

УТВЕРЖДАЮ
Директор ЭНИН
_____ Завьялов В.М.
« » _____ 2015 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ (ДИСЦИПЛИНЫ)
на 2015/2016 учебный год

ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

Направление ООП: 13.03.01 - Теплоэнергетика и теплотехника
Профиль подготовки: промышленная теплоэнергетика, тепловые электрические станции, автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике
Квалификация (степень): Академический бакалавр
Базовый учебный план приема 2014 г.
Курс 2; Семестр 4
Количество кредитов: 6
Код дисциплины ДИСЦ.В.М7

Виды учебной деятельности	Временной ресурс по очной форме обучения
Лекции, ч.	32
Практические занятия, ч	48
Лабораторные занятия, ч	32
Аудиторные занятия, ч	112
Самостоятельная работа, ч	104
ИТОГО, ч	216

Вид промежуточной аттестации: Экз., ДифЗач., КР в 4 семестре
Обеспечивающее подразделение: «Кафедра теоретической и промышленной теплотехники»

Заведующий кафедрой _____ Кузнецов Г.В.

Руководитель ООП: _____ Антонова А.М.

Преподаватель: _____ Борисов Б.В.

2015 г.

1. Цели освоения дисциплины

В результате освоения данной дисциплины магистр приобретает знания, умения и навыки, обеспечивающие достижение Ц 1, Ц3, Ц6 основной образовательной программы 13.03.01 - Теплоэнергетика и теплотехника.

Дисциплина нацелена на подготовку специалистов к:

- проектной, организационно-управленческой, экспертно-надзорной видам деятельности в области создания и эксплуатации теплоэнергетического оборудования с использованием современных технологий высокоэффективного получения, транспортировки и использования теплоты;
- научно-исследовательской деятельности связанной с разработкой, выбором, оптимизацией методов и оборудования для получения, транспортировки и использования теплоты;
- процессу непрерывного самостоятельного совершенствования профессиональных знаний и умений.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Курс «Техническая термодинамика» относится к профессиональному циклу дисциплин для студентов направления 13.03.01 – «Теплоэнергетика и теплотехника» (ДИСЦ.В.М7). Он непосредственно связан с дисциплинами математического и естественнонаучного профиля.

ПРЕРЕКВЕЗИТЫ -«Математика», «Физика», «Химия», «Теория вероятности и математическая статистика», в результате изучения которых студент должен:

знать основы дифференциального и интегрального исчисления функций, аналитической геометрии и линейной алгебры, теории обыкновенных дифференциальных уравнений, интегральных преобразований, численных методов, теории функций комплексной переменной; основные законы физики, химии, принципы применения современных информационных технологий в науке и предметной деятельности;

уметь использовать математический аппарат при изучении естественнонаучных дисциплин; строить математические модели физических и химических процессов; проводить физический эксперимент и обрабатывать его результаты эксперимента с привлечением методов математической статистики, работать на компьютере (знание операционной системы, использование основных математических программ, программ отображения результатов, публикации, поиска информации через Интернет, пользование электронной почтой);

владеть методами дифференцирования, интегрирования функций, основными аналитическими и численными методами решения алгебраических и дифференциальных уравнений и их систем, основными методами теоретического и экспериментального исследования физических явлений, современными методами поиска и обработки информации.

Кроме того, *региональный компонент* ОС ООП предполагает следующие компоненты:

- **знать** особенности климатических зон России и, в частности, Азиатско-Тихоокеанского региона России, определяющие условия проектирования и функционирования систем энергоснабжения;
- **иметь** представление о структуре топливно-энергетического баланса Сибири и Дальнего Востока и направлениях его развития на перспективу;
- **знать** особенности формирования структуры промышленных районов Азиатско-Тихоокеанского региона России.

университетский компонент:

- **знать** историю становления школы энергетиков Томского политехнического университета, основные этапы ее развития, главные научные и инженерно-технические достижения и использовать их в своей профессиональной деятельности для повышения престижа университета;
- **уметь** проводить экспериментальные исследования термодинамических процессов и циклов с использованием и адаптацией автоматизированных систем научных исследований для управления проведением экспериментов и обработки их результатов;
- **способность** осуществлять свою профессиональную деятельность с учетом особенностей различных климатических зон Азиатско-Тихоокеанского региона России, существующих экологических ограничений, структуры топливно-энергетического баланса и перспектив его развития с использованием теоретических и практических достижений ученых-энергетиков Томского политехнического университета.

КОРРЕКВИЗИТАМИ дисциплины «Техническая термодинамика» являются специальные дисциплины: «Материаловедение и технология конструкционных материалов», «Творческий проект».

3. Результаты освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен самостоятельно выполнять расчетные работы, связанные с созданием и анализом работы теплотехнических приборов для успешной работы в коллективах по разработке, проектированию и эксплуатации различных систем.

Результатом изучения дисциплины является формирование:

знаний законов сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты, калорических и переносных свойств веществ применительно к рабочим телам тепловых машин и тепло-

носителям , термодинамических процессов и циклов преобразования энергии, протекающих в теплотехнических установках;

умений проводить термодинамический анализ циклов тепловых машин с целью оптимизации их рабочих характеристик и максимизации КПД;

владений основами термодинамического анализа рабочих процессов в тепловых машинах, определения параметров их работы, тепловой эффективности.

Соответствие результатов освоения дисциплины «Техническая термодинамика» формируемым компетенциям ООП представлено в таблице.

Таблица 1.

