

УТВЕРЖДАЮ:  
Проректор-директор ЭНИН  
Боровиков Ю.С.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2013 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ (ДИСЦИПЛИНЫ)**  
**на 2013/2014 учебный год**

***ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА***

Направление ООП: 140100 Теплоэнергетика и теплотехника  
Профиль подготовки: Тепловые электрические станции. Промышленная теплоэнергетика, Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике  
Квалификация (степень): бакалавр  
Базовый учебный план приема 2012 г.  
Курс 2 ; семестр 4  
Количество кредитов: 6  
Код дисциплины: ПЦ.Б.9.0

Виды учебной деятельности	Временной ресурс
Лекции, ч	32
Практические занятия, ч	24
Лабораторные занятия, ч	8
Аудиторные занятия, ч	64
Самостоятельная работа, ч	44
<b>ИТОГО, ч</b>	<b>108</b>

Вид промежуточной аттестации Экзамен в 4 семестре

Обеспечивающее подразделение «Кафедра теоретической и промышленной теплотехники»

Заведующий кафедрой: \_\_\_\_\_ Кузнецов Г.В.

Руководитель ООП: \_\_\_\_\_ Антонова А.М.

Преподаватель: \_\_\_\_\_ Борисов Б.В.

2013 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 «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 140100 – «Теплоэнергетика и теплотехника» (ПЦ.Б.9.0). Он непосредственно связан с дисциплинами математического и естественнонаучного профиля: МЕЦ.Б.1.0, МЕЦ.Б.1.1, МЕЦ.Б.1.2, МЕЦ.Б.1.3 «Математика», МЕЦ.Б.4.0, МЕЦ.Б.4.1, МЕЦ.Б.4.2, МЕЦ.Б.4.3, «Физика», МЕЦ.Б.6.0 «Химия», МЕЦ.В.1.0 «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 теоретиче-

ского 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.

Коррективитами дисциплины «Техническая термодинамика» являются специальные дисциплины ПЦ.Б.10.0 «Тепломассообмен», ПЦ.Б.9.0 «Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях, ПЦ.Б.11.0 «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», ПЦ.В.2.0 «Тепловые и атомные электрические станции», ПЦ.В.1.1.0 «Котельные установки и парогенераторы», ПЦ.В.1.4.0 «Паротурбинные и парогазовые установки», ПЦ.В.1.3.0 «Тепломеханическое и вспомогательное оборудование электростанций», ПЦ.В.1.2.0 «Турбины тепловых и атомных электрических станций».

### **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.

В процессе освоения дисциплины у студентов развиваются следующие компетенции:

1. *Универсальные (общекультурные)* –

готовность:

P2. Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении *комплексных* инженерных задач.

P6. Осознавать необходимость и демонстрировать *способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни*, непрерывному самосовершенствованию, в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.

2. *Профессиональные* –

готовность:

P7. Применять *базовые* математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности *в широком* (в том числе междисциплинарном) контексте в *комплексной* инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.

P8. Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач *комплексного* инженерного анализа с использованием *базовых и специальных* знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.

P10. Проводить *комплексные* научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением *базовых и специальных* знаний и *современных* методов.

P11. Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.

## ДЕКОМПОЗИЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Таблица 1.

Результаты обучения	Составляющие результатов обучения					
	Код	Знания	Код	Умения	Код	Владение опытом
Р7	37.1	основных законов естественнонаучных и математических дисциплин	У.7.1	использовать основные законы естественнонаучных и математических дисциплин в инженерной деятельности в процессах производства, трансформации, транспортировки тепловой и электрической энергии и управления этими процессами	В.7.1	создания моделей процессов производства, трансформации, транспортировки тепловой и электрической энергии с использованием основных законов естественнонаучных и математических дисциплин
Р8	38.1	базовых и специальных профессиональных дисциплин, нормативной документации	У8.1	использовать базовые и специальные профессиональные знания, нормативную документацию при проектировании процессов и оборудования теплоэнергетики и теплотехники, их автоматизации	В8.1	проектирования оборудования теплоэнергетики и теплотехники, их автоматизации
	38.2	методов математического анализа и моделирования, в том числе с применением пакетов прикладных программ	У8.2	проводить теоретические и экспериментальные исследования процессов и оборудования теплоэнергетики и теплотехники, их автоматизации с использованием методов математического анализа и моделирования и пакетов приклад-	В8.2	проведения анализа процессов и оборудования теплоэнергетики и теплотехники, их автоматизации

