

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

"БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

_____ Е.И.Луковникова

_____ 05 июня _____ 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.10 Техническая термодинамика

Закреплена за кафедрой **Энергетики**

Учебный план bz130301_23_ПТЭ.plx

Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Квалификация **Бакалавр**

Форма обучения **заочная**

Общая трудоемкость **9 ЗЕТ**

Виды контроля на курсах:

Контрольная работа 3, Экзамен 3

Распределение часов дисциплины по курсам

| Курс | 3 | | Итого | |
|-------------------|-----|-----|-------|-----|
| | уп | рп | | |
| Лекции | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Лабораторные | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Практические | 4 | 4 | 4 | 4 |
| В том числе инт. | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Итого ауд. | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Контактная работа | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Сам. работа | 299 | 299 | 299 | 299 |
| Часы на контроль | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Итого | 324 | 324 | 324 | 324 |

Программу составил(и):

б.с., ст.пр., Латушкина С.В. _____

Рабочая программа дисциплины

Техническая термодинамика

разработана в соответствии с ФГОС:

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника (приказ Минобрнауки России от 28.02.2018 г. № 143)

составлена на основании учебного плана:

Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
утвержденного приказом ректора от 17.02.2023 № 72.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

Энергетики

Протокол от 21 апреля 2023 г. №10

Срок действия программы: 2023-2028 уч.г.

Зав. кафедрой Булатов Ю.Н. _____

Председатель МКФ

старший преподаватель Латушкина С.В. _____ 24 апреля 2023 г. №9

Ответственный за реализацию ОПОП _____ Булатов Ю.Н.

Директор библиотеки _____ Сотник Т.Ф.

№ регистрации _____ 24
(методический отдел)

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МКФ

_____ 2024 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2024-2025 учебном году на заседании кафедры
Энергетики

Внесены изменения/дополнения (Приложение _____)

Протокол от _____ 2024 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МКФ

_____ 2025 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2025-2026 учебном году на заседании кафедры
Энергетики

Внесены изменения/дополнения (Приложение _____)

Протокол от _____ 2025 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МКФ

_____ 2026 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2026-2027 учебном году на заседании кафедры
Энергетики

Внесены изменения/дополнения (Приложение _____)

Протокол от _____ 2026 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МКФ

_____ 2027 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2027-2028 учебном году на заседании кафедры
Энергетики

Внесены изменения/дополнения (Приложение _____)

Протокол от _____ 2027 г. № ____

Зав. кафедрой _____

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

| | |
|-----|---|
| 1.1 | Дать студентам знания о фундаментальных законах осуществления тепловых процессов, термодинамических методах анализа замкнутых и разомкнутых теплотехнических процессов разного назначения и выработать практические навыки определения термодинамических характеристик процессов с одно- и двухфазными рабочими телами и теплоносителями постоянного и переменного состава. |
|-----|---|

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

| | | |
|--------------------|--|---------|
| Цикл (раздел) ООП: | | Б1.О.10 |
| 2.1 | Требования к предварительной подготовке обучающегося: | |
| 2.1.1 | Физика | |
| 2.1.2 | Гидрогазодинамика | |
| 2.1.3 | Учебная (ознакомительная) практика | |
| 2.1.4 | Введение в специальность | |
| 2.1.5 | Математика | |
| 2.2 | Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее: | |
| 2.2.1 | Котельные установки и парогенераторы | |
| 2.2.2 | Тепломассообмен | |
| 2.2.3 | Производственная (технологическая) практика | |
| 2.2.4 | Источники теплоснабжения | |
| 2.2.5 | Физико-химические основы горения и топливо | |
| 2.2.6 | Эксплуатация теплоэнергетических установок и систем | |
| 2.2.7 | Нагнетатели и тепловые двигатели | |
| 2.2.8 | Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологии | |
| 2.2.9 | Охрана окружающей среды при работе теплоэнергетических объектов | |
| 2.2.10 | Производственная (эксплуатационная) практика | |
| 2.2.11 | Производственная (преддипломная) практика | |
| 2.2.12 | Тепломассообменное оборудование предприятий | |
| 2.2.13 | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы | |

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

| | |
|---|--|
| ОПК-3. : Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач | |
| Индикатор 1 | ОПК-3.2. Демонстрирует понимание физических явлений и применяет законы механики, термодинамики, электричества и магнетизма, оптики |
| Индикатор 2 | ОПК-3.3. Демонстрирует понимание химических процессов и применяет основные законы химии. |
| ОПК-4. : Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах | |
| Индикатор 1 | ОПК-4.4. Демонстрирует понимание основных законов термодинамики и термодинамических соотношений. |
| Индикатор 2 | ОПК-4.5. Применяет знания основ термодинамики для расчетов термодинамических процессов, циклов и их показателей. |

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

| | |
|------------|--|
| 3.1 | Знать: |
| 3.1.1 | Законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты, калорические и переносные свойства веществ применительно к рабочим телам тепловых машин и теплоносителям, термодинамические процессы и циклы преобразования энергии, протекающие в теплотехнических установках. |
| 3.2 | Уметь: |
| 3.2.1 | Термодинамический анализ циклов тепловых машин с целью оптимизации их рабочих характеристик и максимизации КПД. |
| 3.3 | Владеть: |
| 3.3.1 | Основами термодинамического анализа рабочих процессов в тепловых машинах, определения параметров их работы, тепловой эффективности. |