Составляющие результатов обучения, которые будут получены при изучении данной дисциплины

Результаты Обучения (компетенции Из ФГОС)	Составляющие результатов обучения					
	Код	Знания	Код	Умения	Код	Владение опытом
Р2 (ОК-3)	32.3	основ профессиональной этики и норм профессиональной деятельности на теплоэнергетическом производстве	У2.3	демонстрировать личную ответственность при ведении профессиональной деятельности	В2.1	руководства отдельными группами исполнителей при решении комплексных инженерных задач
Р7 (ПК-2,3)	37.1	основных законов естественнонаучных и математических дисциплин	У7.1	использовать основные законы естественнонаучных и математических дисциплин в инженерной деятельности в процессах производства, трансформации, транспортировки тепловой и электрической энергии и управления этими процессами	В7.1	создания моделей процессов производства, трансформации, транспортировки тепловой и электрической энергии с использованием основных законов естественнонаучных и математических дисциплин

P10(ПК-18)	310.2 310.4	методик обработки результатов экспериментов и соответствующих пакетов прикладных программ;	У10.2	проводить стандартные испытания по определению теплофизических и термодинамических свойств жидкостей и газов	В10.2	экспериментального определения теплофизических и термодинамических свойств жидкостей и газов
P12 (ПК-12,25)	312.1	критериев выбора и создания теплоэнергетического оборудования, средств измерения и автоматизации	У12.1	пользоваться инструментами и технологией ведения практической инженерной деятельности	В12.1	пользоваться инструментами и технологией ведения практической инженерной деятельности
P15 (ПК-25)	315.1	методик испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования	У15.1	контролировать работу системы АСУ объектом	В15.1	использования методик испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства

В результате освоения дисциплины «Техническая термодинамика» студентом должны быть достигнуты следующие результаты

Планируемые результаты освоения дисциплины «Техническая термодинамика»

Таблица № 2

№	Результат
РД 1	Освоить основные понятия и определения технической термодинамики
РД 2	Освоить понятия основных моделей рабочих тел, термодинамических параметров и процессов
РД3	Освоить методы термодинамического анализа с использованием основных законов и соотношений термодинамики
РД4	Освоить методы термодинамического анализа покоящегося тела и потока рабочего тела
РД5	Освоить метод анализа основных теплотехнических приборов на основе понятие циклических процессов (циклов)

4. Структура и содержание дисциплины

Раздел 1. Введение. Понятия, параметры и основные законы термодинамики.

Предмет курса, его место и роль в подготовке инженеров – энергетиков. Связь с другими отраслями знаний. Основные исторические этапы становления, роль в научно – техническом прогрессе, развитии новой техники и технологии. Проблема экономии топлива – энергетических ресурсов, снижение норм расхода теплоты и топлива, использование вторичных энергоресурсов, защита окружающей среды. Использование возобновляемых источников энергии. Основные задачи курса.

Техническая термодинамика как теоретическая база специальных дисциплин. **Предмет и методы термодинамики.** Термодинамическая система и окружающая среда. Теплота и работа как форма передачи энергии. Термические параметры состояния. Уравнение состояния. Идеальный газ. Уравнение состояния идеального газа. Равновесные и неравновесные процессы. Обратимые и необратимые процессы. Круговые процессы (циклы). Общие свойства параметров состояния.

Смеси газов. Парциальные давления и объем. Законы Дальтона. Способы задания состава смеси.

Соотношения между долями. Вычисление параметров состояния смеси, определение кажущейся молекулярной массы и газовой постоянной смеси, определение парциальных давлений компонентов.

Понятие **теплоемкости.** Средняя и истинная теплоемкости. Массовая, объемная и молярная теплоемкости. Теплоемкость при постоянных объеме и давлении. Теплоемкость в произвольном термодинамическом процессе. Молекулярно – кинетическая теория теплоемкости газов. Элементы квантовой теории теплоемкости. Таблицы и эмпирические формулы для определения теплоемкости. Теплоемкость смеси рабочих тел.

Исторический аспект открытия и развития **первого закона термодинамики.** Первый закон термодинамики как закон сохранения и превращения энергии. Теплота и работа – формы передачи энергии. Принцип эквивалентности. Работа расширения. Внутренняя энергия. Аналитическое выражение первого закона термодинамики через внутреннюю энергию. Работа перемещения. Техническая работа. Энтальпия. Аналитическое выражение первого закона термодинамики через энтальпию. Формулировки первого закона термодинамики. Выражение первого закона термодинамики для процессов с трением. Философский аспект первого закона термодинамики.

Обратимые и необратимые процессы. Формулировки **второго закона термодинамики.** Термодинамические циклы. Прямые и обратные циклы. Термический коэффициент полезного действия цикла теплового двигателя. Обратимые и необратимые циклы. Цикл Карно и его коэффициент полезного действия. Теорема Карно. Энтропия как функция состояния. Аналитическое выражение второго закона термодинамики для обратимых процессов. Энтропия идеального газа. TS – диаграмма и ее свойства. Термодинамические циклы в TS – диаграммах. Регенеративный цикл. Термодинамическая шкала тем-

ператур. Абсолютный нуль температуры. Аналитическое выражение второго закона термодинамики для необратимых процессов.

Статистический смысл второго закона термодинамики. Энтропия и термодинамическая вероятность состояния. Пределы применимости второго закона термодинамики.

Изменение энтропии замкнутой изолированной системы при необратимых процессах. Необратимая адиабата. Эксергия как мера работоспособности. Эксергия тепла и потока вещества. Потери эксергии при необратимых процессах. Энтропийный метод расчета потерь эксергии системы при необратимых процессах.

