

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: Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная


Рабочая программа дисциплины
ТЕРМОДИНАМИКА

| | |
|--|--|
| Блок: | Блок 1 «Дисциплины (модули)» |
| Часть образовательной программы: | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| № дисциплины по учебному плану: | Б1.Ч.04 |
| Трудоемкость в зачетных единицах: | 5 семестр - 5; 6 семестр - 5; всего - 10 |
| Часов (всего) по учебному плану: | 360 часов |
| Лекции | 5 семестр - 32 часа; 6 семестр - 28 часа; всего - 60 часов |
| Практические занятия | 5 семестр - 48 часа; 6 семестр - 28 часа; всего - 76 часа |
| Лабораторные работы | 6 семестр - 14 часов; |
| Консультации | 5 семестр - 2 часа; 6 семестр - 2 часа; всего - 4 часа |
| Самостоятельная работа | 5 семестр - 97,5 часа; 6 семестр - 107,5 часов; всего - 205,0 часов |
| в том числе на КП/КР | не предусмотрено учебным планом |
| Иная контактная работа | проводится в рамках часов аудиторных занятий |
| включая: Контрольная работа Домашнее задание Тестирование | |
| Промежуточная аттестация: | |
| Экзамен | 5 семестр - 0,5 часа; |
| Экзамен | 6 семестр - 0,5 часа; всего - 1,0 час |

Москва 2025

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:


Преподаватель

| | | |
|---|--|----------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Львова А.М. |
| | Идентификатор | Rf83c5cea-LvovaAM-3d5fc66d |

А.М. Львова


СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

| | | |
|---|--|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Макаров П.Г. |
| | Идентификатор | R9a51899a-MakarovPG-4f257daf |

П.Г. Макаров

Заведующий выпускающей
кафедрой

| | | |
|---|--|---------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Пузина Ю.Ю. |
| | Идентификатор | Re86e9a56-Puzina-4d2acad1 |

Ю.Ю. Пузина

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-1 Способен анализировать результаты расчетов процессов переноса, протекающих в конкретных технических устройствах и аппаратах энергетического оборудования специального назначения | ИД-1 _{ПК-1} Демонстрирует понимание основных законов термодинамики и применяет их для расчетов термодинамических процессов в элементах энергетических систем различного назначения | знать: - 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; - основные законы термодинамики и условия их применения. уметь: - рассчитывать сложные термодинамические циклы холодильных и теплосиловых установок;; - 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;. |

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике (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><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Повторение материала по разделу "Основные законы термодинамики и общие закономерности" необходимо для успешного написания контрольных работ КР2, КР3, КР4, КР5, КР6.</p> <p><u>Подготовка расчетных заданий:</u> 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><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [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 | - | <u>Подготовка к контрольной работе:</u> | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|----|---|---|----|---|---|---|---|---|----|----|--|--|--|
| | 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. <u>Подготовка расчетных заданий:</u> 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. <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [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 | - | | | |
| 3.1 | Термодинамические свойства реального газа | 12 | 2 | - | 5 | - | - | - | - | - | 5 | - | | | |
| 3.2 | Термодинамические процессы реального газа. | 12 | 2 | - | 5 | - | - | - | - | - | 5 | - | <u>Подготовка к контрольной работе:</u> Повторение материала по разделу "Свойства и процессы реального газа" необходимо для успешного написания контрольных работ КР3, КР4, КР5, КР6 <u>Подготовка расчетных заданий:</u> 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 | | |
| 3.3 | 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. <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [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 | - | <u>Подготовка к контрольной работе:</u> Повторение материала по разделу "Процессы в потоке вещества" необходимо для успешного написания контрольных работ КР2, КР3, КР4, КР5, КР6 <u>Подготовка расчетных заданий:</u> 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 <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [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 | - | <u>Подготовка к лабораторной работе:</u> 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" <u>Подготовка расчетных заданий:</u> 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. <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Термодинамические циклы паротурбинных установок" для успешного написания контрольной работы КР6 <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [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 | - | <u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе и защите отчета по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему "Обратные термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок" <u>Подготовка расчетных заданий:</u> 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><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Повторение материала по разделу "Обратные термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок" необходимо для успешного написания контрольных работ КР2, КР3, КР4, КР5</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 414-427, 438-440 [2], стр. 267-274</p> |
| 7 | Избранные главы термодинамики | 57 | 12 | 2 | 10 | - | - | - | - | - | 33 | - | <p><u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе и защите отчета по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему "Избранные главы термодинамики"</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> 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 <u>Подготовка к лабораторной работе:</u> 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" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [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 | |
| | ИТОГО | 360.0 | - | 60 | 14 | 76 | | 4 | - | | 1.0 | | 205.0 | |

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

3.2 Краткое содержание разделов

1. Основные 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 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 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