| 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) | | | | | | | | |
|---|-------------|--|----------------|-------|------------------|--|------------|--|
| Код занятия | Вид занятия | Наименование разделов и тем | Семестр / Курс | Часов | Компетенции | Литература | Инте ракт. | Примечание |
| | Раздел | Раздел 1. Первый закон и второй закон термодинамики | | | | | | |
| 1.1 | Лек | Техническая термодинамика как теоретическая основа теплоэнергетики. Предмет и метод термодинамики. Термодинамическая система и окружающая среда. Равновесные и неравновесные состояния. Параметры состояния. Уравнение состояния, термодинамическая поверхность. Понятие теплового равновесия, первый закон термодинамики. Потенциалы и координаты термодинамических взаимодействий. Температура, энтропия. Первый закон термодинамики как закон сохранения энергии. Теплота, опыт Джоуля, эквивалентность теплоты и работы. Соотношения между единицами работы и тепла. Работа расширения как функция процесса. Внутренняя энергия как функция состояния. Понятие полного и неполного дифференциалов. Аналитическое выражение первого закона термодинамики через внутреннюю энергию. Формулировки первого закона термодинамики. Теплота как функция процесса. Вечный двигатель первого рода. Энтальпия как функция состояния. Аналитическое выражение первого закона термодинамики через энтальпию. | 3 | 1,5 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,25 | Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|---|---|---|------------------|--|-------|--|
| 1.2 | Лек | <p>Понятие идеального газа. Термическое уравнение состояния идеального газа. Закон Авогадро и его следствия. Уравнение Менделеева-Клапейрона. Теплоемкость, истинная и средняя теплоемкость, Ср и Cv. Формула Майера. Молекулярно-кинетическая и квантовая теория теплоемкости. Основные термодинамические процессы идеальных газов (изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный). Политропные процессы и их анализ. Таблицы термических и калорических свойств идеальных газов.</p> | 3 | 1 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0 | |
| 1.3 | Лек | <p>Обратимые и необратимые процессы. Формулировки второго закона. Термодинамические циклы. Термический КПД и холодильный коэффициент. Прямые и обратные циклы. Цикл Карно и его термический КПД. Теорема Карно. Энтропия, интеграл Клаузиуса. T-S - диаграмма и ее свойства. Термодинамические циклы в T,S - диаграмме. Таблицы энтропии идеальных газов. Изменение энтропии в необратимых процессах. Объединенное уравнение первого и второго законов для обратимых и необратимых процессов. Обратимость и производство работы (полезная работа, максимально полезная работа системы, тепла). Энтропия. Энтропийный метод расчета потерь работоспособности. Метод КПД в анализе необратимых циклов. Сравнительный анализ методов. Основные математические методы. Соотношения Максвелла. Частные производные внутренней эксергии, энтропии, энтальпии, теплоемкости.</p> | 3 | 1 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,125 | Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |

| | | | | | | | | |
|-----|------------|--|---|-----|------------------|--|-----|---|
| 1.4 | Пр | Система единиц измерения, переводные соотношения. Параметры состояния. Уравнение состояния идеального газа. Теплоемкость, энтальпия и внутренняя энергия газов в идеальном состоянии. Первый закон термодинамики, определение количества теплоты, работы, изменения внутренней энергии. Термодинамические процессы: изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный, политропный. | 3 | 0,5 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,4 | Преподаватель знакомит обучающихся с порядком выполнения задания, наблюдает за выполнением и при необходимости корректирует работу обучающихся ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| 1.5 | Лаб | Определение теплоемкости воздуха. | 3 | 1,5 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 1 | Работа в малых группах ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| 1.6 | Пр | Второй закон термодинамики. Изменение энтропии в термодинамических процессах. T-S - диаграмма. Цикл Карно, его термический КПД | 3 | 0,5 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,4 | Преподаватель знакомит обучающихся с порядком выполнения задания, наблюдает за выполнением и при необходимости корректирует работу обучающихся ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| 1.7 | Контр.раб. | | 3 | 1 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0 | ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| 1.8 | Ср | | 3 | 65 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0 | ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |

| | | | | | | | | |
|-----|---------|---|---|------|------------------|--|-------|--|
| 1.9 | Экзамен | | 3 | 2 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0 | ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| | Раздел | Раздел 2. Реальные газы. Дросселирование. Истечение. | | | | | | |
| 2.1 | Лек | Гомогенные и гетерогенные системы. Понятие стабильного, лабильного метастабильного состояний. Термодинамические условия равновесия при различных условиях взаимодействий системы с окружающей средой. Характеристические функции и взаимосвязь между ними. Закрытые и открытые системы, химический потенциал и его свойства для характеристики открытых систем. | 3 | 0,25 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,125 | Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| 2.2 | Лек | Основные понятия и определения (парообразование, испарение, кипение, конденсация, сублимация, десублимация). Насыщенная жидкость, влажный пар, сухой насыщенный пар, перегретый пар, степень сухости. Закон Дальтона, способы задания состава смеси. Уравнение состояния смеси идеальных газов. Средняя молекулярная масса газовой смеси. Влажный воздух - основные понятия. Влагосодержание, абсолютная и относительная влажность, степень насыщения, точка росы. Энтальпия влажного воздуха. Температура мокрого термометра, психрометр. H, d - диаграмма, процессы во влажном воздухе. | 3 | 1 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,25 | Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|--|---|------|------------------|--|-------|--|
| 2.3 | Лек | <p>Условия термодинамической устойчивости. Устойчивость фаз. Условия фазового равновесия. Правило фаз Гиббса. Фазовые переходы первого и второго рода. Фазовая P, T - диаграмма, характеристика точки фазовой диаграммы. Аномалия в поведении веществ. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Теплота фазового перехода. Фазовые переходы, "жидкость-пар", "твердое тело-жидкость", "твердое тело-пар". Изображение кривых фазовых равновесий двух и трехфазных областей в P-V; T-V; T-S диаграммах. Свойства веществ на линии фазовых переходов. Двухфазные системы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Вириальная форма уравнения состояния. P, V, P - зависимость реальных газов. Коэффициент сжимаемости. Метод термодинамического подобия.</p> | 3 | 0,25 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,125 | Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| 2.4 | Лек | <p>Особенности P-V - диаграммы водяного пара. Удельный объем, энтальпия, энтропия воды, влажного, сухого, насыщенного и перегретого пара.</p> | 3 | 0,25 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,125 | Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|---|---|------|------------------|--|-------|---|
| 2.5 | Лек | <p>Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара. T-S; h-S -диаграммы воды и водяного пара. Процесс дросселирования. Дифференциальный дроссель-эффект, температура инверсии, кривая инверсии. Физическая сущность эффекта Джоуля-Томсона. Интегральный дроссель-эффект. Адиабатное расширение реального газа. Потери эксергии в процессе адиабатного расширения. Потери эксергии при дросселировании. Расчет процесса дросселирования водяного пара в h,S - диаграмме. Основные уравнения истечения. Уравнение сплошности, движения, уравнение состояния. Уравнение первого закона для потока. Адиабатное течение, располагаемая работа. Скорость звука. Сопла, изменение скорости течения вдоль сопла. Истечение из суживающегося сопла. Расход газа при истечении из суживающегося сопла, максимальный расход, критическая скорость, скорость звука. Зависимость скорости и расхода от отношения начального и конечного давлений. Переход через скорость звука, число Маха. Комбинированное сопло Лавалья. Истечение реальных газов и паров. Расчет истечения с помощью h,S - диаграммы. Истечение с учетом необратимости.</p> | 3 | 0,5 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,125 | Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| 2.6 | Пр | <p>Реальные газы. Уравнение состояния реального газа. Метод термодинамического подобия.</p> | 3 | 0,25 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,2 | Преподаватель знакомит обучающихся с порядком выполнения задания, наблюдает за выполнением и при необходимости корректирует работу обучающихся ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |

| | | | | | | | | |
|-----|----|---|---|-----|------------------|--|-----|---|
| 2.7 | Пр | Свойства воды и водяного пара. H-S и T-S - диаграммы и процессы изменения состояния водяного пара и воды. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара. | 3 | 0,5 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,2 | Преподаватель знакомит обучающихся с порядком выполнения задания, наблюдает за выполнением и при необходимости корректирует работу обучающихся ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| 2.8 | Пр | Смеси идеальных газов. | 3 | 0,5 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,2 | Преподаватель знакомит обучающихся с порядком выполнения задания, наблюдает за выполнением и при необходимости корректирует работу обучающихся ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| 2.9 | Пр | Влажный воздух. H-d - диаграмма влажного воздуха, процессы во влажном воздухе. | 3 | 0,5 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.4 | 0,2 | Преподаватель знакомит обучающихся с порядком выполнения задания, наблюдает за выполнением и при необходимости корректирует работу обучающихся ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |

| | | | | | | | | |
|------|------------|--|---|------|------------------|--|-----|---|
| 2.10 | Пр | Истечение и дросселирование газов и паров. | 3 | 0,25 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,2 | Преподаватель знакомит обучающихся с порядком выполнения задания, наблюдает за выполнением и при необходимости корректирует работу обучающихся ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| 2.11 | Лаб | Исследование процессов во влажном воздухе. Определение основных параметров влажного воздуха. | 3 | 1,5 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,5 | Работа в малых группах ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| 2.12 | Контр.раб. | | 3 | 1 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0 | ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| 2.13 | Ср | | 3 | 76 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0 | ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| 2.14 | Экзамен | | 3 | 2 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0 | ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| | Раздел | Раздел 3. Теплосиловые и холодильные циклы | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|--|---|-------|------------------|--|-------|--|
| 3.1 | Лек | Основные положения и принцип действия. Цикл установки (цикл Ренкина). Цикл с насыщенным паром, представление цикла в P,V и T,S - диаграммах. Цикл с перегретым паром, представленный в P,V и T,S - диаграммах. Анализ циклов с насыщенным и перегретым паром. | 3 | 0,125 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,125 | Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| 3.2 | Лек | Анализ цикла Ренкина с учетом необратимых потерь. КПД паротурбинной установки. Удельные расходы пара и тепла. Регенеративные циклы. Схема регенеративного подогрева с отводом пара. Изображение цикла в T,S - диаграмме. Термический КПД регенеративного цикла. Основы теплофикации. Комбинированные циклы. Преимущества и недостатки водяного пара как рабочего тела. Бинарный цикл и его КПД. Схема бинарной ПТУ. Парогазовые циклы, их термический КПД. Циклы АЭС. Свойства теплоносителей АЭС. Цикл насыщенного пара. Циклы для высокотемпературных установок. | 3 | 0,5 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,125 | Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| 3.3 | Лек | Газотурбинные установки - общие принципы действия. Цикл с изобарным подводом тепла (адиабатное и изотермическое сжатие). Термический КПД идеального цикла. Действительный цикл и его КПД. Методы повышения КПД циклов ГТУ. Цикл с регенерацией и изобарный подвод тепла (адиабатное и изотермическое сжатие). Многоступенчатое сжатие и многоступенчатый подвод тепла. Цикл с изохорным подводом тепла. Замкнутые циклы, рабочие тела замкнутых систем ГТУ. | 3 | 0,125 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,125 | Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|--|---|------|------------------|--|-------|--|
| 3.4 | Лек | <p>Прямые и обратные циклы. Понятие горячего и холодного источника. Обратимые циклы. Среднетермодинамическая температура подвода и отвода тепла в цикле. Обратимые циклы, внешняя и внутренняя необратимость. Внутренний КПД цикла. Методы повышения КПД циклов - регенерация, ступенчатый подвод тепла, ступенчатый отвод тепла. Работа одноступенчатого компрессора. Индикаторная диаграмма. Изотермическое, адиабатное, политропное сжатие. Принцип применения многоступенчатого компрессора. Изображение в P, V и T, S - диаграммах процессов в компрессоре. Необратимое сжатие. Центробежный компрессор. Поршневые двигатели внутреннего сгорания, общие принципы действия. Индикаторная диаграмма. Циклы с изохорным, изобарным, смешанным подводом тепла. Анализ КПД циклов по средним температурам подвода и отвода тепла. Обратный цикл Карно, холодильный коэффициент. Схема и цикл воздушной холодильной установки. Термодинамические свойства рабочих тел пароконденсационных холодильных установок. Схема, цикл и холодильный коэффициент пароконденсационной установки. Цикл парожеторной установки. Схема и принцип работы абсорбционной установки. Цикл теплового насоса термотрансформатора. Методы сжижения газов.</p> | 3 | 0,5 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,125 | Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| 3.5 | Лек | <p>Эксергия как мера работоспособности. Эксергия потока и тепла. Эксергия неподвижного рабочего тела. Эксергетические диаграммы. Эксергетический КПД. Эксергетический метод расчета потерь. Формула Гюи-Стодолы. Понятия эксергии и анергии.</p> | 3 | 0,25 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,125 | Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |

| | | | | | | | | |
|------|------------|---|---|-----|------------------|--|-----|---|
| 3.6 | Лаб | Исследование процессов сжатия воздуха в поршневом компрессоре. | 3 | 1 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.4 | 0,5 | Работа в малых группах ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| 3.7 | Пр | Циклы паротурбинных установок. Комбинированные паровые и парогазовые циклы. Газотурбинных установок. Циклы двигателей внутреннего сгорания. Циклы холодильных машин и тепловых насосов. Расчет и выбор элементов схемы парокомпрессионной холодильной установки при варьировании начальных параметров на ЭВМ. | 3 | 0,5 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,2 | Преподаватель знакомит обучающихся с порядком выполнения задания, наблюдает за выполнением и при необходимости корректирует работу обучающихся ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| 3.8 | Пр | Сжатие газа в компрессоре, многоступенчатое сжатие. | 3 | 0,5 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.4 | 0 | |
| 3.9 | Контр.раб. | | 3 | 1 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0 | ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| 3.10 | Ср | | 3 | 81 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0 | ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| 3.11 | Экзамен | | 3 | 1 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0 | ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| | Раздел | Раздел 4. Основы химической термодинамики. Основы термодинамики необратимых процессов. | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|---|---|------|------------------|--|-------|--|
| 4.1 | Лек | <p>Два способа расчета термодинамических свойств гомогенных бинарных растворов. Растворимость и зона несмесимости. Объемные и тепловые эффекты растворения. Правило смешения и прямая смешения. Фазовые диаграммы T-N, P-N и P,T. Положение кривых конденсации и кипения при различных давлениях. Азеотропные растворы. Расчет фазовых равновесий. Коэффициенты активности компонентов. Построение h-N и S-N - диаграмм раствора. Термодинамические процессы с растворами (изобарные, адиабатного дросселирования, непрерывного парообразования, абсорбции и др.). Комбинированные процессы (дистилляция с дефлегмацией, ректификация). Расчеты процессов по диаграммам h-N и S-N.</p> | 3 | 0,25 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,125 | |
| 4.2 | Лек | <p>Первый закон термодинамики в термохимии. Тепловой эффект реакции. Закон Гесса и его следствия. Зависимость теплового эффекта реакции от температуры. Стандартный тепловой эффект. Второй закон термодинамики в термохимии. Закон действующих масс. Константа равновесия. Степень диссоциации. Термодинамические свойства диссоциирующих газов. Свободная энергия и изобарный потенциал. Химический потенциал. Уравнение максимальной работы Гиббса-Гельмгольца. Константа равновесия и максимальная работа реакции. Зависимость константы равновесия от давления и температуры. Влияние температуры на скорость химической реакции. Абсолютная энтропия. Стандартные значения термодинамических функций веществ.</p> | 3 | 0,5 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0,125 | Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |

| | | | | | | | | |
|-----|---------|--|---|----|------------------|--|---|---|
| 4.3 | Ср | | 3 | 77 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0 | ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |
| 4.4 | Экзамен | | 3 | 1 | ОПК-3. ОПК-4. | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1 | 0 | ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5 |

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Образовательные технологии с использованием активных методов обучения (лекция – беседа)

Традиционная (репродуктивная) технология (преподаватель знакомит обучающихся с порядком выполнения задания, наблюдает за выполнением и при необходимости корректирует работу обучающихся)

Технология коллективного взаимодействия (работа в малых группах) (самостоятельное изучение обучающимися нового материала посредством сотрудничества в малых группах, дает возможность всем участникам участвовать в работе, практиковать навыки сотрудничества, межличностного общения)

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

6.1. Контрольные вопросы и задания

В рамках текущего контроля успеваемости обучающегося по дисциплине оценивается выполнение лабораторных работ и защита отчетов по лабораторным работам:

Лабораторная работа №3: Определение теплоемкости воздуха.

Контрольные вопросы для допуска к работе и защиты отчета

1. Какова физическая сущность теплоемкости?
2. Приведите понятия массовой, объемной, мольной, истинной и средней теплоемкости?
3. Охарактеризуйте теплоемкости C_p и C_v , их физическую сущность, соотношение Майера.
4. Какова методика определения теплоемкости воздуха?
5. Назовите основные определения теплоемкости воздуха.
6. Каков физический смысл внутренней энергии и энтальпии газа? Приведите формулы для их вычисления.
7. Приведите аналитическое выражение первого закона термодинамики для неподвижного газа.

Лабораторная работа №5: Определение основных параметров влажного воздуха.

Контрольные вопросы для допуска к работе и защиты отчета

1. Объяснить цель работы.
2. Какова физическая сущность понятий «массовое» и «мольное» влагосодержание, абсолютная влажность?
3. Дайте определение температур точки росы, мокрого термометра, теории психометра.
4. Что такое насыщенный влажный воздух?
5. Какова методика определения параметров влажного воздуха по $h-d$ -диаграмме и расчетным путем?

Лабораторная работа №7: Исследование процессов сжатия воздуха в поршневом компрессоре.

Контрольные вопросы для допуска к работе и защиты отчета

1. Какова цель выполняемой работы?
2. Назовите метод определения весовой производительности компрессора.
3. Какие измерения должны быть выполнены во время эксперимента?
4. Опишите устройство лабораторного стенда.
5. Что такое адиабатная работа сжатия?
6. Что такое изотермическая работа сжатия?
7. Что такое политропное сжатие?
8. Как определяется коэффициент использования энергии компрессорной установки?
9. Какие вы знаете КПД компрессорной установки?

10. Назовите порядок проведения эксперимента, его цель.
11. Какой процесс сжатия является наиболее выгодным?
12. Что такое удельный объем воздуха?
13. Как определяется удельная производительность компрессора по всасываемому воздуху?

6.2. Темы письменных работ

Цель работы: контрольная работа выполняется с целью закрепления знаний, полученных в процессе изучения дисциплины.

Тема: "Техническая термодинамика".

Основная тематика: тематика контрольной работы связана с проработкой таких тем как: идеальный газ, сжатие газа (адиабатное, изотермическое, политропное), изучение процессов во влажном воздухе, циклы воздушной холодильной машины, истечение и дросселирование газов и паров, циклы газотурбинных установок, циклы паросиловой установки (цикл Ренкина).

Рекомендуемый объем работы: бакалаврам по учебному плану необходимо выполнить 1 контрольную работу, в которой 4 задания в соответствии с вариантом.

6.3. Фонд оценочных средств

Экзаменационные вопросы:

