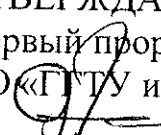


Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П.О. Сухого»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор  
УО «ГГТУ им. П.О. Сухого»

  
О.Д. Аесенчик

« 01 » 07 2014

Регистрационный № УДг-147-8/р.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной  
дисциплине для специальностей:

1–43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»

1–43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций»

Факультет	Энергетический		
Кафедра	Промышленная теплоэнергетика и экология		
Курс	2		
Семестр	3, 4		
Лекции	77	Экзамен	3, 4
Практические (семинарские) занятия для специальности 1–43 01 05	34	Зачет	–
1–43 01 07	51		
Лабораторные занятия	51	Курсовая работа (для спец. 1–43 01 05)	4
Всего аудиторных часов по дисциплине для специальности 1–43 01 05	170		
1–43 01 07	187		
Самостоятельная работа	8		
Всего часов по дисциплине для специальности 1–43 01 05	320	Форма получения высшего образования	дневная
1–43 01 07	394		

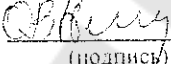
Составили: М.Н. Новиков, к.т.н., доцент,  
Д.С. Трошев, старший преподаватель  
А.А. Нижников, ассистент.

КОНТРОЛЬНЫЙ ЭКЗЕМПЛЯР

Учебная программа составлена на основе учебной программы дисциплины  
«Техническая термодинамика», 12.06.2014 Рег. № УД-836 /уч.  
(дата утверждения, регистрационный номер)

Рассмотрена и рекомендована к утверждению кафедрой  
Промышленная теплоэнергетика и экология  
(название кафедры)

10. 06. 2014 № 10  
(дата, номер протокола)

Заведующий кафедрой  
 А.В. Овсянник  
(подпись)

Одобрена и рекомендована к утверждению Научно-методическим советом  
энергетического факультета

27. 06. 2014 № 9  
(дата, номер протокола)

Председатель  
 М.Н. Новиков  
(подпись)

## 1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа «Техническая термодинамика» разработана в соответствии с ОСВО 1-43 01 05 - 2013 специальности 1-43 01 05 Промышленная теплоэнергетика и ОСВО 1 – 43 01 07 специальности 1 – 43 01 07 Техническая эксплуатация энергооборудования организаций. Она предусматривает изучение фундаментальных законов осуществления тепловых процессов, связанных с деятельностью теплоэнергетического и теплотехнологического оборудования.

Цель учебной дисциплины – сформировать у студентов основную терминологию специальности, дать студентам знания о фундаментальных законах осуществления тепловых процессов, термодинамических методах анализа закрытых и открытых систем преобразования энергии и систем преобразования вещества, выработать практические навыки определения энергетических характеристик процессов, имеющих место в вышеперечисленных системах с реальными и идеально-газовыми рабочими телами и теплоносителями постоянного и переменного состава, познакомить студентов с законами термодинамики и их применением к практическим инженерным задачам, методами исследования тепловых процессов, подготовить студентов для изучения специальных дисциплин теплоэнергетических и других смежных специальностей.

Для изучения учебной дисциплины «Техническая термодинамика» необходимы знания в области физики, высшей математики, гидрогазодинамики, химии. В свою очередь, знания в области технической термодинамики используются далее при изучении всех прикладных теплотехнических дисциплин, при выполнении курсового и дипломного проектирования.

В результате освоения курса «Техническая термодинамика» студент должен

знать:

- основные законы, положения всех составных разделов дисциплины;
- свойства и процессы идеального и реального газов, смесей идеальных газов, влагосодержащих смесей;
- принципиальные схемы основных систем преобразования энергии и их термодинамические циклы.

уметь:

- рассчитывать свойства веществ по диаграммам, таблицам и расчетным зависимостям;
- классифицировать процессы, протекающие в различных технических устройствах, изображать процессы, производить их расчет и анализ в термодинамических диаграммах;
- составлять материальный, энергетический и эксергетический балансы технических систем и находить абсолютные и относительные энергетические и эксергетические характеристики технических систем преобразования энергии и вещества.

владеть:

- основными методами термодинамического анализа технических систем преобразования энергии и преобразования вещества;

- методиками определения абсолютных и относительных энергетических характеристик технических систем преобразования энергии и вещества;
- методиками определения степени термодинамического совершенства теоретических и действительных циклов и процессов энергетических установок;
- методикой составления материальных и энергетических балансов технических систем.