				ных программ		
	38.3	основ теоретического и экспериментального исследования процессов и оборудования теплоэнергетики и теплотехники, их автоматизации, в том числе с использованием пакетов прикладных программ			В8.3	использования пакетов прикладных программ для исследования процессов и оборудования теплоэнергетики и теплотехники
Р10	310.1	методов, основных этапов и задач планирования теоретических и прикладных исследований	У10.1	обрабатывать результаты экспериментов, в том числе с использованием пакетов прикладных программ	В10.1	работы с экспериментальным оборудованием и исследовательскими приборами, в том числе с использованием средств автоматизации
	310.2	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
	310.3	методов стандартных испытаний по определению теплофизических и термодинамических свойств жидкостей и газов	У10.3	составлять аналитические обзоры по научно-технической тематике	В10.3	использования аналитического обзора по научно-технической тематике при работе над инновационными проектами

В связи с этим программа предусматривает усиление практической подготовки студентов за счет активизации их самостоятельной работы, применение вычислительной техники при выполнении расчетных заданий, контрольных работ, а также лабораторного практикума. Предусматривается также интенсификация всех видов учебного процесса за счет использования технических средств обучения.

Кроме того, одной из задач курса является развитие у студентов творческих способностей и исследовательских навыков путем выполнения лабора-

торных работ, практических занятий и индивидуальных домашних заданий с элементами научных исследований (ЭНИ).

## **. Содержание теоретического раздела**

### **4.1. Аннотированное содержание дисциплины**

#### **4.1 Содержание теоретических разделов дисциплины «Техническая термодинамика» (36 часов):**

##### **Лекция 1 (2 часа)**

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.

##### **Лекция 2 (2 часа)**

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.

##### **Лекция 3 (2 часа)**

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.

#### **Лекция 4 (2 часа)**

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

#### **Лекция 5 (2 часа)**

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.

#### **Лекция 6 (2 часа)**

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.

#### **Лекция 7 (2 часа)**



Термодинамические свойства **реальных веществ**.  $p$ - $v$ - 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.

### **Лекция 8 (2 часа)**

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.

### **Лекция 9 (2 часа)**

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.

### **Лекция 10 (2 часа)**

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.

### **Лекция 11 (2 часа)**

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.

### **Лекция 12 (2 часа)**

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

### **Лекция 13 (2 часа)**

**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.

### **Лекция 14 (2 часа)**

**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.

### **Лекция 15 (2 часа)**

**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. Принципиальная 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.

### **Лекция 16 (2 часа)**

**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.

### **Лекция 17 (2 часа)**

**Циклы холодильных установок и термотрансформаторов.** Обратный цикл Карно. Холодильный коэффициент. Схема и цикл воздушной холодильной установки. Термодинамические свойства рабочих тел парокомпрессионных холодильных установок. Схема, цикл и холодильный коэффициент

парокомпрессионной холодильной установки. Схема и принцип работы абсорбционной холодильной установки.

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

### **Лекция 18 (2 часа)**

**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.

#### **4.1.1.Содержание практического раздела курса**

На практических занятиях решаются задачи по основным разделам лекционного курса. Наибольшее внимание при этом уделяется усвоению законов термодинамики, методов расчета с помощью таблиц, диаграмм и другого справочного материала, а также методов анализа процессов и циклов тепловых двигателей

#### **Тематика практических занятий**

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование темы</b>
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.
12.	Процессы компрессоров.
13.	Расчет циклов газовых двигателей (ГТУ, ДВС).
14.	Расчет циклов паротурбинных установок (ПТУ, ТЭС, ТЭУ).
15.	Расчет циклов холодильных машин.