Характеристические функции. Свободная энергия. Термодинамический потенциал. Химический потенциал. Аналитические зависимости между характеристическими функциями. Основные **дифференциальные уравнения термодинамики**. Термические коэффициенты и связь между ними. Зависимость между C_p и C_v вещества.

Внутренняя энергия, энтальпия и энтропия веществ в идеально – газовом состоянии. Таблицы термодинамических свойств идеальных газов.

Ts - и hs - диаграммы идеальных газов и их свойства.

Основные термодинамические процессы идеальных газов (изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный).

Политропные процессы и их анализ.

Расчет параметров состояния и энергетических характеристик процессов по таблицам идеальных газов.

Термодинамические свойства **реальных веществ**. pv - диаграмма при фазовых переходах жидкости и газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Критические параметры веществ.

Принцип соответственных состояний и подобие термодинамических свойств веществ. $p-v-T$ - диаграмма. Коэффициент сжимаемости.

Условия равновесия при фазовом переходе. Правило фаз Гиббса. Парообразование и конденсация. Зависимость давления насыщенного пара от температуры. Теплота фазового перехода. Плавление. Сублимация. Фазовая диаграмма pt . Тройная точка. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Аномалии воды.

Степень сухости. Удельный объем, энтальпия и энтропия жидкости, влажного, сухого и перегретого пара. Сверхкритическая область состояний пара. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара. Ts - диаграмма для пара. hs - диаграмма водяного пара. Анализ процессов изменения состояния водяного пара. Расчет **процессов** изменения состояния водяного пара по таблицам и диаграммам.

Расчет процессов изменения состояния водяного пара на примерах. Уравнения состояния реальных газов. Теория ассоциации молекул и уравнение состояния водяного пара. Метод определения калорических функций газов по уравнению состояния. Зависимость теплоемкости C_p от давления.

Уравнение **первого закона термодинамики для потока**. Уравнение неразрывности потока. Определение количества тепла для потока. Располагаемая работа. Параметры полного адиабатного торможения потока.

Сопло и диффузор. Скорость истечения газа из суживающегося сопла. Максимальный расход и критическая скорость. Критическое отношение давлений и температур. Критическая скорость и скорость звука. Отношение скорости потока к местной скорости звука и критической скорости. Зависимость скорости и расхода от отношения начального и конечного давлений. Условия перехода скорости потока через скорость звука. Комбинированное сопло Лаваля. Расчет скорости истечения водяного пара по изменению энтальпии. Истечение с учетом необратимости. Коэффициенты скорости и расхода.

Принцип обращения воздействия. Понятие о тепловом сопле.

Уравнение **процесса дросселирования**. Техническое применение процесса дросселирования. Дросселирование идеального газа. Дросселирование водяного пара в hS - диаграмме. Потеря эксергии потока при дросселировании. Дифференциальное уравнение адиабатного дроссель – эффекта. Температура инверсии. Кривая инверсии.

Термодинамика смесей и растворов. Смешение газов и паров. Основные случаи смешения. Смешение потоков газов и паров. Энтропия смешения. Минимальная работа разделения смеси.

Парогазовые смеси. Влажный воздух. Абсолютная и относительная влажность. Температура точки росы. Влажосодержание. hd - диаграмма влажного воздуха. Термодинамические процессы с влажным воздухом (охлаждение и нагрев, смешение, сушка).

Перечень лабораторных работ по разделу:

1. Определение удельной теплоемкости воздуха при постоянном давлении;
2. Изучение изотермического процесса;
3. Изучение реального газа (эффект Джоуля-Томсона).

Перечень практических занятий:

1. Расчеты по уравнению состояния;
2. Расчет газовых смесей;
3. Законы термодинамики;
4. Расчеты теплоемкости;
5. Расчет калорических параметров;
6. Расчет процессов идеального газа;
7. Расчет параметров пара;
8. Расчет процессов пара;
9. Истечение газов и паров;
10. Дросселирование. Смешение;
11. Расчеты с влажным воздухом.

Самостоятельная работа студентов:

Самостоятельно студенты расширяют и углубляют знания, получаемые на лекционных и практических занятиях с использованием дополнительной литературы.

Раздел 2. Анализ циклов тепловых машин.

Процессы в компрессорах. Классификация компрессоров и принцип действия. Изотермическое, адиабатное и политропное сжатие. Затрата работы на привод компрессора. Многоступенчатый компрессор. Оптимальное распределение давления по ступеням. Расчет мощности привода и отводимого при охлаждении тепла. Работа компрессора в $p-v$ - и TS - диаграммах. Необратимое сжатие. Относительный внутренний КПД компрессора. Расчет потерь эксергии и эксергетический КПД компрессора.

Газовые циклы. Циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Индикаторная диаграмма и цикл двигателя. Цикл с подводом тепла при постоянном давлении. Цикл со смешанным подводом тепла и его коэффициент полезного действия. Сравнение циклов двигателей внутреннего сгорания. Термодинамический анализ коэффициента полезного действия циклов по средним температурам подвода и отвода тепла. Удельная объемная работа. Удельный расход тепла и топлива.

Циклы газотурбинных установок (ГТУ). Принципиальная схема и цикл газотурбинной установки с подводом тепла при постоянном давлении. Термический коэффициент полезного действия идеального цикла.

Действительный цикл и его коэффициент полезного действия. Методы повышения коэффициента полезного действия циклов газотурбинных установок. Отношение работы компрессора к работе турбины. Повышение начальной температуры газа перед турбиной. Оптимальная степень повышения давления. Регенерация тепла в цикле. Многоступенчатое сжатие и ступенчатый подвод тепла в цикле.