В результате изучения учебной дисциплины «Техническая термодинамика» у студентов должны сформироваться следующие академические, социально-личностные и профессиональные компетенции: уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач; владеть системным и сравнительным анализом; владеть исследовательскими навыками; уметь работать самостоятельно; быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью); владеть междисциплинарным подходом при решении проблем; иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером; обладать навыками устной и письменной коммуникации; уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни; обладать способностью к межличностным коммуникациям; уметь работать в команде; осуществлять современными инструментальными системами диагностирование и мониторинг состояния энергетического и энерготехнологического оборудования, включая экологические параметры; используя показания технологического процесса производства, передачи, распределения и потребления тепловой энергии, создавать условия для соответствия режимов действующим стандартам, правилам и нормам; выявлять причины повреждений элементов энергетического и энерготехнологического оборудования, вести их учет, разрабатывать предложения по их предупреждению; на основе анализа показателей режимов, параметров схемы и технологического состояния оборудования выявлять причины неоптимальности технологического процесса производства, распределения и потребления тепловой энергии и разрабатывать пути их устранения; в составе группы специалистов осуществлять выбор оптимальных режимов эксплуатации энергетических объектов (систем) для повышения технико-экономических показателей режимов их работы; составлять энергетические балансы энергетических и технологических объектов и систем, определять потери топливно-энергетических ресурсов; разрабатывать организационные и технические мероприятия по повышению энергетической эффективности теплотехнологий; разрабатывать пути снижения потерь топливно-энергетических ресурсов.

Количество часов по дисциплине:

- для специальности 1– 43 01 05: лекции 77 ч, практические занятия 34 ч, лабораторные занятия 51 ч, самостоятельная работа 8 ч;
- для специальности 1– 43 01 07: лекции 77 ч, практические занятия 51 ч, лабораторные занятия 51 ч, самостоятельная работа 8 ч.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### 2.1. Темы лекций и их содержание

№ п/п	Наименование темы	Кол-во часов
<b>3 СЕМЕСТР</b>		
<b>МОДУЛЬ 1. ТЕРМОДИНАМИКА ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА.</b>		
2.1.1.	<p><b>ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕРМОДИНАМИКИ.</b> Техническая термодинамики - как теоретическая база специальных теплотехнических дисциплин. Термодинамическая система и окружающая среда. Равновесные и неравновесные состояния и процессы. Параметры состояния. Уравнение состояния.</p>	2
2.1.2.	<p><b>ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ.</b> Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия и энтальпия. Теплота и работа. Работа изменения объема. Техническая работа. Аналитические выражения и формулировки I-го закона термодинамики. Теплота трения. Уравнение I-го закона термодинамики для стационарного потока массы. Располагаемая работа потока. Определение технической работы в потоке и подводимой теплоты. Диссипация энергии. Значение I-го закона термодинамики.</p>	4
2.1.3.	<p><b>ТЕРМОДИНАМИКА ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА. СВОЙСТВА И ПРОЦЕССЫ.</b> Уравнение состояния Клапейрона-Менделеева. Теплоемкость идеального газа <math>C_v</math>, <math>C_p</math>. Термодинамические таблицы и диаграммы. Основные термодинамические процессы идеальных газов. Анализ политропных процессов. Расчет параметров состояния и энергетических характеристик процессов.</p>	4
2.1.4.	<p><b>ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ.</b> Формулировки II-го закона термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Теорема Гюи-Столды. Термодинамические циклы. Прямой и обратный циклы Карно. Теорема Карно. Термодинамические процессы и циклы в T-S и h-S диаграммах. Эквивалентный цикл Карно. Регенеративные циклы и обобщенный цикл Карно. Аналитическое выражение II-го закона термодинамики. Необратимая адиабата. Возрастания энтропии изолированной системы. Эксергия термомеханической системы. Эксергия массы вещества и объеме теплового и адиабатного потока массы. Расчет потерь эксергии. Термодинамическая шкала температур. Абсолютный нуль температур. Границы применимости II-го Закона термодинамики.</p>	6

2.1.5.	<p><b>ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИКИ. ТРЕТИЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ.</b></p> <p>Характеристические функции. Химический потенциал. Общие условия термодинамического равновесия. Условия фазового равновесия. Основные дифференциальные уравнения термодинамики. Соотношения Максвелла. Формулировки и аналитическое выражение III-го начала термодинамики. Абсолютное значение энтропии.</p>	4
Итого по модулю 1:		20
<b>МОДУЛЬ 2. ТЕРМОДИНАМИКА РЕАЛЬНОГО ГАЗА.</b>		
2.1.6..	<p><b>ТЕРМОДИНАМИКА РЕАЛЬНОГО ГАЗА.</b></p> <p>Фазовые переходы. Правило фаз Гиббса. Фазовые диаграммы <math>p</math>-<math>T</math>, <math>p</math>-<math>V</math> и <math>Z</math>-<math>p</math> для стабильных состояний. Кипящая жидкость и сухой насыщенный пар. Критические условия. Влажный пар. Сухость пара. Перегретая жидкость и переохлажденный пар. Теплота фазовых переходов. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Диаграмма <math>h</math>-<math>P</math>, <math>h</math>-<math>T</math>, <math>h</math>-<math>S</math> реальных газов. Теплоемкости <math>C_v</math>, <math>C_p</math> и скорость звука. Вода и водяной пар, аномалии воды. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара. Диаграммы <math>T</math>-<math>S</math> и <math>h</math>-<math>S</math>. Расчет процессов по термодинамическим таблицам и диаграммам. Краткий обзор уравнений состояния реальных газов. Вириальное уравнение состояния. Эмпирические уравнения состояния.</p>	6
2.1.7.	<p><b>ТЕРМОДИНАМИКА СТАЦИОНАРНОГО ПОТОКА.</b></p> <p>Уравнение механической энергии. Потери располагаемой работы и эксергии. Массовый расход, скорость потока и скорость звука. Адиабатное истечение газов и паров. Условия перехода через скорость звука. Процессы адиабатного и изотермического дросселирования. Смешение газов и паров в потоке и при заполнении объема.</p>	4
2.1.8.	<p><b>ТЕРМОДИНАМИКА ГАЗОВЫХ И ПАРОВАТЫХ СМЕСЕЙ.</b></p> <p>Газовые смеси. Способы задания газовых смесей. Смеси идеальных газов. Закон Дальтона. Энтропия смешения. Парогазовые смеси. Влажный воздух. Абсолютная и относительная влажность. Влажностное содержание. Температура точки росы. Энтальпия и энтропия влажного воздуха. Диаграммы <math>h</math>-<math>d</math>, <math>h</math>-<math>S</math> влажного воздуха. Термодинамические процессы с влажным воздухом (нагрев, охлаждение и смешение и т.д.).</p>	4
Итого по модулю 2:		14
Итого за 3 семестр:		34

