воздуха, процессы во влажном воздухе..

## 5. Термодинамические циклы паротурбинных установок

### 5.1. Схемы паротурбинных установок

Принципиальная схема паротурбиной установки. Цикл в  $p,v$ - и  $T,s$ - диаграммах. Термический КПД цикла. Влияние начальных и конечных параметров пара на термический КПД цикла. Необратимое расширение пара в турбине и сжатие воды в насосе. Цикл и схема паротурбинной установки с промежуточным перегревом пара. Цикл в  $T,s$ - и  $h,s$ - диаграммах. КПД цикла. Регенеративный подогрев питательной воды. Схема регенеративного подогрева с отбором пара. Термический КПД, зависимость его от числа подогревателей и температуры питательной воды. Теплофикационные циклы паротурбинных установок. Критерии оценки эффективности циклов, схемы с противодавлением и с отбором пара из турбины..

### 5.2. Циклы атомных ПТУ

Циклы атомных станций с водяным теплоносителем. Принципиальная схема атомной электростанции с реактором ВВЭР. Цикл насыщенного пара с промежуточной сепарацией. Цикл с сепарацией и перегревом пара. Цикл ПТУ АЭС с реактором РБМК. Цикл ПТУ АЭС с реактором на быстрых нейтронах..

## 6. Газовые и парогазовые термодинамические циклы.

### 6.1. Сжатие газов, газовые термодинамические циклы и циклы парогазовых установок

Работа охлаждаемого одноступенчатого компрессора. Отводимая теплота. Компрессор с вредным объемом. Многоступенчатый компрессор. Оптимальное распределение давления по ступеням. Необратимое адиабатное сжатие в компрессоре. Принципиальная схема и цикл газотурбинной установки (ГТУ) с подводом теплоты при постоянном давлении. Термический КПД идеального цикла ГТУ. Действительный цикл и его КПД. Влияние необратимости процессов сжатия и расширения на КПД цикла ГТУ. Регенерация, многоступенчатое сжатие и ступенчатый подвод тепла в газотурбинной установке. Комбинированные циклы. Термодинамические циклы парогазовых установок (ПГУ), типы ПГУ, схема ПГУ с котлом-утилизатором и цикл в  $T,s$ - диаграмме. Степень бинарности цикла. КПД бинарности цикла. Термодинамические циклы двигателей внутреннего сгорания с подводом теплоты при постоянном объеме, постоянном давлении и со смешанным подводом теплоты. Изображение циклов ДВС в  $p,V$ - и  $T,s$ - диаграммах, основные характеристики и КПД циклов. Сравнение термических КПД этих циклов. Индикаторные диаграмма, давление и мощность..

### 6.2. Обратные термодинамические циклы

Обратный цикл Карно. Холодильный и отопительный коэффициенты. Схема и цикл воздушной холодильной установки, холодильный коэффициент и холодопроизводительность. Схема и цикл парокompрессионной холодильной установки. холодильный коэффициент и мощность привода, хладагенты холодильных установок. Схема парокompрессионного теплового насоса, цикл в  $T,s$ - диаграмме, отопительный коэффициент и мощность привода..

## 7. Лабораторный практикум

### 7.1. Лабораторные работы

Изохорное нагревание воды и водяного пара. Исследование процесса адиабатного истечения водяного пара (воздуха) через суживающееся сопло. Определение термодинамических свойств воздуха при атмосферном давлении. Циклы паротурбинных установок (ПТУ). Влияние параметров на энергетическую эффективность цикла ПТУ.

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

1. Истечение газов и водяного пара из суживающихся сопел при наличии трения;
2. Истечение газов и водяного пара из суживающихся сопел;
3. Контрольная работа №3 «Термодинамические свойства и процессы водяного пара»;
4. Термодинамические процессы с водяным паром (адиабатное дросселирование).;
5. Термодинамические процессы с водяным паром (адиабатный изоэнтропный);
6. Термодинамические процессы с водяным паром (изохорный);
7. Термодинамические процессы с водяным паром (изобарный);
8. Термодинамические процессы с водяным паром (изотермический);
9. Термодинамические свойства воды и водяного пара, таблицы свойств водяного пара;
10. Эксергия термодинамических систем (эксергия неподвижной системы и эксергия потока);
11. Эксергия термодинамических систем (постоянная и переменная температура источника теплоты);
12. Второй закон термодинамики. Энтропия;
13. Контрольная работа №2 «Термодинамические свойства смесей газов»;
14. Термодинамические свойства смесей газов;