Замкнутые схемы газотурбинных установок. Рабочие тела замкнутых схем. Цикл газотурбинной установки с подводом тепла при постоянном объеме.

Циклы реактивных двигателей. Схема, цикл и термический коэффициент полезного действия прямоточного и турбореактивного двигателя. Схема и цикл ракетного двигателя.

Циклы паротурбинных установок. Циклы паротурбинной установки в Pv - и Ts - диаграммах. Принципиальная схема паротурбинной установки. Работа турбины и питательного насоса. Термический коэффициент полезного действия цикла паротурбинной установки. Расчет термического коэффициента полезного действия цикла в hs - диаграмме и по таблицам водяного пара. Методы повышения термического коэффициента полезного действия цикла паротурбинной установки. Влияние начальных и конечных параметров пара на термический коэффициент полезного действия цикла. Применение пара высоких параметров. Действительный цикл с необратимым адиабатным расширением пара. Коэффициент полезного действия паротурбинной установки. Удельные расходы пара, тепла и топлива.

Вторичный перегрев пара. Причины применения вторичного перегрева пара. Цикл со вторичным перегревом пара в Ts - и hs - диаграммах. Прин-

ципиальная схема паротурбинной установки со вторичным перегревом пара. Оптимальная температура начала вторичного перегрева пара. Цикл паротурбинной установки при сверхкритических параметрах пара. Циклы с двумя промежуточными перегревами пара.

Циклы паротурбинных установок. Регенеративные циклы. Регенеративный подогрев питательной воды. Идеальный и теоретический регенеративные циклы. Схема регенеративного подогрева с отборами пара. Изображение регенеративных циклов в Ts - и hs - диаграммах. Термический коэффициент полезного действия регенеративного цикла. Оптимальная температура подогрева питательной воды и максимальный коэффициент полезного действия регенеративного цикла. Прирост коэффициента полезного действия регенеративного цикла в зависимости от числа оборотов.

Комбинированные циклы. Преимущества и недостатки водяного пара как рабочего тела. Бинарный цикл и его коэффициент полезного действия. Принципиальная схема бинарной паротурбинной установки. Комбинированные парогазовые циклы. Термический коэффициент полезного действия парогазовых циклов. Термодинамические циклы атомных электростанций. Термодинамические основы теплофикации.

Эксергетический и тепловой балансы паротурбинных установок. Эксергетический коэффициент полезного действия.

Циклы холодильных установок и термотрансформаторов. Обратный цикл Карно. Холодильный коэффициент. Схема и цикл воздушной холодильной установки. Термодинамические свойства рабочих тел парокompрессионных холодильных установок. Схема, цикл и холодильный коэффициент парокompрессионной холодильной установки. Схема и принцип работы абсорбционной холодильной установки.

Цикл теплового насоса– термотрансформатора. Отопительный коэффициент. Термодинамические сравнения эффективности насоса и теплофикации.

Основы химической термодинамики. Первый закон термодинамики и 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. Степень диссоциации. Термодинамические свойства диссоциирующих газов. Константа равновесия и максимальная работа реакции. Зависимость константы равновесия от давления и температуры. Тепловая теорема Нернста. Абсолютная энтропия. Стандартные значения термодинамических функций веществ.

Методы непосредственного преобразования теплоты в электроэнергию. Схема, цикл и коэффициент полезного действия установки с магнетогидродинамическим генератором. Термоэлектрические генераторы и их коэффициент полезного действия. Термодинамические основы преобразования энергии в топливных элементах.

Перечень лабораторных работ по разделу:

1. Определение проницаемости воздуха через мелкопористые керамические перегородки.
2. Исследование процессов во влажном воздухе.
3. Определение абсолютной и относительной влажности воздуха

Практические занятия:

1. Процессы компрессоров;
2. Расчет циклов газовых двигателей (ГТУ, ДВС);
3. Расчет циклов паротурбинных установок (ПТУ, ТЭС, ТЭУ);
4. Расчет циклов холодильных машин.

5. Образовательные технологии

При изучении дисциплины «Установки и системы низкотемпературной техники» следующие образовательные технологии:

Таблица 3. Методы и формы организации обучения

ФОО Методы	Лекц.	Лб. раб.	Пр. зан.	Тр.*, Мк**	СРС.	К. пр. ***
IT-методы	+		+			
Работа в команде		+	+	+		+
Case-study	+	+	+			
Игра						
Методы проблемного обучения						
Обучение на основе опыта	+	+	+	+	+	
Опережающая самостоятельная работа						
Проектный метод	+	+	+		+	
Поисковый метод		+	+			+
Исследовательский метод	+		+			
Другие методы						

* – Тренинг, ** – мастер-класс, ***– командный проект

6. Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов: Самостоятельно студенты расширяют и углубляют знания, получаемые на лекционных и практических занятиях с использованием дополнительной литературы.

6.1. Виды и формы самостоятельной работы

Самостоятельная работа студентов включает текущую и творческую проблемно-ориентированную самостоятельную работу (ТСР).

Текущая СРС направлена на углубление и закрепление знаний студента, развитие практических умений и включает:

- работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;

- выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ;
- подготовка к практическим и семинарским занятиям;
- подготовка к контрольной работе и к экзамену.

Творческая самостоятельная работа включает:
поиск, анализ, структурирование и презентация информации.

6.3. Контроль самостоятельной работы

Оценка результатов самостоятельной работы организуется как единство двух форм: самоконтроль и контроль со стороны преподавателей. Самоконтроль организуется посредством рейтинг-плана освоения дисциплины. Контроль со стороны преподавателя ведется путем проведения защит индивидуальных заданий и докладов, контрольных опросов на лекционных занятиях.