Раздел 1: Первый закон и второй закон термодинамики

- 1.1. Техническая термодинамика как теоретическая основа теплоэнергетики. Предмет и метод термодинамики.
 - 1.2. Первый закон термодинамики как закон сохранения энергии.
 - 1.3. Теплота, опыт Джоуля, эквивалентность теплоты и работы.
 - 1.4. Аналитическое выражение первого закона термодинамики через внутреннюю энергию. Формулировки первого закона термодинамики.
 - 1.5. Теплота как функция процесса.
 - 1.6. Вечный двигатель первого рода.
 - 1.7. Энтальпия как функция состояния. Аналитическое выражение первого закона термодинамики через энтальпию.
 - 1.8. Обратимые и необратимые процессы. Формулировки второго закона.
 - 1.9. Обратимость и производство работы (полезная работа, максимально полезная работа системы, тепла).
 - 1.10. Энтропия. Энтропийный метод расчета потерь работоспособности.
 - 1.11. Метод КПД в анализе необратимых циклов. Сравнительный анализ методов.
 - 1.12. Основные математические методы. Соотношения Максвелла.
 - 1.13. Частные производные внутренней энергии, энтропии, энтальпии, теплоемкости.
 - 1.14. Закрытые и открытые системы, химический потенциал и его свойства для характеристики открытых систем.
 - 1.15. Влажный воздух - основные понятия.
 - 1.16. Влагосодержание, абсолютная и относительная влажность, степень насыщения, точка росы.
 - 1.17. Энтальпия влажного воздуха. Температура мокрого термометра, психрометр.
 - 1.18. h, d - диаграмма, процессы во влажном воздухе.
 - 1.19. Условия термодинамической устойчивости. Устойчивость фаз.
 - 1.20. Условия фазового равновесия. Правило фаз Гиббса.
 - 1.21. Фазовые переходы первого и второго рода. Фазовая P, T - диаграмма, характеристика точки фазовой диаграммы.
 - 1.22. Свойства веществ на линии фазовых переходов. Двухфазные системы.
- Раздел 2: Реальные газы. Дросселирование. Истечение.
- 2.1 Уравнение Ван-дер-Ваальса. Виральная форма уравнения состояния.
 - 2.2 Процесс дросселирования. Дифференциальный дроссель-эффект, температура инверсии, кривая инверсии.
 - 2.3 Физическая сущность эффекта Джоуля-Томсона. Интегральный дроссель-эффект.
 - 2.4 Адиабатное расширение реального газа. Потери эксергии в процессе адиабатного расширения.
 - 2.5 Потери эксергии при дросселировании. Расчет процесса дросселирования водяного пара в h, S - диаграмме.
 - 2.5 Переход через скорость звука, число Маха. Комбинированное сопло Лавала.
 - 2.6 Истечение реальных газов и паров. Расчет истечения с помощью h, S - диаграммы. Истечение с учетом необратимости.
 - 2.7 Термодинамическая система и окружающая среда.
 - 2.8 Равновесные и неравновесные состояния. Параметры состояния.
 - 2.9 Уравнение состояния, термодинамическая поверхность.
 - 2.10 Понятие теплового равновесия, первый закон термодинамики.
 - 2.11 Потенциалы и координаты термодинамических взаимодействий. Температура, энтропия.
 - 2.12 Соотношения между единицами работы и тепла. Работа расширения как функция процесса.
 - 2.13 Внутренняя энергия как функция состояния. Понятие полного и неполного дифференциалов.
 - 2.14 Понятие идеального газа. Термическое уравнение состояния идеального газа. Закон Авогадро и его следствия.
 - 2.15 Уравнение Менделеева-Клапейрона. Теплоемкость, истинная и средняя теплоемкость, C_p и C_v . Формула Майера.
 - 2.16 Молекулярно-кинетическая и квантовая теория теплоемкости.
 - 2.17 Основные термодинамические процессы идеальных газов (изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный).
 - 2.18 Политропные процессы и их анализ. Таблицы термических и калорических свойств идеальных газов.
 - 2.19 Термодинамические циклы.
 - 2.20 Термический КПД и холодильный коэффициент.
 - 2.21 Прямые и обратные циклы. Цикл Карно и его термический КПД. Теорема Карно.
 - 2.22 Энтропия, интеграл Клаузиуса.
 - 2.23 $T-S$ - диаграмма и ее свойства. Термодинамические циклы в T, S - диаграмме.
 - 2.24 Таблицы энтропии идеальных газов. Изменение энтропии в необратимых процессах.

- 2.25 Объединенное уравнение первого и второго законов для обратимых и необратимых процессов.
- 2.26 Основные математические методы.
- 2.27 Соотношения Максвелла. Частные производные внутренней эксергии, энтропии, энтальпии, теплоемкости.
- 2.28 Гомогенные и гетерогенные системы. Понятие стабильного, лабильно-го метастабильного состояний.
- 2.29 Термодинамические условия равновесия при различных условиях взаимодействия системы с окружающей средой. Характеристические функции и взаимосвязь между ними
- 2.30 Основные понятия и определения (парообразование, испарение, кипение, конденсация, сублимация, десублимация).
- 2.31 Насыщенная жидкость, влажный пар, сухой насыщенный пар, перегретый пар, степень сухости.
- 2.32 Закон Дальтона, способы задания состава смеси. Уравнение состояния смеси идеальных газов. Средняя молекулярная масса газовой смеси.
- 2.33 Аномалия в поведении веществ. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
- 2.34 Теплота фазового перехода. Фазовые переходы, "жидкость-пар", "твердое тело-жидкость", "твердое тело-пар".
- 2.35 Изображение кривых фазовых равновесий двух и трехфазных областей в P-V; T-V; T-S диаграммах.
- 2.36 P,V,P - зависимость реальных газов.
- 2.37 Коэффициент сжимаемости. Метод термодинамического подобия.
- 2.38 Особенности P-V - диаграммы водяного пара.
- 2.39 Удельный объем, энтальпия, энтропия воды, влажного, сухого, насыщенного и перегретого пара.
- 2.40 Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара. T-S; h-S - диаграммы воды и водяного пара.
- 2.41 Основные уравнения истечения. Уравнение сплошности, движения, уравнение состояния. Уравнение первого закона для потока.
- 2.42 Адиабатное течение, располагаемая работа. Скорость звука.
- 2.43 Сопла, изменение скорости течения вдоль сопла. Истечение из суживающегося сопла.
- 2.44 Расход газа при истечении из суживающегося сопла, максимальный расход, критическая скорость, скорость звука.
- 2.45 Зависимость скорости и расхода от отношения начального и конечного давлений
- Раздел 3: Теплосиловые и холодильные циклы
- 3.1. Основные положения и принцип действия. Цикл установки (цикл Ренкина).
- 3.2. Цикл с насыщенным паром, представление цикла в P,V и T,S - диаграммах.
- 3.3. Цикл с перегретым паром, представленный в P,V и T,S - диаграммах.
- 3.4. Анализ циклов с насыщенным и перегретым паром.
- 3.5. Регенеративные циклы.
- 3.6. Схема регенеративного подогрева с отводом пара. Изображение цикла в T,S - диаграмме.
- 3.7. Термический КПД регенеративного цикла.
- 3.8. Основы теплофикации. Комбинированные циклы. Преимущества и недостатки водяного пара как рабочего тела.
- 3.9. Бинарный цикл и его КПД. Схема бинарной ПТУ.
- 3.10. Термический КПД идеального цикла. Действительный цикл и его КПД.
- 3.11. Методы повышения КПД циклов ГТУ.
- 3.12. Цикл с регенерацией и изобарный подвод тепла (адиабатное и изотермическое сжатие).
- 3.13. Методы повышения КПД циклов - регенерация, ступенчатый подвод тепла, ступенчатый отвод тепла.
- 3.14. Работа одноступенчатого компрессора.
- 3.15. Индикаторная диаграмма.
- 3.16. Изотермическое, адиабатное, политропное сжатие.
- 3.17. Принцип применения многоступенчатого компрессора.
- 3.18. Изображение в P,V и T,S - диаграммах процессов в компрессоре. Не-обратимое сжатие.
- 3.19. Термодинамические свойства рабочих тел пароконденсационных холодильных установок. Схема, цикл и холодильный коэффициент паро-компрессионной установки.
- 3.20. Цикл парожеторной установки. Схема и принцип работы абсорбционной установки.
- 3.21. Цикл теплового насоса термотрансформатора. Методы сжижения газов.
- 3.22. Эксергия как мера работоспособности. Эксергия потока и тепла. Эксергия неподвижного рабочего тела.
- 3.23. Эксергетические диаграммы. Эксергетический КПД. Эксергетический метод расчета потерь.
- 3.24. Формула Гюи-Стодоля. Понятия эксергии и анергии.
- 3.25. Правило смешения и прямая смешения.
- 3.26. Фазовые диаграммы T-N, P-N и P,T.
- 3.27. Положение кривых конденсации и кипения при различных давлениях.
- 3.28. Азеотропные растворы. Расчет фазовых равновесий. Коэффициенты активности компонентов.
- 3.29. Построение h-N и S-N - диаграмм раствора.
- 3.30. Термодинамические процессы с растворами (изобарные, адиабатного дросселирования, непрерывного парообразования, абсорбции и др.).
- 3.31. Первый закон термодинамики в термохимии. Тепловой эффект реакции. Закон Гесса и его следствия.
- 3.32. Зависимость теплового эффекта реакции от температуры. Стандартный тепловой эффект.
- 3.33. Второй закон термодинамики в термохимии. Закон действующих масс.
- 3.34. Константа равновесия. Степень диссоциации.
- 3.35. Анализ цикла Ренкина с учетом необратимых потерь. КПД паротурбинной установки. Удельные расходы пара и тепла.
- 3.36. Парогазовые циклы, их термический КПД.
- 3.37. Циклы АЭС. Свойства теплоносителей АЭС.
- 3.38. Цикл насыщенного пара. Циклы для высокотемпературных установок.
- 3.39. Газотурбинные установки - общие принципы действия.
- 3.40. Цикл с изобарным подводом тепла (адиабатное и изотермическое сжатие).