4 СЕМЕСТР		
МОДУЛЬ 3. ТЕРМОДИНАМИКА ГАЗОВЫХ ЦИКЛОВ.		
2.1.9.	ЦИКЛЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ (ДВС). Общие методы анализа эффективности циклов. Термический КПД, мощность и удельный расход топлива. Сравнение циклов ДВС. Действительный цикл ДВС.	6
2.1.10.	ЦИКЛЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК (ГТУ). Работа компрессора и турбины. Оптимальное распределение давлений по ступеням многоступенчатого компрессора. Необратимое адиабатное сжатие в компрессоре. Термический и эксергетический КПД циклов ГТУ. Замкнутые схемы ГТУ.	4
2.1.11.	ЦИКЛЫ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ Циклы турбокомпрессорных, прямоточных, бескомпрессорных и ракетных с химическим топливом.	4
2.1.12.	ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЕ ЦИКЛЫ ГАЗОВЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК (ХУ). Термодинамические методы увеличения эксергетического КПД и холодопроизводительности.	2
Итого по модулю 3:		16
МОДУЛЬ 4. ТЕРМОДИНАМИКА ПАРОВЫХ ЦИКЛОВ.		
2.1.13.	ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЙ ЦИКЛЫ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК (ПТУ). Влияние начальных и конечных параметров пара на КПД, удельные расходы пара, теплоты и топлива. Промежуточный перегрев пара. Регенеративные циклы ПТУ. Циклы со вторичным перегревом. Схемы регенеративного подогрева с отборами пара. Удельные расходы пара, теплоты и топлива регенеративных ПТУ.	12
2.1.14.	ЦИКЛЫ ПАРОВЫХ ХУ И ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРОВ. Пароэжекторная ХУ (ПЭХУ). Абсорбционная ХУ (АХУ). Одно- и двухступенчатая теплонасосная установка (ТНУ). Термодинамический анализ цикла ТНУ. Применение ТНУ.	8
Итого по модулю 4:		20
МОДУЛЬ 5. ТЕРМОДИНАМИКА КОМБИНИРОВАННЫХ ЦИКЛОВ.		
2.1.15.	КОМБИНИРОВАННЫЕ ЦИКЛЫ И ЦИКЛЫ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ. Образцовые составные и бинарные циклы. Термодинамический анализ паро-паровых, паро-газовых и газо-паровых циклов (изображение в T-S, h-S диаграммах, термический КПД, электрическая мощность установки). Комбинированная выработка электроэнергии и тепла на ТЭЦ. Термодинамические основы теплофикации. Циклы ПТУ с противодавлением и с теплофикационными	7

	отборами пара. Принципиальные схемы атомных ТЭЦ и атомных станций теплоснабжения (АСТ). Сравнение отопительных коэффициентов различных способов теплоснабжения.	
Итого по модулю 5:		7
Итого за 4 семестр:		43
ИТОГО:		77

## 2.2. Практические занятия

Специальность 1– 43 01 05

№ п/п	Содержание занятий	Кол-во часов
<b>3 СЕМЕСТР</b>		
2.2.1.	Параметры состояния.	1
2.2.2.	Первый закон термодинамики.	2
2.2.3.	Процессы идеальных газов.	2
2.2.4.	Второй закон термодинамики.	2
2.2.5.	Термодинамические свойства и процессы водяного пара	4
2.2.6.	Расчет сопл и адиабатного дросселирования.	2
2.2.7.	Термодинамические свойства и процессы газовых и парогазовых смесей.	4
Итого за 3 семестр:		17
<b>4 СЕМЕСТР</b>		
2.2.8.	Газовые циклы и их сравнение (ГТУ и ДВС).	4
2.2.9.	Паровые циклы и их анализ (ТЭС, ТЭЦ).	6
2.2.10.	Циклы ХУ и ТНУ.	4
2.2.11.	Термодинамический анализ парогазовых циклов	3
Итого за 4 семестр:		17
ИТОГО:		34