7. Средства (ФОС) текущей и промежуточной оценки качества освоения дисциплины

При освоении дисциплины используются следующие сочетания видов учебной работы с методами и формами активизации познавательной деятельности студентов для достижения запланированных результатов обучения и формирования компетенций. Оценка качества освоения дисциплины производится по результатам следующих контролируемых мероприятий:

Контролирующие мероприятия	Результаты обучения по дисциплине
Выполнение и защита индивидуальных заданий	РД1, РД2, РД3
Выполнение и защита лабораторных работ	РД1, РД2
Конференц-неделя	РД1, РД2, РД3, РД4, РД5
Выполнение и защита курсовой работы	РД1, РД2, РД3, РД4, РД5
Экзамен	РД1, РД2, РД3, РД4, РД5

Для оценки качества освоения дисциплины при проведении контролируемых мероприятий предусмотрена проверка ритмичности работы студентов, оценка усвоения теоретического, практического материала и приобретенных знаний, умений и навыков.

Текущий контроль обеспечивается:

- опросом студентов на практических занятиях, решением задач;
- выполнением и защитой домашнего задания согласно рейтинг-плана;
- ежемесячной аттестацией студентов по результатам посещения лекционных и практических занятий, опроса на практических занятиях, выполнения лабораторных работ и индивидуальных домашних заданий.

Примеры вопросов и заданий текущего контроля

1. Приведите определение термодинамической системы.
2. Что такое рабочее тело?
3. Какое число независимых параметров определяет состояние рабочего тела? Почему?
4. Какие процессы называют равновесными и какие неравновесными, обратимыми и необратимыми?
5. Какая разница между термодинамическим процессом и круговым (циклом)?
6. Что такое внутренняя энергия рабочего тела?
7. Что такое теплота и работа процесса?
8. В чем сущность первого закона термодинамики?
9. Что такое энтальпия?
10. Что такое теплоемкость? Какие существуют теплоемкости?
11. В чем разница между средней и истинной теплоемкостями?
12. Как вычислить теплоемкость смеси идеальных газов при массовом задании смеси? При объемном (мольном) задании?
13. Как вычислить среднюю теплоемкость в интервале температур от 0 до t ?
14. Как рассчитать теплоту процесса через средние теплоемкости от 0 до t ?
15. Как определяют газовую постоянную смеси идеальных газов, заданную объемными долями?
16. Что такое термодинамический цикл?
17. В чем состоят термическая и механическая необратимости процессов?
18. Что такое прямой и обратный циклы Карно?
19. Что называется термическим КПД и холодильным коэффициентом произвольного цикла? Чему они равны для цикла Карно?
20. Почему обратный цикл Карно является самым эффективным среди других циклов, осуществляемых в заданном интервале температур?
21. В чем сущность второго закона термодинамики?
22. Приведите аналитическое выражение второго закона термодинамики для обратимых и необратимых процессов.
23. Как изменяется энтропия изолированной системы при протекании в ней обратимых и необратимых процессов?
24. Что такое эксергия?
25. Чем определяется уменьшение работоспособности изолированной системы?
26. Основная задача расчета любого термодинамического процесса.
27. Изобразите в p - v и T - s – диаграммах изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный процессы идеального газа.
28. Охарактеризуйте каждый из этих процессов. Чему равен показатель политропы и теплоемкость в каждом из этих процессов?
29. Как определяют теплоту изохорного, изобарного, изотермического, адиабатного и политропного процессов идеального газа?
30. Изобразите процесс парообразования в p - v , T - s и h - s – диаграммах.

31. В чем состоит цель расчета термодинамических процессов воды и водяного пара?
32. Изобразите в p - v , T - s и h - s – диаграммах основные термодинамические процессы водяного пара.
33. Как определяют теплоту и работу для основных термодинамических процессов водяного пара?
34. Приведите определение влажного воздуха.
35. Что такое абсолютная, относительная влажность, влагосодержание?
36. В каких пределах может изменяться влагосодержание?
37. Что такое точка росы?
38. Как изображают основные процессы влажного воздуха в h - d – диаграмме?
39. Какие допущения лежат в основе вывода уравнения первого закона термодинамики для потока?
40. Объясните физический смысл каждого члена уравнения первого закона термодинамики для потока.
41. На что расходуется работа расширения газа в потоке?
42. Что такое сопло и диффузор?
43. Какая связь между изменением профиля канала и изменением скорости адиабатного течения рабочего тела?
44. Как вычислить действительную скорость истечения газа на выходе из сопла?
45. Какой процесс называется дросселированием?
46. Где используется процесс дросселирования?
47. Как изменяется температура реального газа при дросселировании?
48. Назначение компрессоров.
49. Принцип действия поршневого компрессора и изображение работы компрессора в p - v -диаграмме.
50. Какой процесс сжатия наиболее выгодный?
51. Можно ли получить газ высокого давления в одноступенчатом компрессоре?
52. Как определяется работа, затрачиваемая на привод компрессора?
53. Чем вызвано применение нескольких ступеней сжатия в многоступенчатом компрессоре?
54. Как определяется эффективная мощность, затрачиваемая на привод компрессора?
55. Как определяется внутренний относительный КПД компрессора?
56. Расчет отводимой теплоты при охлаждении компрессора.
57. Назовите три основных вида циклов поршневых двигателей внутреннего сгорания.
58. Изобразите цикл ДВС с подводом теплоты при $v = \text{const}$ в p - v и T - s – диаграммах.
59. Как вычислить количество теплоты, отводимой от рабочего тела и термический КПД цикла с подводом теплоты при $v = \text{const}$?