15. Контрольная работа №1 «Термодинамические процессы идеального газа»;
16. Адиабатный и политропный процессы идеального газа;
17. Идеальный газ. Термодинамические свойства идеальных газов. Изотермический, изобарный, изохорный процессы идеального газа;
18. Параметры состояния термодинамической системы. Первый закон термодинамики для неподвижной системы и потока вещества;
19. Термодинамические циклы парокompрессионных холодильных машин и тепловых насосов;
20. Истечение газов и водяного пара из сопел Лаваля;
21. Контрольная работа №4 «Истечение идеальных газов и водяного пара из сопел»;
22. Термодинамические циклы паротурбинных установок;
23. Термодинамические циклы паротурбинных установок с промежуточным перегревом пара;
24. Термодинамические циклы паротурбинных установок с регенерацией;
25. Термодинамические циклы паротурбинных установок атомных электростанций;
26. Термодинамические основы теплофикации;
27. Контрольная работа №5 «Расчет циклов паротурбинных установок»;
28. Термодинамические процессы сжатия газов в поршневых и ротационных компрессорах;
29. Термодинамические циклы газотурбинных установок;
30. Термодинамические циклы двигателей внутреннего сгорания;
31. Термодинамические циклы газовых холодильных машин (воздушные холодильные установки);
32. Контрольная работа «Термодинамические циклы газотурбинных установок, двигателей внутреннего сгорания и холодильных машин».

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Изохорное нагревание воды и водяного пара;
2. Исследование процесса адиабатного истечения водяного пара (воздуха) через суживающееся сопло;
3. Определение термодинамических свойств воздуха при атмосферном давлении;
4. Определение изобарной теплоемкости и термодинамических свойств воздуха..

### **3.5 Консультации**

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

1. Обсуждение материалов по разделу
2. Обсуждение материалов по разделу
3. Обсуждение материалов по разделу
4. Обсуждение материалов по разделу
5. Обсуждение материалов по разделу
6. Обсуждение материалов по разделу
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Лабораторный практикум"

### **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<br>(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>   |                       |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| основные понятия и термины в области технической термодинамики, их физический смысл; методики расчета термодинамических процессов идеального и реального газа | ИД-5 <sub>ОПК-3</sub> | +   |   |   |   |   |   |   |   | Контрольная работа/Термодинамические свойства и процессы идеального газа   |
| о термических и калорических свойствах веществ, методах получения информации о них  | ИД-5 <sub>ОПК-3</sub> |   |   | + |   |   |   |   |   | Контрольная работа/Термодинамические свойства и процессы водяного пара   |
| особенности и методы расчета термодинамических процессов и циклов теплоэнергетических, холодильных и теплосиловых установок, показатели их эффективности      | ИД-5 <sub>ОПК-3</sub> |   |   |   | + |   |   |   |   | Контрольная работа/Истечение идеальных газов и водяного пара из сопел  |
| расчет термодинамических свойств и процессов идеального газа, основные законы термодинамики.  | ИД-2 <sub>ОПК-4</sub> |   | + |   |   |   |   |   |   | Контрольная работа/Термодинамические свойства и процессы смесей газов  |
| <b>Уметь:</b>   |                       |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| экспериментально определять термодинамические характеристики процессов реального газов  | ИД-5 <sub>ОПК-3</sub> |   |   |   | + | + |   |   | +                                       | Тестирование/Зачет по результатам выполнения и защиты лабораторных работ   |
| рассчитывать произвольные термодинамические циклы идеального газа и оценивать их эффективность;   | ИД-2 <sub>ОПК-4</sub> |   | + |   |   |   |   |   |   | Расчетно-графическая работа/Расчет цикла на идеально-газовом рабочем веществе  |
| рассчитывать термодинамические циклы ПТУ и оценивать их эффективность   | ИД-2 <sub>ОПК-4</sub> |   |   |   |   | + |   |   |   | Расчетно-графическая работа/Расчет цикла ПТУ с промежуточным перегревом пара и двумя регенеративными подогревателями |
| определять рабочие параметры технического   | ИД-2 <sub>ОПК-4</sub> |   |   |   |   | + |   |   |   | Контрольная работа/Расчет циклов   |

|   |           |  |  |  |  |  |  |   |   |
|---|-----------|--|--|--|--|--|--|---|---|
| оборудования, анализировать влияние их изменения на показатели эффективности теплотехнических установок и систем.   |           |  |  |  |  |  |  |   | паротурбинных установок   |
| рассчитывать термодинамические процессы и циклы преобразования энергии, используемые в теплосиловых, холодильных и теплонасосных установках, показатели их эффективности; | ИД-2ОПК-4 |  |  |  |  |  |  | + | Контрольная работа/Расчет процессов сжатия в компрессорах, циклов газотурбинных установок, двигателей внутреннего сгорания, холодильных машин и теплонасосных установок |

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

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

#### **3 семестр**

Форма реализации: Защита задания

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

Форма реализации: Письменная работа

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

#### **4 семестр**

Форма реализации: Защита задания

1. Зачет по результатам выполнения и защиты лабораторных работ (Тестирование)
2. Расчет цикла ПТУ с промежуточным перегревом пара и двумя регенеративными подогревателями (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Письменная работа

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

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

#### *Экзамен (Семестр №3)*

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

#### *Экзамен (Семестр №4)*

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

В диплом выставляется оценка за 4 семестр.