Специальность 1– 43 01 07

№ п/п	Содержание занятий	Кол-во часов
<b>3 СЕМЕСТР</b>		
2.2.1.	Параметры состояния.	2
2.2.2.	Первый закон термодинамики.	4
2.2.3.	Процессы идеальных газов.	4
2.2.4.	Второй закон термодинамики.	4
2.2.5.	Термодинамические свойства и процессы водяного пара	8
2.2.6.	Расчет сопл и адиабатного дросселирования.	4
2.2.7.	Термодинамические свойства и процессы газовых и парогазовых смесей.	8
Итого за 3 семестр:		34



№ п/п	Содержание занятий	Кол-во часов
<b>4 СЕМЕСТР</b>		
2.2.8.	Газовые циклы и их сравнение (ГТУ и ДВС).	4
2.2.9.	Паровые циклы и их анализ (ТЭС, ТЭЦ).	6
2.2.10.	Циклы ХУ и ТНУ.	4
2.2.11.	Термодинамический анализ парогазовых циклов	3
Итого за 4 семестр:		17
<b>ИТОГО:</b>		<b>51</b>

### 2.3. Лабораторные занятия

№ п/п	Наименование работ	Кол-во часов
<b>3 СЕМЕСТР</b>		
2.3.1.	Вводное занятие.	2
2.3.2.	Методы измерения давления и температуры.	4
2.3.3.	Определение изобарной теплоемкости воздуха.	4
2.3.4.	Исследование процессов идеальных газов (4 части).	10
2.3.5.	Исследование кривой упругости водяного пара при малых давлениях.	6
2.3.6.	Исследование процесса истечения воздуха через суживающее сопло.	4
2.3.7.	Исследование процессов влажного воздуха.	4
Итого за 3 семестр:		34
<b>4 СЕМЕСТР</b>		
2.3.8.	Исследование работы одноступенчатого компрессора.	4
2.3.9.	Исследование работы двигателя внутреннего сгорания.	4
2.3.10.	Исследование цикла парокompрессионной холодильной машины.	4
2.3.11.	Исследование цикла парокompрессионного теплового насоса.	5
Итого за 4 семестр:		17
<b>ИТОГО:</b>		<b>51</b>

### 2.4. Курсовая работа

Специальность 1– 43 01 05

В курсовой работе студенты выполняют расчет и анализ теоретических циклов двигателей внутреннего сгорания, паросиловых установок и парокompрессионных холодильных установок.

В первой части курсовой работы предусматривается выполнение следующего объема работы: дается краткая характеристика тепловых двигателей внутреннего сгорания (ДВС); рассчитываются циклы ДВС; по результатам рас-

четов строятся сравнительные диаграммы  $p-v$  и  $T-S$ , а также выполняется анализ полученных результатов.

При выполнении второй части курсовой работы необходимо: кратко описать схему и цикл ПСУ; построить в  $h-s$  диаграмме теоретический и действительный процессы расширения пара в турбине; рассчитать теоретический и действительный (методом коэффициентов полезного действия и эксергетическим методом) циклы ПСУ.

В третьей части курсовой работы необходимо произвести расчёт простого цикла пароконденсационной холодильной машины (ПКХМ) и теоретического цикла ПКХМ с перегревом всасываемого пара и переохлаждением жидкого хладагента, построить циклы в  $T-s$  и  $p-h$  диаграммах, а также сделать сравнительный анализ рассчитанных циклов.

Объем курсовой работы составляет 30-35 страниц.

Количество часов 40 ч.

## 2.5. Управляемая самостоятельная работа

№ п/п	Тематика управляемой самостоятельной работы	Кол-во часов
4 СЕМЕСТР		
2.5.1	Методы повышения эффективности циклов	2
2.5.2	Тепловой и эксергетический балансы ПТУ.	2
2.5.3	Теоретический и действительный циклы пароконденсационной ХУ	2
2.5.4	Термодинамические методы увеличения эксергетического КПД и холодопроизводительности.	2
Итого за 4 семестр:		8

## 4. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 4.1. Основная литература

1. Вукалович, М. П. Термодинамика: [учеб. пособие для вузов] Новиков И. И. – Москва :Машиностроение, 1972. -670с.
2. Кудинов, В. А. Техническая термодинамика: [учеб. пособие для вузов] Карташов Э. М. –Москва :Высшая школа, 2003. -261с.
3. Хрусталеv, Б.М. Техническая термодинамика: [учебник для строительных и энергетических специальностей вузов]: в 2 ч./ Б.М. Хрусталеv, А.П. Несенчук, В.Н. Романюк.- Минск: Технопринт, 2004 - Ч.1./ Б.М. Хрусталеv. – 2004 . – 486 с.
4. Хрусталеv, Б.М. Техническая термодинамика: [учебник для строительных и энергетических специальностей вузов]: в 2 ч./ Б.М. Хрусталеv, А.П. Несенчук, В.Н. Романюк.- Минск: Технопринт, 2004 - Ч.2./ Б.М. Хрусталеv. – 2005 . – 560 с.
5. Сборник задач по технической термодинамике / Т. Н. Андрианова [и др.]. - 3-е изд.. - Москва : Энергоиздат, 1981 - 240 с
6. Андрианова, Т.Н. Сборник задач по технической термодинамике: [учеб. пособие для вузов] – М. :МЭИ, 2006. -354 с.