60. Изобразите цикл ДВС с подводом теплоты при $p = \text{const}$ в $p-v$ и $T-s$ – диаграммах. Как вычисляется подведенная и отведенная теплота, термический КПД такого цикла?
61. Изобразите цикл ДВС со смешанным подводом теплоты в $p-v$ и $T-s$ – диаграммах. Как определяется подведенная и отведенная теплота и термический КПД такого цикла?
62. Какие преимущества имеют газотурбинные установки по сравнению с двигателями внутреннего сгорания?
63. Приведите принципиальную схему и цикл ГТУ в $p-v$ и $T-s$ – диаграммах с подводом теплоты при $p = \text{const}$.
64. Как вычислить термический КПД обратимого цикла, внутренний КПД действительного цикла газотурбинной установки?
65. Что называется эффективным КПД газотурбинной установки и как он определяется?
66. Назовите методы повышения термического КПД в газотурбинных установках.
67. Приведите принципиальную схему паротурбинной установки.
68. Изобразите обратимый цикл Ренкина в $p-v$, $T-s$ и $h-s$ – диаграммах.
69. В чем отличие цикла Ренкина от цикла Карно?
70. Как определить термический КПД цикла Ренкина?
71. Как и почему изменяется КПД цикла Ренкина при увеличении начальных параметров водяного пара?
72. Каково влияние давления в конденсаторе на величину термического КПД цикла Ренкина?
73. Как изменяется влажность пара в конце адиабатного расширения при повышении начального давления, если начальная температура и конечное давление пара остаются неизменными?
74. Для каких целей в паротурбинной установке используют промежуточный перегрев пара?
75. В чем состоит выгода регенеративного цикла паротурбинной установки?
76. Что такое внутренний относительный КПД паротурбинной установки, как его определяют?
77. В чем преимущество комбинированной выработки теплоты и электроэнергии?
78. Как определяют удельный расход пара в паротурбинной установке?
79. Как определяют эффективный КПД паротурбинной установки?
80. В чем состоят преимущества парогазовых циклов?
81. Классификация холодильных установок.
82. Что называется холодильным коэффициентом?
83. Приведите принципиальную схему воздушной холодильной установки и опишите ее работу.
84. Изобразите идеальный цикл воздушной холодильной установки и опишите процессы, осуществляемые в ней.

85. Приведите принципиальную схему работы паровой компрессионной холодильной установки и опишите ее работу.
86. Чем отличается работа теплового насоса от работы холодильных установок?
87. В чем смысл и практическое значение закона Гесса?
88. Что такое константа равновесия и в чем ее практическое значение?
89. Что такое обратимая и необратимая химические реакции?
90. Что такое максимальная полезная работа реакции?
91. В чем сущность закона действующих масс?
92. Как влияет температура на константу равновесия, на скорость химической реакции?
93. Что такое эндотермическая и экзотермическая реакции?
94. Сущность тепловой теоремы Нернста и ее практическое значение
95. Что положено в основу принципа работы МГД-генератора?
96. Почему при пользовании МГД-генератора можно получить высокие значения КПД?
97. Опишите схему и цикл установки с МГД-генератором.
98. На каком принципе основана работа термоэлектрических генераторов?
99. От чего зависит КПД термоэлектрических генераторов и каково его примерное значение?
100. На каком принципе основана работа термоэлектронного преобразователя?
101. Что называют топливным элементом?
102. Принцип действия топливного элемента.
103. Какой максимальный КПД можно получить в топливном элементе и почему?

Промежуточным контролем является экзамен в 3 семестре, который оценивается по суммарному баллу с учетом работы за семестр по условию:
«отлично» – более 89 баллов;
«хорошо» – 70–89 баллов;
«удовлетворительно» – 55–69 баллов.

7. Рейтинг качества освоения модуля (дисциплины)

Оценка качества освоения дисциплины в ходе текущей и промежуточной аттестации обучающихся осуществляется в соответствии с «Руководящими материалами по текущему контролю успеваемости, промежуточной и итоговой аттестации студентов Томского политехнического университета», утвержденными приказом ректора № 77/од от 29.11.2011 г.

В соответствии с «Календарным планом изучения дисциплины»:

- текущая аттестация (оценка качества усвоения теоретического материала (ответы на вопросы и др.) и результаты практической деятельности (решение задач, выполнение заданий, решение проблем и др.) производится в течение семестра (оценивается в баллах (максимально 60 баллов), к моменту завершения семестра студент должен набрать не менее 33 баллов);
- промежуточная аттестация (экзамен) производится в конце семестра (оценивается в баллах (максимально 40 баллов), на экзамене (зачете) студент должен набрать не менее 22 баллов).

Итоговый рейтинг по дисциплине определяется суммированием баллов, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Максимальный итоговый рейтинг соответствует 100 баллам.

7.1 Примеры экзаменационных вопросов

1. Дифференциальная связь для $h=f(T, p)$. Расчет энтальпии идеального газа с ее помощью. Таблицы газа.
2. Эксергия рабочего тела. Графическое изображение эксергии идеального газа.
3. Цикл ГТУ с подводом теплоты при $P = \text{const}$ и регенерацией.
4. Смещение газов и паров в постоянном объеме.
5. Эксергия теплоты. Эксергетический к.п.д.
6. Определить расход пара в единицу времени D , кг/с паротурбинной установки, работающей по теоретическому циклу с одним отбором и вторичным перегревом (перед отбором). Параметры пара в узловых точках цикла и мощность N_t – известны.
7. TS – диаграмма идеального газа; ее свойства.
8. Температура торможения в адиабатном потоке идеального газа.
9. Регенеративный цикл паротурбинной установки; термический к.п.д., удельный расход пара и топлива.