1. 3.Контрольная работа №1: расчет процессов идеального газа с учетом зависимости теплоемкости газа от температуры Контрольная работа №2: термодинамические свойства смеси идеальных газов;
2. 5.Контрольная работа №3. Термодинамические свойства и процессы реального газа – водяного пара;
3. 15. Расчет теплофикационных циклов паротурбинных и газотурбинных установок;
4. 13. Контрольная работа №5. Расчет термодинамических циклов холодильных и теплонасосных установок;
5. 1.Основные законы термодинамики. Параметры состояния.;
6. 17.Расчет свойств и процессов влажного воздуха;
7. 11.Расчет термодинамических циклов воздушных холодильных установок;
8. 14.Расчет простых термодинамических циклов паротурбинных и газотурбинных установок – цикла Ренкина и цикла Брайтона.;
9. 6.Процессы расширения газа и пара в суживающихся соплах и в соплах Лаваля;
10. 9.Расчет термодинамических циклов холодильных установок: обратного обратимого цикла Карно, простых циклов пароконпрессионной и воздушной

холодильных установок;

11. 10. Расчет термодинамических циклов парокомпрессионных двухступенчатых и каскадных холодильных установок;

12. 12. Расчет термодинамических циклов теплонасосных установок (ТНУ): обратного обратимого цикла Карно и цикла парокомпрессионной ТНУ;

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. 4. Термодинамические свойства и процессы реального газа – водяного пара;

15. 16. Контрольная работа №6. Расчет термодинамических циклов простых паротурбинных и газотурбинных установок, теплофикационных циклов паротурбинных и газотурбинных установок;

16. 7. Контрольная работа №4. Расчет процессов, скорости и расхода газа (или пара) в суживающихся соплах и в соплах Лавалья;

17. 8. Процессы в компрессорах.

3.4. Темы лабораторных работ

1. Исследование процессов во влажном воздухе;

2. 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 | | |
| Знать: | | | | | | | | | | |
| основные законы термодинамики и условия их применения | ИД-1ПК-1 | | + | | | | | | | Контрольная работа/Контрольная работа №2 «Расчет термодинамических свойств бинарной смеси идеальных газов» |
| методы расчета термодинамических свойств и процессов идеального газа | ИД-1ПК-1 | + | | | | | | | | Контрольная работа/Контрольная работа №1 «Расчет термодинамических процессов идеального газа» |
| методы расчета обратимых и необратимых процессов в потоке идеального и реального газа; | ИД-1ПК-1 | | | | + | | | | | 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-1 | | | + | | | | | | Контрольная работа/Контрольная работа №3 «Определение термодинамических свойств и расчет процессов воды и водяного пара» |
| Уметь: | | | | | | | | | | |
| рассчитывать термодинамические циклы теплосиловых установок; | ИД-1ПК-1 | | | | | + | + | | | Контрольная работа/Контрольная работа 6 «Расчет термодинамических циклов паротурбинных и газотурбинных установок» |
| рассчитывать термодинамические циклы холодильных и теплонасосных установок | ИД-1ПК-1 | | | | | | + | | | Контрольная работа/Контрольная работа 5 «Расчет простых циклов холодильных и теплонасосных установок» |
| рассчитывать произвольные термодинамические циклы идеального газа и оценивать их эффективность | ИД-1ПК-1 | | + | | | | | | | Домашнее задание/Расчетное задание №1 «Расчет произвольного термодинамического цикла, состоящего из пяти различных процессов, совершаемых идеальным газом» |
| экспериментально определять термодинамические характеристики процессов идеального газа, влажного воздуха, воды и водяного пара. | ИД-1ПК-1 | | | | | | | + | | Тестирование/Защита лабораторных работ тестированием |

| | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|--|--|--|--|--|--|----------|---|
| <p>рассчитывать сложные термодинамические циклы холодильных и теплосиловых установок;</p> | <p>ИД-1_{ПК-1}</p> | | | | | | | <p>+</p> | <p>Домашнее задание/Расчетное задание 2 «Расчет сложных термодинамических циклов»</p> |
|---|----------------------------|--|--|--|--|--|--|----------|---|

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 процессов идеального газа» (Контрольная работа)
3. Контрольная работа №2 «Расчет термодинамических свойств бинарной смеси идеальных газов» (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;
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. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
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
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-200, Лекционная учебная аудитория | парта со скамьей, трибуна, шкаф для хранения инвентаря, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, колонки звуковые, мультимедийный проектор, экран, колонки, компьютер персональный |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП | Ж-120, Машинный зал ИВЦ | сервер, кондиционер |
| | А-309, Аудитория для проведения практических занятий | стол преподавателя, стол, стул, доска меловая |
| 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, компьютер персональный, инвентарь специализированный, стенд лабораторный, учебно-наглядное пособие |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации | Ж-120, Машинный зал ИВЦ | сервер, кондиционер |
| | А-309, Аудитория для проведения | стол преподавателя, стол, стул, доска меловая |

| | | |
|--|------------------------------------|---|
| | практических занятий | |
| Помещения для самостоятельной работы | М-411/1, Компьютерный класс | стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный |
| Помещения для консультирования | М-423/1, Аудитория каф. "ИТ" | 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 процессов идеального газа» (Контрольная работа)
- КМ-2 Контрольная работа №2 «Расчет термодинамических свойств бинарной смеси идеальных газов» (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, %: | | 15 | 10 | 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 |