### 4.2 Дополнительная литература

1. Бальян , С. В. Техническая термодинамика и тепловые двигатели : учеб. пособие для вузов / С. В. Бальян. - Изд.2-е. - Ленинград : Машиностроение, 1973 - 302 с
2. Нащокин, В. В. Техническая термодинамика и теплопередача: [учеб. пособие для неэнергет. спец. Вузов] –М.:Высшая школа, 1980. -469 с.
3. Рабинович, О.М. Сборник задач по технической термодинамике: [учеб. пособие для техникумов] –М. :Машиностроение, 1969. -376с.
4. Сычев, В. В. Дифференциальные уравнения термодинамики: [учеб. пособие для теплоэнерг. и теплофиз. спец. Вузов] –М. :Высш. школа, 1991. -224 с.
5. Техническая термодинамика: [учебник для машиностр. спец. вузов] – М. :Высшая школа, 1991. -382с.

### 4.3. Учебно-методические комплексы

1. Овсянник , А. В. Техническая термодинамика : электронный учебно-методический комплекс дисциплины / А. В. Овсянник, М. Н. Новиков, Е. Н. Волкова. - Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2011

### 3.4 Перечень компьютерных программ, наглядных и других пособий, методических указаний и материалов и технических средств обучения

1. Методические указания "Техническая термодинамика" к контрольной работе для студентов специальности 1-43 01 05 "Промышленная теплоэнергетика" заочной формы обучения / М. Н. Новиков, В. Л. Лиходиевский, Д. А. Дробышевский; кафедра "Промышленная теплоэнергетика и экология". - Гомель : ГГТУ, 2006 - 31 с.

2. Пособие "Техническая термодинамика" по выполнению курсовой работы для студентов специальности 1-43 01 05 "Промышленная теплоэнергетика" / М. Н. Новиков, А. В. Овсяник, Д. А. Дробышевский ; кафедра "Промышленная теплоэнергетика и экология". - Гомель : ГГТУ, 2006 - 28 с.

3. Практическое руководство "Техническая термодинамика" к контрольной работе по одноименному курсу для студентов заочного отделения спец. Т. 01. 02. 00 "Теплоэнергетика" / В. Л. Лиходиевский, Д. А. Дробышевский, Н. А. Вальченко; кафедра "Промышленная теплоэнергетика и экология". - Гомель : ГГТУ, 2005 - 25 с.

4. Техническая термодинамика: лабораторный практикум по одноименному курсу для студентов специальностей 1-43 01 05 "Промышленная теплоэнергетика" и 1-43 01 07 "Техническая эксплуатация энергооборудования организаций" дневной и заочной форм обучения / А. В. Овсяник, М. Н. Новиков, Е. Н. Волкова; Министерство образования Республики Беларусь, Учреждение образования "Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого", Кафедра "Промышленная теплоэнергетика и экология". - Гомель : ГГТУ, 2011 - 68 с.

5. Курс дисциплины Техническая термодинамика на учебном портале университета. Режим доступа <http://www.edu.gstu.by/course/view.php?id=694>

*Список литературы сверен М (Литова Ч.В.)*

### 3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ (спец. 1– 43 01 05)

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов			Материальное обеспечение занятия	Литература	Форма контроля знаний
		лекции	практические занятия	лабораторные занятия			
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>3 СЕМЕСТР</b>							
<b>МОДУЛЬ 1. ТЕРМОДИНАМИКА ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА.</b>							
1.	Основные понятия термодинамики (9 ч.)	2	1	6			
1.1.	1. Техническая термодинамика - как теоретическая база специальных теплотехнических дисциплин. 2. Термодинамическая система и окружающая среда. 3. Равновесные и неравновесные состояния и процессы. 4. Параметры состояния. Уравнение состояния.	2				[1,3]	Тестирование
1.2.	Определение и конвертирование параметров состояния.		1			[15, 17]	Контрольная работа
1.3.	Вводное занятие (знакомство с лабораторией «Технической термодинамики»).			2		[16, 17]	
1.4.	Методы измерения давления и температуры.			4	Лабораторн. стенды	[16, 17]	Защита отчета по л/р
2.	Первый закон термодинамики (6 ч.).	4	2				
2.1.	1. Внутренняя энергия и энтальпия. Теплота и работа. 2. Аналитические выражения и формулировки 1-го закона термодинамики.	4				[1,2]	Тестирование