#### 4.1.2 Содержание лабораторных работ

Лабораторный практикум охватывает основные разделы курса. При выполнении работ студенты, помимо практической работы с приборами и установками, получают навыки исследовательской деятельности (ЭНИ) в части обработки и обобщения результатов измерений, а также использования ЭВМ. По каждой работе составляется отчет с указанием цели работы, схемы установки и ее описание, таблицы измерений, расчет и обработка результатов опыта и вывод.

#### Перечень лабораторных работ

№ п/п	Наименование работы
1.	Определение удельной теплоемкости воздуха при постоянном давлении.
2.	Изучение реального газа (эффект Джоуля-Томсона).
3.	Исследование процессов во влажном воздухе.
4.	Определение проницаемости воздуха через мелкопористые керамические перегородки.
5.	Определение абсолютной и относительной влажности воздуха.

#### 4.2 Структура дисциплины по разделам и формам организации обучения

Таблица 2.

*Структура дисциплины по разделам и формам организации обучения*

Название раздела/темы	Аудиторная работа (час)			СРС (час)	Колл, Контр.п р.	Итого
	Лек- ции	Практ./сем. Занятия	Лаб. зан.			

1. Введение. Основные понятия и определения термодинамики	1,5			0,5		2
2.Смеси идеальных газов	1,5	2		3		8,5
3.Теплоемкость	1	1	2	0,5		5,5
4.Первый закон термодинамики	2	1		1		4
5.Второй закон термодинамики	3	1		1		5
6.Характеристические функции и дифференциальные уравнения термодинамики	1			0,5		1,5
7.Термодинамика идеального газа. Термодинамические процессы	4	3		7		14
8.Термодинамика реального газа. Водяной пар	3	3		6		12
9.Термодинамика потока. Истечение и дросселирование газов и паров	2	2	2	5		13
10. Термодинамика смесей и растворов	2	3	2	1		8
11. Процессы в компрессорах	2	2		1		5
12.Газовые циклы	2	2		2		6
13.Циклы паротурбинных установок	4	4		6		14
14.Циклы холодильных установок и термотрансформаторов	2	1	2	5		10
15.Основы химической термодинамики	1			0,5		1,5
16 Методы непосред-						

ственного преобразования теплоты в электро-энергию.				4		4
Итого	32	24	8	44		108

### 4.3 Распределение компетенций по разделам дисциплины

Распределение по разделам дисциплины планируемых результатов обучения по основной образовательной программе, формируемых в рамках данной дисциплины и указанных в пункте 3.

Таблица 3.

*Распределение по разделам дисциплины планируемых результатов обучения*

№	Формируемые компетенции	Разделы дисциплины															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1.	37.1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2.	38.1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3.	38.2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4.	38.3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5.	310.1		+	+					+	+	+		+	+	+		
6.	310.2		+	+					+	+	+		+	+	+		
7.	310.3		+	+					+	+	+		+	+	+		
8.	У7.1.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
9.	У8.1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
10.	У8.2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
11.	У8.3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
12.	У10.1		+	+					+	+	+		+	+	+		
13.	У10.2		+	+					+	+	+		+	+	+		
14.	У10.3		+	+					+	+	+		+	+	+		
15.	В7.1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
16.	В8.1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
17.	В8.2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
18.	В8.3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
19.	В10.1		+	+					+	+	+		+	+	+		
20.	В10.2		+	+					+	+	+		+	+	+		
21.	В10.3		+	+					+	+	+		+	+	+		

## 5. Образовательные технологии

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.

Таблица 4.

*Методы и формы организации обучения (ФОО)*

Методы \ ФОО	Лекц.	Лаб. Раб.	Пр. зан.	СРС
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				

## **6. Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

**6.1 Текущая СРС**, направленная на углубление и закрепление знаний студента, развитие практических умений, содержит следующие виды работ:



- работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- выполнение домашних заданий;
- опережающая самостоятельная работа;
- изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- подготовка к лабораторным работам;
- подготовка к контрольным работам и экзамену.