10. $h - d$ диаграмма влажного воздуха; ее построение и расчет влажного воздуха по диаграмме.
11. Истечение с трением; определение скорости и расхода при истечении.
12. Определить мощность (N_t) паросиловой установки с отбором пара в подогревателе поверхностного типа (сброс дренажа в линию за конденсатором). Параметры пара в узловых точках цикла, давление отбора и D , кг/с – заданы.
13. Рассчитать политропный процесс идеального газа при заданных P_1 , v_1 и $P_2 > P_1$, n . Изобразить процесс в TS – диаграмме для воздуха при $n = 2,2$.
14. Связь влагосодержания и относительной влажности воздуха.
15. Как рассчитать расход пара в единицу времени паросиловой установки, работающей по теоретическому циклу с промежуточным перегревом пара? Параметры состояния в узловых точках цикла, N_t – заданы.
16. Дифференциальные связи для теплоемкостей. Связь C_p и C_v . Уравнение Майера.
17. Смещение потоков влажного воздуха.
18. Доказать выгодность цикла с регенерацией.
19. Второй закон термодинамики. Сущность и формулировки. Цикл Карно.
20. Смещение газов и паров в потоке.
21. Цикл простейшей паросиловой установки (Ренкина). К.п.д. цикла, удельный расход пара, теплоты и топлива.
22. Дросселирование (мятие) газа и пара. Изменение параметров при дросселировании.
23. Цикл ГТУ с подводом теплоты при $P = \text{const}$. К.п.д. цикла через конструктивные параметры.
24. Определить теоретическую мощность (N_t) паросиловой установки с отбором пара в подогреватель смешивающего типа и промежуточным (вторичным) перегревом пара до отбора; Параметры в узловых точках цикла, давление отбора и перегрева, D кг/с - известны.

25. Цикл ДВС с подводом тепла при постоянном давлении. Термический к.п.д. цикла через конструктивные параметры.
26. Определить массу (M) влажного пара, если заданы его объем V , p , x .
27. Схема и цикл паросиловой установки с промежуточным перегревом пара. Изобразить цикл в TS – и hS – диаграммах и записать выражение термического к.п.д., расхода тепла, топлива и пара.
28. Критические параметры при истечении идеального газа: скорость, отношение давлений ($\beta_{кр}$), температур.
29. Записать соотношение для расчета затраты мощности на привод компрессора, если сжимается воздух от P_1, t_1 до P_2 в количестве M кг/с, а сжатие – по политропе с показателем n .
30. Определить удельный расход пара паротурбинной установки с двумя отборами и промежуточным перегревом после второго отбора. Изобразить цикл в TS – и hS – диаграммах.
31. Расчет параметров влажного пара.
32. Выбор промежуточных давлений при многоступенчатом сжатии в компрессоре.
33. Для паросиловой установки, работающей с двумя отборами пара в смешивающие подогреватели, дана мощность N_t и параметры состояния в узловых точках. Найти количество пара, идущее в отбор высокого давления ($D_{отб_1}$) в единицу времени.
34. Дифференциальная связь для $U = f(T, v)$
35. $h - d$ диаграмма влажного воздуха. Расчеты с ее помощью процессов сушки, нагрева.
36. Цикл ГТУ с подводом теплоты при постоянном объеме ($V = const$). К.п.д. цикла.
37. Рассчитать адиабатный процесс водяного пара, если задано $P_1, t_1 > t_{31}$ и $P_2 < P_1$. Изобразить процесс в TS – и hS – диаграммах.
38. Изобразить в hS – диаграмме пара цикл паротурбинной установки с тремя отборами пара и записать выражение для η_t цикла.

39. Рассчитать изохорный процесс водяного пара при заданных P_1, t_1 ($t_1 > t_{s1}$) и $x_2 = 0$
40. Схема и цикл воздушной холодильной установки; холодильный коэффициент.
41. Определить удельный расход пара установки, работающей по теоретическому циклу (dt) с вторичным перегревом пара.
42. Дифференциальная связь для $S = f(T, P)$. Расчет энтропии идеального газа с ее помощью.
43. Правило фаз Гиббса.
44. Рассчитать изобарный процесс сжатия пара при заданных P_1, t_1 ($t_1 > t_{s1}$) и $x_2 = 1$.
45. Эффективный к.п.д. ГТУ.
46. Схема и цикл парокompрессионной холодильной установки. Холодильный коэффициент.
47. Связь изменения сечения и скорости в адиабатном потоке идеального газа. Сопло и диффузор, профилирование сопел.
48. Цикл ДВС с подводом тепла при постоянном объеме. К.п.д. цикла через конструктивные параметры.
49. Сравнить термические к.п.д. циклов ДВС при одинаковых T_{\max} и q_2
50. Влажный воздух с параметрами t_1 и φ_1 охлаждается до $t_2 < t_{\text{росы}}$. Как определить количество сконденсированной влаги на 1 кг сухого воздуха и изменение энтальпии?
51. Дифференциальный и интегральный эффект дросселирования, кривая инверсии.
52. Энтальпия влажного воздуха.