1	2	3	4	5	6	7	8
	3. Уравнение 1-го закона термодинамики для стационарного потока массы. 4. Значение 1-го закона термодинамики.	4					
2.2.	1. Теплота и работа как формы взаимного превращения энергии. 2. Располагаемая работа потока. 3. Определение технической работы и подводимой теплоты в потоке.		2			[16, 17]	Контрольная работа
3.	Термодинамика идеального газа. Свойства и процессы (20 ч.).	4	2	14			
3.1.	1. Уравнение состояния Клапейрона-Менделеева. 2. Теплоемкость идеального газа $C_v$ , $C_p$ . 3. Термодинамические таблицы и диаграммы. 4. Основные термодинамические процессы идеальных газов. Анализ политропных процессов.	4				[2,3]	Тестирование
3.2.	1. Расчет параметров состояния и энергетических характеристик процессов идеального газа.		2			[15, 17]	Контрольная работа
3.3.	Определение изобарной теплоемкости воздуха.			4	Лабораторн. стенд	[16, 17]	Защита отчета по л/р
3.4.	Исследование процессов идеальных газов (4 части).			10	Лабораторн. стенд	[16, 17]	Защита отчета по л/р
4.	Второй закон термодинамики (8 ч.).	6	2				
4.1.	1. Формулировки II-го закона термодинамики. Границы применимости II-го закона термодинамики. 2. Обратимые и необратимые процессы. Необратимая адиабата. Возрастания энтропии изолиров. системы.	6				[1,2]	Тестирование

1	2	3	4	5	7	8	9
	3. Термодинамические циклы. Прямой и обратный циклы Карно. Теорема Карно. Эквивалентный цикл Карно. 4. Аналитическое выражение II-го закона термодинамики. 5. Эксергия термомеханической системы. Эксергия массы вещества и объеме теплового и адиабатного потока массы. Расчет потерь эксергии. 6. Термодинамическая шкала температур. Абсолютный нуль температур.	8					
4.2.	Расчет потерь эксергии с использованием термодинамических таблиц, T-s и h-s диаграмм.		2			[15, 17]	Контрольная работа
5.	Характеристические функции и дифференциальные уравнения термодинамики. Третий закон термодинамики (4 ч.).	4					
5.1.	1. Характеристические функции. Химический потенциал. 2. Общие условия термодинамического равновесия. Условия фазового равновесия. 3. Основные дифуравнения термодинамики. Соотношения Максвелла. 4. Формулировки и аналитическое выражение III-го начала термодинамики. Абсолютное значение энтропии.	4				[1,2, 3]	Тестирование
Итого по модулю 1:		20	7	20			
<b>МОДУЛЬ 2. ТЕРМОДИНАМИКА РЕАЛЬНОГО ГАЗА.</b>							
6.	Термодинамика реального газа (16 ч.).	6	4	6			
6.1.	1. Фазовые переходы. Правило фаз Гиббса. Фазовые диаграммы. 2. Кипящая жидкость и сухой насыщенный пар. Критические условия. Влажный пар. Сухость пара. Перегретая жидкость и переохлажденный пар.	6				[1,2, 3]	Тестирование

1	2	3	4	5	7	8	9
	<p>3. Теплота фазовых переходов. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Диаграмма <math>h</math>-<math>P</math>, <math>h</math>-<math>T</math>, <math>h</math>-<math>S</math> реальных газов. Теплоемкости <math>C_v</math>, <math>C_p</math> и скорость звука.</p> <p>4. Вода и водяной пар, аномалии воды. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара. Диаграммы <math>T</math>-<math>S</math> и <math>h</math>-<math>S</math>. Расчет процессов по термодинамическим таблицам и диаграммам.</p> <p>5. Краткий обзор уравнений состояния реальных газов. Вириальное уравнение состояния. Эмпирические уравнения состояния.</p>						
6.2.	Термодинамические свойства и процессы водяного пара.		4			[15, 17]	Контрольная работа
6.3.	Исследование кривой упругости водяного пара при малых давлениях.			6	Лабораторн. стенд	[16, 17]	Защита отчета по л/р
7.	Термодинамика стационарного потока (10 ч.).	4	2	4			
7.1.	<p>1. Уравнение механической энергии. Потери располагаемой работы и эксергии. Массовый расход, скорость потока и скорость звука.</p> <p>2. Адиабатное истечение газов и паров. Условия перехода через скорость звука. Процессы адиабатного и изотермического дросселирования.</p> <p>3. Смещение газов и паров в потоке и при заполнении объема.</p>	4				[3,5]	Тестирование
7.2.	Расчет сопел и адиабатного дросселирования.		2				Контрольная работа
7.3.	Исследование процесса истечения воздуха через суживающее сопло.			4	Лабораторн. стенд	[16, 17]	Защита отчета по л/р



1	2	3	4	5	7	8	9
8.	Термодинамика газовых и парогазовых смесей (12 ч.).	4	4	4			
8.1.	1. Газовые смеси. Способы задания газовых смесей. Смеси идеальных газов. Закон Дальтона. Энтропия смешения. 2. Парогазовые смеси. Влажный воздух. Абсолютная и относительная влажность. Влагосодержание. Температура точки росы. Энтальпия и энтропия влажного воздуха. Диаграммы $h-d$ , $h-S$ влажного воздуха. Термодинамические процессы с влажным воздухом (нагрев, охлаждение и смешение и т.д.).	4				[3,5]	Тестирование
8.2.	Термодинамические свойства и процессы газовых и парогазовых смесей.		4			[15, 17]	Контрольная работа
8.3.	Исследование процессов влажного воздуха.			4	Лабораторн. стенд	[16, 17]	Защита отчета по л/р
Итого по модулю 2:		14	10	14			
Итого за 3 семестр:		34	17	34			
<b>4 СЕМЕСТР</b>							
<b>МОДУЛЬ 3. ТЕРМОДИНАМИКА ГАЗОВЫХ ЦИКЛОВ.</b>							
9.	Термодинамика газовых циклов (28 ч.)	16	4	8			
9.1.	1. Общие методы анализа эффективности циклов. Циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Термический КПД, мощность и удельный расход топлива. Сравнение циклов ДВС. Действительный цикл ДВС	6				[1,5]	Тестирование
9.2.	2. Циклы газотурбинных установок (ГТУ). Работа компрессора и турбины. Оптимальное распределение давлений по ступеням многоступенчатого компрессора. Необратимое адиабатное сжатие в компрессоре. Термический и эксергетический КПД циклов ГТУ. Замкнутые схемы ГТУ.	4				[1,5]	Тестирование