Для повышения эффективности самостоятельной работы студентам рекомендуется использовать разработанные сотрудниками кафедры и изданные в ТПУ учебно-методические указания и работы (см. раздел "Учебно-методическое обеспечение курса").

**6.2 Творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа (ТСР)**, ориентированная на развитие интеллектуальных умений, комплекса универсальных и профессиональных компетенций, повышение творческого потенциала студентов, включает следующие виды работ по основным проблемам курса:

- поиск, анализ, структурирование и презентация информации;
- анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- анализ статистических и фактических материалов по заданной теме;
- исследовательская работа.

**Темы индивидуальных заданий:**

- расчет газовых смесей;
- процессы идеального газа;
- процессы водяного пара;
- истечение водяного пара из сопла;

- расчет газовых циклов;
- расчет паротурбинных установок;
- расчет циклов холодильных установок.

### **6.3 Контроль самостоятельной работы**

Оценка результатов самостоятельной работы организуется как единство двух форм: самоконтроль и контроль со стороны преподавателей.

Цель контроля состоит в оценке уровня знаний и умений, приобретаемых студентами в процессе изучения всех разделов курса.

Применение различных форм контроля знаний расширяет возможности индивидуального подхода к изучению курса "Техническая термодинамика" и позволяет развивать творческие способности студента.

К таким формам контроля относятся:

1. Контроль изучения и усвоения теоретического материала курса, который проводится в течение семестра по программам безмашинного контроля, разработанным на кафедре, контрольных работ (коллоквиумов), а также защиты индивидуальных заданий.

2. Контроль и оценка уровня знаний и умений, приобретаемых на практических и лабораторных занятиях, проводится в виде оценки каждого занятия, выполнения в срок индивидуального задания и защиты отчета по лабораторной работе.

3. Тематический (рубежный) контроль проводится не менее трех раз в семестр на основе рейтинговой системы.

4. Итоговый контроль проводится в конце четвертого семестра (экзамен) по всем разделам курса с помощью экзаменационных билетов, которые используются также при проведении ежегодных олимпиад в университете.

#### **Базы тестовых заданий для самоконтроля по курсу**

«Техническая термодинамика»

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.
- 49.Какой процесс сжатия наиболее выгодный?
- 50.Можно ли получить газ высокого давления в одноступенчатом компрессоре?
- 51.Как определяется работа, затрачиваемая на привод компрессора?
- 52.Чем вызвано применение нескольких ступеней сжатия в многоступенчатом компрессоре?
- 53.Как определяется эффективная мощность, затрачиваемая на привод компрессора?
- 54.Как определяется внутренний относительный КПД компрессора?
- 55.Расчет отводимой теплоты при охлаждении компрессора.
- 56.Назовите три основных вида циклов поршневых двигателей внутреннего сгорания.
- 57.Изобразите цикл ДВС с подводом теплоты при  $v = \text{const}$  в  $p-v$  и  $T-s$  – диаграммах.

58. Как вычислить количество теплоты, отводимой от рабочего тела и термический КПД цикла с подводом теплоты при  $v = \text{const}$ ?
59. 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?
60. 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?
61. Какие преимущества имеют газотурбинные установки по сравнению с двигателями внутреннего сгорания?
62. Приведите принципиальную схему и цикл ГТУ в  $p-v$  и  $T-s$  – диаграммах с подводом теплоты при  $p = \text{const}$ .
63. Как вычислить термический КПД обратимого цикла, внутренний КПД действительного цикла газотурбинной установки?
64. Что называется эффективным КПД газотурбинной установки и как он определяется?
65. Назовите методы повышения термического КПД в газотурбинных установках.
66. Приведите принципиальную схему паротурбинной установки.
67. Изобразите обратимый цикл Ренкина в  $p-v$ ,  $T-s$  и  $h-s$  – диаграммах.
68. В чем отличие цикла Ренкина от цикла Карно?
69. Как определить термический КПД цикла Ренкина?
70. Как и почему изменяется КПД цикла Ренкина при увеличении начальных параметров водяного пара?
71. Каково влияние давления в конденсаторе на величину термического КПД цикла Ренкина?
72. Как изменяется влажность пара в конце адиабатного расширения при повышении начального давления, если начальная температура и конечное давление пара остаются неизменными?