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

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

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

1. 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. Охотин, В. С. Таблицы термодинамических свойств фреонов и других хладагентов : Методическое пособие по курсам "Термодинамика" и "Теоретические основы теплотехники" по направлениям "Теплоэнергетика", "Энергомашиностроение" и "Техническая физика" / В. С. Охотин, А. А. Александров, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2001 . – 31 с.;
3. Александров, А. А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок : учебное пособие для вузов по направлению 650800 "Теплоэнергетика" / А. А. Александров . – М. : Изд-во МЭИ, 2004 . – 158 с. - ISBN 5-7046-1094-3 .;
4. 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);
5. Александров, А. А. Таблицы термодинамических свойств газов. Раздаточный материал : учебно-методическое пособие по курсам "Термодинамика", "Техническая термодинамика" по направлениям "Теплоэнергетика и теплотехника" и др. / А. А. Александров, К. А. Орлов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2016 . – 96 с.  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=8144](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=8144);
6. Александров, А. А. Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики : справочник / А. А. Александров, К. А. Орлов, В. Ф. Очков . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Издательский дом МЭИ, 2017 . – 226 с. - ISBN 978-5-383-01073-0 .;
7. Охотин, В. С. Обратные термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок : учебное пособие по курсам "Термодинамика" и "Техническая термодинамика" по направлениям "Теплоэнергетика и теплотехника", "Ядерная энергетика и теплофизика", "Энергетическое машиностроение" / В. С. Охотин, Е. В. Джураева, Л. А. Жилияков, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2018 . – 64 с. - ISBN 978-5-7046-2070-9 .  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10451](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10451).

## **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. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
8. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>



9. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>

10. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>

11. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>

12. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>

13. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru;>  
<http://docs.cntd.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          | В-209/3, Лаборатория каф. "ТОТ"                      | рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, шкаф для хранения инвентаря, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный  |
|   | 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 лабораторных занятий                   | В-209/3, Лаборатория каф. "ТОТ"                      | рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, шкаф для хранения инвентаря, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный  |
|   | 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               | Б-205, Учебная аудитория                             | парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, колонки  |
| 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  | В-209/2, Кабинет сотрудников каф.                    | кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф для документов, тумба,  |

|  |                    |  |
|--|--------------------|--|
|  | "ТОТ"              | компьютерная сеть с выходом в Интернет, многофункциональный центр, компьютер персональный, кондиционер |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря | В-404/1а, Кладовая |  |

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Техническая термодинамика

(название дисциплины)

## 3 семестр

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

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

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

| Номер раздела | Раздел дисциплины   | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|---------------|---|------------|------|------|------|------|
|               |   | Неделя КМ: | 4    | 7    | 12   | 16   |
| 1             | Введение. Первый закон термодинамики                        |            |      |      |      |      |
| 1.1           | Основные понятия термодинамики.                             |            | +    |      |      |      |
| 1.2           | Первый закон термодинамики                                  |            | +    |      |      |      |
| 2             | Смеси газов. Второй закон термодинамики                     |            |      |      |      |      |
| 2.1           | Смеси идеальных газов                                       |            |      | +    |      |      |
| 2.2           | Второй закон термодинамики                                  |            |      | +    | +    |      |
| 3             | Эксергия. Реальные газы. Химическая термодинамика           |            |      |      |      |      |
| 3.1           | Эксергия  |            |      |      |      | +    |
| 3.2           | Водяной пар   |            |      |      |      | +    |
| 3.3           | Основы химической термодинамики. Третий закон термодинамики |            |      |      |      | +    |
| Вес КМ, %:    |   |            | 30   | 20   | 15   | 35   |

## 4 семестр

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

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

работа)  
 КМ-9 Зачет по результатам выполнения и защиты лабораторных работ (Тестирование)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

| Номер раздела | Раздел дисциплины   | Индекс КМ: | КМ-5 | КМ-6 | КМ-7 | КМ-8 | КМ-9 |
|---------------|---|------------|------|------|------|------|------|
|               |   | Неделя КМ: | 4    | 9    | 12   | 15   | 16   |
| 1             | Течение газов и жидкостей.  |            |      |      |      |      |      |
| 1.1           | Течение газов и жидкостей   |            | +    |      |      |      |      |
| 1.2           | Влажный воздух  |            |      |      |      |      | +    |
| 2             | Термодинамические циклы паротурбинных установок                             |            |      |      |      |      |      |
| 2.1           | Схемы паротурбинных установок   |            |      | +    | +    |      | +    |
| 2.2           | Циклы атомных ПТУ   |            |      | +    |      |      |      |
| 3             | Газовые и парогазовые термодинамические циклы.                              |            |      |      |      |      |      |
| 3.1           | Сжатие газов, газовые термодинамические циклы и циклы парогазовых установок |            |      |      |      | +    |      |
| 3.2           | Обратные термодинамические циклы  |            |      |      |      | +    |      |
| 4             | Лабораторный практикум  |            |      |      |      |      |      |
| 4.1           | Лабораторные работы   |            |      |      |      |      | +    |
| Вес КМ, %:    |   |            | 25   | 25   | 10   | 20   | 20   |