1	2	3	4	5	7	8	9
9.3.	3. Циклы реактивных двигателей (турбокомпрессорных, прямоточных, бескомпрессорных и ракетных с химическим топливом)	4				[1,5]	Тестирование
9.4.	4. Теоретические и действительные циклы газовых холодильных установок (ХУ). Термодинамические методы увеличения эксергетического КПД и холодопроизводительности	2				[1,5]	Тестирование
9.5.	Расчет и построение в p-v и T-s диаграммах газовых циклов (ГТУ и ДВС). Сравнение циклов ДВС		4			[15, 17]	Контрольная работа
9.6.	Исследование работы одноступенчатого компрессора			4	Лабораторн. стенд	[16, 17]	Защита отчета по л/р
9.7.	Исследование работы двигателя внутреннего сгорания			4	Лабораторн. стенд	[16, 17]	Защита отчета по л/р
Итого по модулю 3:		16	4	8			
<b>МОДУЛЬ 4. ТЕРМОДИНАМИКА ПАРОВЫХ ЦИКЛОВ.</b>							
10.	Термодинамика паровых циклов (39 ч.)	20	10	9			
10.1.	1. Теоретический и действительный циклы паротурбинных установок (ПТУ). Влияние начальных и конечных параметров пара на КПД, удельные расходы пара, теплоты и топлива. Промежуточный перегрев пара. 2. Регенеративные циклы ПТУ. Схемы регенеративного подогрева с отборами пара. Удельные расходы пара, теплоты и топлива регенеративных ПТУ.	12				[1,4]	Тестирование
10.2.	1. Циклы паровых ХУ и термотрансформаторов. Пароэжекторная ХУ (ПЭХУ). Абсорбционная ХУ (АХУ) 2. Одно- и двухступенчатая теплонасосная установка (ТНУ). Термодинамический анализ цикла ТНУ. Применение ТНУ.	8				[1,4]	Тестирование

1	2	3	4	5	7	8	9
10.3.	Расчет и построение в h-s и T-s диаграммах паровых циклов (ГЭС, ТЭЦ). Эксергетический анализ цикла ПСУ		6			[15, 17]	Контрольная работа
10.4.	Расчет и построение в $lnp$ -h и T-s диаграммах паровых циклов (ХУ и ТНУ). Сравнение циклов ХУ.		4			[15, 17]	Контрольная работа
10.5.	Исследование цикла парокомпрессионной холодильной машины.			4	Лабораторн. стенд	[16, 17]	Защита отчета по л/р
10.6.	Исследование цикла парокомпрессионного теплового насоса.			5	Лабораторн. стенд	[16, 17]	Защита отчета по л/р
Итого по модулю 4:		20	10	9			
<b>МОДУЛЬ 5. ТЕРМОДИНАМИКА КОМБИНИРОВАННЫХ ЦИКЛОВ.</b>							
11.	Комбинированные циклы и циклы атомных электростанций (10 ч.).	7					
11.1.	1. Образцовые составные и бинарные циклы. Термодинамический анализ паро-паровых, паро-газовых и газо-паровых циклов. 2. Комбинированная выработка электроэнергии и тепла на ТЭЦ. Термодинамические основы теплофикации. Циклы ПТУ с противодавлением и с теплофикационными отборами пара. 3. Принципиальные схемы атомных ТЭЦ и атомных станций теплоснабжения (АСТ). Сравнение отопительных коэффициентов различных способов теплоснабжения.	7				[1,2, 4]	Тестирование
11.2	Термодинамический анализ парогазовых циклов		3				
Итого по модулю 5:		7	3				
Итого за 4 семестр:		43	17	17			
ВСЕГО:		77	34	51			

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ (спец. 1– 43 01 07)

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов			Материальное обеспечение занятия	Литература	Форма контроля знаний
		лекции	практические занятия	лабораторные занятия			
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>3 СЕМЕСТР</b>							
<b>МОДУЛЬ 1. ТЕРМОДИНАМИКА ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА.</b>							
1.	Основные понятия термодинамики (10 ч.)	2	2	6			
1.1.	1. Техническая термодинамика - как теоретическая база специальных теплотехнических дисциплин. 2. Термодинамическая система и окружающая среда. 3. Равновесные и неравновесные состояния и процессы. 4. Параметры состояния. Уравнение состояния.	2				[1,3]	Тестирование
1.2.	Определение и конвертирование параметров состояния.		2			[15, 17]	Контрольная работа
1.3.	Вводное занятие (знакомство с лабораторией «Технической термодинамики»).			2		[16, 17]	
1.4.	Методы измерения давления и температуры.			4	Лабораторн. стенды	[16, 17]	Защита отчета по л/р
2.	Первый закон термодинамики (8 ч.).	4	4				
2.1.	1. Внутренняя энергия и энтальпия. Теплота и работа. 2. Аналитические выражения и формулировки 1-го закона термодинамики.	4				[1,2]	Тестирование