- 3.41. Многоступенчатое сжатие и многоступенчатый подвод тепла.
 3.42. Цикл с изохорным подводом тепла. Закрытые циклы, рабочие тела замкнутых систем ГТУ.
 3.43. Прямые и обратные циклы. Понятие горячего и холодного источника.
 3.44. Обратимые циклы. Среднетермодинамическая температура подвода и отвода тепла в цикле.
 3.45. Обратимые циклы, внешняя и внутренняя необратимость. Внутренний КПД цикла.
 3.46. Центробежный компрессор. Поршневые двигатели внутреннего сгорания, общие принципы действия. Индикаторная диаграмма.
 3.47. Циклы с изохорным, изобарным, смешанным подводом тепла. Анализ КПД циклов по средним температурам подвода и отвода тепла.
 3.48. Обратный цикл Карно, холодильный коэффициент. Схема и цикл воздушной холодильной установки.
 Раздел 4: Основы химической термодинамики. Основы термодинамики необратимых процессов.
 4.1 Два способа расчета термодинамических свойств однородных бинарных растворов.
 4.2 Растворимость и зона несмесимости. Объемные и тепловые эффекты растворения.
 4.3 Комбинированные процессы (дистилляция с дефлегмацией, ректификация). Расчеты процессов по диаграммам h-N и S-N.
 52. Термодинамические свойства диссоциирующих газов. Свободная энергия и изобарный потенциал. Химический потенциал.
 53. Уравнение максимальной работы Гиббса-Гельмгольца. Константа равновесия и максимальная работа реакции. Зависимость константы равновесия от давления и температуры.
 4.4 Влияние температуры на скорость химической реакции. Абсолютная энтропия. Стандартные значения термодинамических функций веществ.

6.4. Перечень видов оценочных средств

Экзаменационные вопросы.

Комплект контрольных заданий по вариантам.

Отчет по лабораторной работе.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

7.1. Рекомендуемая литература

7.1.1. Основная литература

| | Авторы, | Заглавие | Издательство, | Кол-во | Эл. адрес |
|----------|--|--|--|--------|---|
| Л1. 1 | Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. | Техническая термодинамика: Учебник для вузов | Москва: МЭИ, 2008 | 15 | |
| Л1. 2 | Цирельман Н. М. | Техническая термодинамика: учебное пособие | Санкт-Петербург: Лань, 2018 | 1 | https://e.lanbook.com/book/107965 |
| Л1. 3 | Амирханов Д. Г., Амирханов Р. Д., Шевченко Е. И. | Техническая термодинамика: учебное пособие | Казань: Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2014 | 1 | http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=428258 |
| Л1. 4 | Цирельман Н. М. | Техническая термодинамика: Учебное пособие для вузов | Санкт-Петербург: Лань, 2021 | 1 | https://e.lanbook.com/book/176665 |

7.1.2. Дополнительная литература

| | Авторы, | Заглавие | Издательство, | Кол-во | Эл. адрес |
|----------|--|--|-------------------------------|--------|-----------|
| Л2. 1 | Александров А.А. | Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок: Учеб. пособие для вузов | Москва: МЭИ, 2004 | 15 | |
| Л2. 2 | Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. | Техническая термодинамика: Учебник | Москва: Энергоатомиздат, 1983 | 36 | |
| Л2. 3 | Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. | Техническая термодинамика: учебник | Москва: Энергия, 1974 | 36 | |

| | Авторы, | Заглавие | Издательство, | Кол-во | Эл. адрес |
|----------|---|---|--------------------------------------|--------|---|
| Л2. 4 | Зубарев В.Н., Александров А.А., Охотин В.С. | Практикум по технической термодинамике: Учебное пособие для вузов | Москва: Энергоатомизда т, 1986 | 19 | |
| Л2. 5 | Ривкин С.И., Александров А.А. | Термодинамические свойства воды и водяного пара: Справочник | Москва: Энергоатомизда т, 1984 | 11 | |
| Л2. 6 | Александров А.А., Григорьев Б.А. | Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник | Москва: МЭИ, 2003 | 58 | |
| Л2. 7 | Федяев А.А., Федяева В.Н., Видин Ю.В. | Термодинамика: лабораторный практикум | Братск: БрГТУ, 2002 | 19 | |
| Л2. 8 | Федяев А.А., Федяева В.Н., Видин Ю.В. | Термодинамика: лабораторный практикум | Братск: БрГТУ, 2002 | 1 | http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебно-методические%20пособия/Энергетика%20-%20Автоматика/Федяев%20А.А.%20Термодинамика.2002.pdf |