73. Для каких целей в паротурбинной установке используют промежуточный перегрев пара?
74. В чем состоит выгода регенеративного цикла паротурбинной установки?
75. Что такое внутренний относительный КПД паротурбинной установки, как его определяют?
76. В чем преимущество комбинированной выработки теплоты и электроэнергии?
77. Как определяют удельный расход пара в паротурбинной установке?
78. Как определяют эффективный КПД паротурбинной установки?
79. В чем состоят преимущества парогазовых циклов?
80. Классификация холодильных установок.
81. Что называется холодильным коэффициентом?
82. Приведите принципиальную схему воздушной холодильной установки и опишите ее работу.
83. Изобразите идеальный цикл воздушной холодильной установки и опишите процессы, осуществляемые в ней.
84. Приведите принципиальную схему работы паровой компрессионной холодильной установки и опишите ее работу.
85. Чем отличается работа теплового насоса от работы холодильных установок?
86. В чем смысл и практическое значение закона Гесса?
87. Что такое константа равновесия и в чем ее практическое значение?
88. Что такое обратимая и необратимая химические реакции?
89. Что такое максимальная полезная работа реакции?
90. В чем сущность закона действующих масс?
91. Как влияет температура на константу равновесия, на скорость химической реакции?
92. Что такое эндотермическая и экзотермическая реакции?
93. Сущность тепловой теоремы Нернста и ее практическое значение

94. Что положено в основу принципа работы МГД-генератора?
95. Почему при использовании МГД-генератора можно получить высокие значения КПД?
96. Опишите схему и цикл установки с МГД-генератором.
97. На каком принципе основана работа термоэлектрических генераторов?
98. От чего зависит КПД термоэлектрических генераторов и каково его примерное значение?
99. На каком принципе основана работа термоэлектронного преобразователя?
100. Что называют топливным элементом?
101. Принцип действия топливного элемента.
102. Какой максимальный КПД можно получить в топливном элементе и почему?

#### **6.4 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

Список основной и дополнительной литературы, перечень программного обеспечения и электронных образовательных ресурсов указаны в разделе 8 данной рабочей программы.

##### **1. Лекции.**

##### **2. Демонстрационные плакаты.**

##### **3. Кинофильмы:**

- 1) работа и энергия;
- 2) основные законы термодинамики;
- 3) истечение газов и паров;
- 4) дросселирование газов и паров;
- 5) влажный воздух;
- 6) компрессоры;



- 7) двигатели внутреннего сгорания;
- 8) газотурбинные установки;

#### **4. Практические и лабораторные занятия.**

Методические указания по самостоятельной работе студентов над курсом, выполнению индивидуальных заданий, лабораторных работ, программа безмашинного контроля, раздаточный материал в форме индивидуальных заданий и контрольных вопросов. - Томск: Ротапринт ТПУ, 1982 - 1994 гг.

#### **5. Перечень лабораторных работ в компьютерном классе**

- 1) Расчет термодинамических параметров воды и перегретого пара по уравнению состояния;
- 2) Расчет термодинамических параметров идеального газа;
- 3) Моделирование термодинамических процессов. Расчет технико-экономических показателей цикла Ренкина;
- 4) Тестирующая программа по разделу обратимых циклов паросиловых установок;

По каждой из работ составлено описание, включающее постановку задачи, методику решения, инструкцию пользователя программы и методические указания по проведению работы с примерами заданий для студентов.