7.2 Пример экзаменационного билета

Билет № 1



Экзамен по дисциплине:
Техническая термодинамика
ЭНИН
Кафедра: ТПТ Курс: 2

1. Термические параметры состояния рабочего тела (давление, объём, температура). Уравнение состояния идеального газа. (10 баллов)
2. Математическое выражение I закона термодинамики для движущегося рабочего тела. Уравнение сплошности. (15 баллов)
3. Определить количество пара, идущего во второй отбор D_2 , для цикла с двумя перегревами и отборами в конце первого и второго расширения в турбине, если известны мощность и все параметры в узловых точках цикла. (15 баллов)

Составил:

Утверждаю:

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

- *основная литература:*

1. Кириллин, Владимир Алексеевич Техническая термодинамика : учебник для вузов / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин. — 5-е изд., перераб. и доп.. — Москва: Изд. дом МЭИ, 2008. — 495 с.: ил
2. Сборник задач по технической термодинамике : учебное пособие для вузов / Т. Н. Андрианова [и др.]. — 4-е изд., перераб. и доп.. — Москва: Изд-во МЭИ, 2000. — 356 с.: ил
3. [Голдаев, Сергей Васильевич](#) Основы технической термодинамики : учебное пособие для вузов / С. В. Голдаев, Ю. А. Загромов; Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2009. — 224 с.: ил..
4. Кудинов, В. А. Техническая термодинамика и теплопередача [Электронный ресурс] : учебник для бакалавров / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов, Е. В. Стефанюк. — 2-е изд.. — Мультимедиа ресурсы (10 директорий; 100 файлов; 740МВ). — Москва: Юрайт, 2013. — 1 Мультимедиа CD-ROM. — Электронные учебники издательства Юрайт. — Электронная копия печатного издания. — Доступ из корпоративной сети ТПУ. — Системные требования: Pentium 100 MHz, 16 Mb RAM, Windows 95/98/NT/2000, CDROM, SVGA, звуковая карта, Internet Explorer 5.0 и выше.

Схема доступа:

<http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2013/FN/fn-2407.pdf>

5. [Борисов, Борис Владимирович](#) Практикум по технической термодинамике [Электронный ресурс] : учебное пособие / Б. В. Борисов, А. В. Крайнов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Энергетический институт (ЭНИИ), Кафедра теоретической и промышленной теплотехники (ТПТ). — 1 компьютерный файл (pdf; 4.1 МВ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2012. — Заглавие с титульного экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Доступ из корпоративной сети ТПУ. — Системные требования: Adobe Reader.

Схема доступа:

<http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2012/m410.pdf>

дополнительная литература:

1. Фукс Г.И. Техническая термодинамика. – Томск: изд. ТГУ, 1973. –460с.
3. Андрианова Т.Н. и др. Сборник задач по технической термодинамике. –М.: Энергия, 2001. –240с.
4. Практикум по технической термодинамике: Учеб. пособие для ВУЗов/В.Н. Зубарев, А.А. Александров, В.С. Охотин – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 304 с.: ил.
5. Голдаев С.В., Загромов Ю.А. Основы технической термодинамики ТПУ. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 224 с.
- Вукалович М.П., Новиков И.И. Техническая термодинамика. – М.: Энергия, 1968. –496с.
2. Техническая термодинамика /Под ред. В.И. Крутова. – М.: Высшая школа, 1982. –450с.
3. Ривкин С.Л. Термодинамические свойства газов. – М.: Энергия, 1973. – 288с.
4. Зубарев В.Н., Александров А.А., Охотин В.С. Практикум по технической термодинамике. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 304 с.
5. Вукалович М.П. и др. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара. – М.: изд-во стандартов, 1969. – 408 с.
6. Теплотехника. Учебник для вузов /Луканин В.Н. и др. Под редакцией В.Н. Луканина. 4 изд. – М.: Высшая школа, 2003. – 671 с.

7. Коновалова Л.С., Загромов Ю.А. Основы теплотехники. Техническая термодинамика: Учебн. пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 116 с.
8. Коновалова Л.С., Загромов Ю.А. Теоретические основы теплотехники. Примеры и задачи. Учебн. пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – 116 с.

1. программное обеспечение и *Internet*-ресурсы:

http://www.gaudeamus.omskcity.com/PDF_library_natural-science_8.html

<http://techlibrary.ru/>

<http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-4/index.htm>

<http://www.k204.ru/uchebniki.htm>

<http://tgv.khstu.ru/lib/learn/>

<http://ihtik.lib.ru/>

<http://library.khstu.ru/>

<http://ingenerov.net/tehnichka/>

http://www.msuee.ru/htm12/med_gird/3_4.html

<http://twt.mpei.ru/ochkov/WSPHB/>

http://www.energosoft.info/new_knidi.html

http://www/fptl.ru/Chem%20block_spravo4nik.html

<http://www.enek.ru/books.htm#vvsp>

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Практические занятия и самостоятельная работа студентов обеспечены современной лабораторной базой и вычислительной техникой, позволяющей проводить исследования процессов на современном уровне в соответствии с требованиями ООП.

№	Наименование (компьютерные классы, учебные лаборатории, оборудование)	Корпус, аудитории, количество установок
1.	Аудитории с оборудованием по основам термодинамики и теплообмена	27 ауд. – 4 к., 10 шт.
2.	Аудитории с оборудованием по основам гидравлики.	29 ауд. – 4 к., 3 стенда

Программа составлена на основе Стандарта ООП ТПУ в соответствии с требованиями ФГОС по направлению подготовки бакалавров 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Программа одобрена на заседании кафедры Теоретической и промышленной теплотехники

(протокол № _____ от «___» _____ 20__ г.).

Автор _____ Борисов Б.В.

Рецензенты: _____ Логинов В.С.

_____ Медведев Г.Г.