7.1.3. Методические разработки

| | Авторы, | Заглавие | Издательство, | Кол-во | Эл. адрес |
|----------|---------------------------------|---|-----------------------|--------|-----------|
| Л3. 1 | Федяев А.А., Федяева В.Н. | Теоретические основы теплотехники. Термодинамика.: Методические указания | Братск: БрГУ, 2009 | 148 | |
| Л3. 2 | Федяева В.Н., Федяев А.А. | Термодинамика. Исследование процессов во влажном воздухе: Методические указания к выполнению лабораторной работы | Братск: БрГУ, 2009 | 31 | |
| Л3. 3 | Латушкина С.В. | Теплотехника. Определение теплоемкости воздуха: методические указания к выполнению лабораторной работы | Братск: БрГУ, 2012 | 93 | |
| Л3. 4 | Федяев А.А., Федяева В.Н. | Техническая термодинамика. Изучение основных методов и средств измерения характеристик термодинамических систем: методические указания по выполнению лабораторной работы | Братск: БрГУ, 2013 | 51 | |
| Л3. 5 | Федяева В.Н., Федяев А.А. | Техническая термодинамика. Изучение процесса адиабатного истечения газа суживающее сопло: методические указания по выполнению лабораторной работы | Братск: БрГУ, 2013 | 69 | |

7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

| | | |
|----|---|--|
| Э1 | Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" | |
|----|---|--|

7.3.1 Перечень программного обеспечения

| | |
|---------|---|
| 7.3.1.1 | Microsoft Windows Professional 7 Russian Upgrade Academic OPEN No Level |
| 7.3.1.2 | Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level |
| 7.3.1.3 | Adobe Acrobat Reader DC |
| 7.3.1.4 | Microsoft Windows (Win Pro 10) |

7.3.2 Перечень информационных справочных систем

| | |
|---------|---|
| 7.3.2.1 | Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ) |
| 7.3.2.2 | Национальная электронная библиотека НЭБ |
| 7.3.2.3 | Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU |
| 7.3.2.4 | Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" |
| 7.3.2.5 | Электронная библиотека БрГУ |
| 7.3.2.6 | Электронный каталог библиотеки БрГУ |

| | |
|--------------|---|
| 7.3.2.7 | «Университетская библиотека online» |
| 7.3.2.8 | Издательство "Лань" электронно-библиотечная система |
| 7.3.2.9 | Справочно-правовая система «Консультант Плюс» |
| 7.3.2.1 0 | ИСС "Кодекс". Информационно-справочная система |

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

| Аудитория | Назначение | Оснащение аудитории | Вид занятия |
|-----------|------------------------------------|--|-------------|
| 1223 | Лаборатория общей теплотехники | Основное оборудование: Автоматизированный стенд-тренажёр «Автономная система отопления», Лабораторная установка для изучения процессов во влажном воздухе, Лабораторная установка для изучения теплообмена при различных режимах кипения жидкости, Лабораторная установка для изучения теплообмена излучением, Лабораторная установка для исследования теплопередачи «труба в трубе», Стенд «Определение удельной теплоемкости воздуха при постоянном давлении методом протока», Автоматизированный компьютеры Intel(P) Celer CPU 240 GHz/228 MB –3 шт.; Intel 2.6 GHz/RAM-512Mb, Лабораторная установка для определения коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции, Лабораторная установка для определения теплоёмкости (P=const), Учебный стенд «Определение коэффициента теплопроводности металла», Стенд лабораторный, Учебно-демонстрационный комплекс «Техническая термодинамика. Теплообмен». Дополнительно: Маркерная доска - 1 шт. Учебная мебель: Комплект мебели (посадочных мест) - 14 шт. Комплект мебели (посадочных мест) для преподавателя – 1 шт. | Лаб |
| 2201 | читальный зал №1 | Комплект мебели (посадочных мест) Стеллажи Комплект мебели (посадочных мест) для библиотекаря Выставочные шкафы ПК i5-2500/H67/4Gb (монитор TFT19 Samsung) (10шт.); принтер HP Laser Jet P2055D (1шт.) | Ср |
| 1104 | Лаборатория гидрогазодинамики | Основное оборудование: Стенд гидравлический ТМЖ-2, Лабораторная установка для «определение коэффициента внутреннего трения воздуха при разных температурах», Стенд «Турбина», Стенд «Насосная установка». Дополнительно: Маркерная доска - 1 шт. Учебная мебель: Комплект мебели (посадочных мест) - 12 шт. Комплект мебели (посадочных мест) для преподавателя – 1 шт. | Лаб |
| 0001* | аудитория для практических занятий | Учебная мебель | Пр |
| 0002* | лекционная аудитория | Учебная мебель | Лек |

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Дисциплина техническая термодинамика направлена на получение знаний о фундаментальных законах осуществления тепловых процессов, термодинамических методах анализа замкнутых и разомкнутых теплотехнических процессов разного назначения и выработать практические навыки определения термодинамических характеристик процессов с одно- и двухфазными рабочими телами и теплоносителями постоянного и переменного состава.

Изучение дисциплины техническая термодинамика предусматривает:

- лекции,
- лабораторные работы,
- практические работы,
- контрольную работу,
- самостоятельную работу,
- экзамен.

В ходе освоения раздела 1 «Первый и второй закон термодинамики» студенты должны уяснить: понятия технической термодинамики как теоретической основы теплоэнергетики и предмета, термодинамической системы, теплового равновесия, окружающей среды, полного и неполного дифференциалов, энтальпии, идеального газа, теплоты, работы, теплоемкости, вечного двигателя первого рода; разобрать методы термодинамики, параметры состояния и уравнение состояния, первый закон термодинамики, аналитическое выражение первого закона термодинамики через энтальпию, термическое уравнение состояния идеального газа и ознакомиться формулировкой первого закона термодинамики и основными термодинамическими процессами идеальных газов; понятия обратимых и необратимых процессов, термического КПД и холодильного коэффициента, прямых и обратных циклов, энтропии; разобрать формулировку второго закона, тер-модинамические циклы, цикл Карно и его термический КПД, теорему Карно и изучить

термодинамические циклы в T,S – диаграмме, обратимость и производство работы, энтропийный метод, метод КПД.