#### **7. Средства (ФОС) текущей и итоговой оценки качества освоения дисциплины**

Для объективного контроля качества знаний студентов была разработана независимая экспертная система, базирующаяся на единых подходах к содержанию, форме, анализу результатов и включающая стандартизованные измерители параметров качества знаний. Поскольку изучению курса «Техническая термодинамика» предшествуют «Физика», «Химия», «Высшая математика», на базе которых начинается освоение курса, были разработаны тестовые задачи входного контроля, включающие 9 вопросов в каждом билете (по три из каждой дисциплины). По всем темам курса «Техническая термо-

динамика» для текущего контроля были разработаны билеты с вопросами, часть из которых вошла для проверки остаточных знаний.

В соответствии с рейтинговой системой текущий контроль успеваемости производится ежемесячно в течение семестра путем балльной оценки качества усвоения теоретического материала (ответы на вопросы) и результатов практической деятельности.

Промежуточная аттестация проводится в конце семестра также путем балльной оценки. Итоговый рейтинг определяется суммированием баллов текущей оценки в течение семестра и баллов промежуточной аттестации в конце семестра по результатам зачета.

Оценка успеваемости студентов осуществляется по результатам:

- текущего контроля (проводится в конце изучения раздела, согласно учебно-методической карте дисциплины, составленной на семестр);
- самостоятельного (под контролем преподавателя) выполнения лабораторных работ;
- анализа подготовленных студентами рефератов;
- устного опроса при сдаче выполненных индивидуальных заданий;
- защиты отчетов по лабораторным работам;
- тестирования в образовательной среде WebCT.
- экзамена (для выявления знания и понимания теоретического материала дисциплины).

#### 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 ( $D_{отб1}$ ) 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 ( $V = \text{const}$ ). К.п.д. цикла.
37. Рассчитать адиабатный процесс водяного пара, если задано  $P_1, t_1 > t_{s1}$  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  $\eta_t$  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 парокомпрессионной 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  $T_{\text{max}}$  и  $q_2$
50. Влажный воздух с параметрами  $t_1$  и  $\varphi_1$  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.

## **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение**

### **ДИСЦИПЛИНЫ**

• *основная литература:*

1. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика: учебник для вузов. – 5-ое изд., перераб. и доп. – М.: Изд. дом МЭИ, 2008. – 496 с.
2. Фукс Г.И. Техническая термодинамика. – Томск: изд. ТГУ, 1973. – 460 с.
3. Андрианова Т.Н. и др. Сборник задач по технической термодинамике. – М.: Энергия, 2001. – 240 с.
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.

*дополнительная литература:*

1. Вукалович М.П., Новиков И.И. Техническая термодинамика. – М.: Энергия, 1968. – 496 с.
2. Техническая термодинамика /Под ред. В.И. Крутова. – М.: Высшая школа, 1982. – 450 с.
3. Ривкин С.Л. Термодинамические свойства газов. – М.: Энергия, 1973. – 288 с.
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://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://www.msuee.ru/htm12/med_gird/3_4.html)

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

[http://www.energsoft.info/new\\_knidi.html](http://www.energsoft.info/new_knidi.html)

[http://www.fptl.ru/Chem%20block\\_spravo4nik.html](http://www.fptl.ru/Chem%20block_spravo4nik.html)

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

## 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническим обеспечением являются лекционная аудитория (47 ауд. – 4 к.), оборудованная современными техническими средствами предъявления информации (компьютер, проектор), компьютерный класс (48 ауд. – 4 к.) для выполнения практических работ, а также лаборатория по термодинамике (27 ауд. – 4 к.), оснащенная современным оборудованием.

Программа составлена на основе Стандарта ООП ТПУ в соответствии с требованиями ФГОС по направлению ООП **140100 Теплоэнергетика и теплотехника** и профилю подготовки: **Тепловые электрические станции. Промышленная теплоэнергетика, Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике.**

Программа одобрена на заседании кафедры Теоретической и промышленной теплотехники

(протокол № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.).

Автор \_\_\_\_\_ Борисов Б.В.

Рецензенты: \_\_\_\_\_ Логинов В.С.

\_\_\_\_\_ Медведев Г.Г.