В ходе освоения раздела 2 «Реальные газы. Дросселирование. Истечение» студенты должны уяснить следующие понятия: гомогенные и гетерогенные системы, стабильное, лабильное и метастабильное состояния, закрытые и открытые системы; изучить термодинамические условия равновесия, характеристические функции и их взаимосвязь между ними и разобрать химический потенциал и его свойства для характеристики открытых систем; парообразование, испарение, кипение, конденсация, сублимация, десублимация, насыщенная жидкость, влажный пар, сухой насыщенный пар, перегретый пар, степень сухости; изучить закон Дальтона и способы задания состава смеси, уравнение состояния смеси идеальных газов; разобрать основные понятия влажного воздуха, процессы во влажном воздухе и работу с H, d – диаграммой; условия термодинамической устойчивости, устойчивость фаз, условия фазового равновесия, правило фаз Гиббса, фазовые переходы первого и второго рода, фазовые P, T – диаграммы, уравнение Клапейрона-Клаузиуса, фазовые переходы, изображение кривых фазовых равновесий двух и трехфазных областей в $P-V$; $T-V$; $T-S$ диаграммах, понятие двухфазной системы и изучить уравнение Ван-дер-Ваальса, P, V, P – зависимости реальных газов; особенности $P-V$ – диаграммы водяного пара, понятия удельного объема, энтальпии, энтропии воды, влажного, сухого, насыщенного и перегретого пара; изучить таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара, $T-S$; $h-S$ – диаграммы воды и водяного пара, понятие дросселирования и процессы дросселирования, понятие эксергии и потери эксергии в процессе адиабатного расширения и при дросселировании, расчет процесса дросселирования водяного пара в h,S – диаграмме и основные уравнения истечения.

В ходе освоения раздела 3 «Теплосиловые и холодильные циклы» студенты должны уяснить: цикл Ренкина, цикл с насыщенным паром, представление цикла в P, V и T, S – диаграммах, цикл с перегретым паром, представленный в P, V и T, S – диаграммах, анализ циклов с насыщенным и перегретым паром; анализ цикла Ренкина с учетом необратимых потерь, КПД паротурбинной установки, регенеративные циклы, схему регенеративного подогрева с отводом пара, изображение цикла в T, S – диаграмме, понятие термического КПД регенеративного цикла, основы теплофикации, бинарный цикл и его КПД, схему бинарной ПТУ, парогазовые циклы и их термический КПД, циклы АЭС; понятие газотурбинной установки и общие принципы действия, изучить все основные циклы ГТУ; прямые и обратные циклы, понятие горячего и холодного источника, принцип применения многоступенчатого компрессора и изображение в P, V и T, S – диаграммах процессов в компрессоре, понятия центробежного компрессора, поршневого двигателя внутреннего сгорания и его общие принципы действия, термодинамические свойства рабочих тел пароконденсационных холодильных установок, схему, цикл и холодильный коэффициент пароконденсационной установки, схему и принцип работы абсорбционной установки, цикл теплового насоса трансформатора; эксергию как меру работоспособности, потока и тела и неподвижного рабочего тела, эксергетический КПД, эксергетический метод расчета потерь, формулу Гюи-Стодоль, понятия эксергии и анергии.

В ходе освоения раздела 4 «Основы химической термодинамики; Основы термодинамики необратимых процессов» студенты должны уяснить: два способа расчета термодинамических свойств гомогенных бинарных растворов, понятие растворимости и зоны несмесимости; изучить объемные и тепловые эффекты растворения, правило смешения и прямую смешения, фазовые диаграммы $T-N$, $P-N$ и P, T , понятие азеотропных растворов; ознакомиться с понятием коэффициентов активности компонентов и исследовать построение $h-N$ и $S-N$ – диаграмм раствора, а также термодинамические и комбинированные процессы и рассмотреть первый и второй закон термодинамики в термохимии.

При подготовке к экзамену рекомендуется особое внимание уделить следующим вопросам: техническая термодинамика, термодинамическая система, понятие теплоты, понятие работы, понятие теплоемкости, вечный двигатель первого рода, параметры состояния и уравнение состояния, первый закон термодинамики, термическое уравнение состояния идеального газа, основные термодинамические процессы идеальных газов; обратимые и необратимые процессы, термический КПД и холодильный коэффициент, понятие энтропии, цикл Карно и его термический КПД, термодинамические циклы в T, S – диаграмме; гомогенные и гетерогенные системы, закрытые и открытые системы; понятия парообразования, испарения, кипения, конденсации, сублимации, десублимации, насыщенной жидкости влажного пара, сухого насыщенного пара, перегретого пара, степень сухости, уравнение состояния смеси идеальных газов, H, d – диаграмма и построение процессов; условия термодинамической устойчивости, устойчивость фаз, условия фазового равновесия, изображение кривых фазовых равновесий двух и трехфазных областей в $P-V$; $T-V$; $T-S$ диаграммах, особенности $P-V$ – диаграммы водяного пара, понятие удельного объема, $T-S$; $h-S$ – диаграммы воды и водяного пара; понятие дросселирования и процессы дросселирования, понятие эксергии; цикл Ренкина, схема регенеративного подогрева с отводом пара, бинарный цикл и его КПД, схема бинарной ПТУ, понятие газотурбинной установки и общие принципы действия, прямые и обратные циклы; принцип применения многоступенчатого компрессора и изображение в P, V и T, S – диаграммах процессов в компрессоре, термодинамические свойства рабочих тел пароконденсационных холодильных установок, цикл и холодильный коэффициент пароконденсационной установки, схема и принцип работы абсорбционной установки, понятия эксергии и анергии, понятие растворимости и зоны несмесимости; термодинамические и комбинированные процессы, первый и второй закон термодинамики в термохимии.

В процессе проведения практических занятий происходит закрепление знаний о системах единиц измерения, переводных соотношениях, свойствах воды и водяного пара. Закрепление понятий о параметрах состояния, теплоемкости, энтальпии и внутренней энергии газов, первом законе термодинамики, теплоты, работы, изменения внутренней энергии, термодинамических процессах, втором законе термодинамики, цикле Карно и его термическом КПД, реальных газах, влажного воздуха, дросселировании газов и паров, циклах паротурбинных установок, комбинированных паропаровых и парогазовых циклах, циклах газотурбинных установок, сжатия газа в компрессоре и циклах двигателей внутреннего сгорания. Получение знаний построение процессов изменения состояния водяного пара и воды в $H-S$ и $T-S$ – диаграммах и построение процессов во влажном воздухе в $H-d$ – диаграмме.

В процессе проведения лабораторных работ происходит формирование умений и навыков реализации представления об экспериментальном определении газовой постоянной влажного воздуха; основных методах и средствах измерения характеристик термодинамических систем; экспериментальном определении теплоемкости воздуха; процессах и определении основных параметров во влажном воздухе и работы с $H-d$ диаграммой; определении основных параметров циклов паротурбинных установок и представлении цикла в P, V и T, S – диаграммах; исследования процессов сжатия воздуха в поршневом компрессоре и о составлении теплового баланса фреоновой холодильной машины/

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо

воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературой. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и Интернете.