1	2	3	4	5	6	7	8
	3. Уравнение 1-го закона термодинамики для стационарного потока массы. 4. Значение 1-го закона термодинамики.	4					
2.2.	1. Теплота и работа как формы взаимного превращения энергии. 2. Располагаемая работа потока. 3. Определение технической работы и подводимой теплоты в потоке.		4			[16, 17]	Контрольная работа
3.	Термодинамика идеального газа. Свойства и процессы (22 ч.).	4	4	14			
3.1.	1. Уравнение состояния Клапейрона-Менделеева. 2. Теплоемкость идеального газа $C_v$ , $C_p$ . 3. Термодинамические таблицы и диаграммы. 4. Основные термодинамические процессы идеальных газов. Анализ политропных процессов.	4				[2,3]	Тестирование
3.2.	1. Расчет параметров состояния и энергетических характеристик процессов идеального газа.		4			[15, 17]	Контрольная работа
3.3.	Определение изобарной теплоемкости воздуха.			4	Лабораторн. стенд	[16, 17]	Защита отчета по л/р
3.4.	Исследование процессов идеальных газов (4 части).			10	Лабораторн. стенд	[16, 17]	Защита отчета по л/р
4.	Второй закон термодинамики (10 ч.).	6	4				
4.1.	1. Формулировки II-го закона термодинамики. Границы применимости II-го закона термодинамики. 2. Обратимые и необратимые процессы. Необратимая адиабата. Возрастания энтропии изолиров. системы.	6				[1,2]	Тестирование

1	2	3	4	5	7	8	9
	3. Термодинамические циклы. Прямой и обратный циклы Карно. Теорема Карно. Эквивалентный цикл Карно. 4. Аналитическое выражение II-го закона термодинамики. 5. Эксергия термомеханической системы. Эксергия массы вещества и объеме теплового и адиабатного потока массы. Расчет потерь эксергии. 6. Термодинамическая шкала температур. Абсолютный нуль температур.	8					
4.2.	Расчет потерь эксергии с использованием термодинамических таблиц, T-s и h-s диаграмм.		4			[15, 17]	Контрольная работа
5.	Характеристические функции и дифференциальные уравнения термодинамики. Третий закон термодинамики (4 ч.).	4					
5.1.	1. Характеристические функции. Химический потенциал. 2. Общие условия термодинамического равновесия. Условия фазового равновесия. 3. Основные дифуравнения термодинамики. Соотношения Максвелла. 4. Формулировки и аналитическое выражение III-го начала термодинамики. Абсолютное значение энтропии.	4				[1,2, 3]	Тестирование
Итого по модулю 1:		20	14	20			
<b>МОДУЛЬ 2. ТЕРМОДИНАМИКА РЕАЛЬНОГО ГАЗА.</b>							
6.	Термодинамика реального газа (20 ч.).	6	8	6			
6.1.	1. Фазовые переходы. Правило фаз Гиббса. Фазовые диаграммы. 2. Кипящая жидкость и сухой насыщенный пар. Критические условия. Влажный пар. Сухость пара. Перегретая жидкость и переохлажденный пар.	6				[1,2, 3]	Тестирование

1	2	3	4	5	7	8	9
	<p>3. Теплота фазовых переходов. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Диаграмма <math>h</math>-<math>P</math>, <math>h</math>-<math>T</math>, <math>h</math>-<math>S</math> реальных газов. Теплоемкости <math>C_v</math>, <math>C_p</math> и скорость звука.</p> <p>4. Вода и водяной пар, аномалии воды. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара. Диаграммы <math>T</math>-<math>S</math> и <math>h</math>-<math>S</math>. Расчет процессов по термодинамическим таблицам и диаграммам.</p> <p>5. Краткий обзор уравнений состояния реальных газов. Вириальное уравнение состояния. Эмпирические уравнения состояния.</p>						
6.2.	Термодинамические свойства и процессы водяного пара.		8			[15, 17]	Контрольная работа
6.3.	Исследование кривой упругости водяного пара при малых давлениях.			6	Лабораторн. стенд	[16, 17]	Защита отчета по л/р
7.	Термодинамика стационарного потока (12 ч.).	4	4	4			
7.1.	<p>1. Уравнение механической энергии. Потери располагаемой работы и эксергии. Массовый расход, скорость потока и скорость звука.</p> <p>2. Адиабатное истечение газов и паров. Условия перехода через скорость звука. Процессы адиабатного и изотермического дросселирования.</p> <p>3. Смещение газов и паров в потоке и при заполнении объема.</p>	4				[3,5]	Тестирование
7.2.	Расчет сопел и адиабатного дросселирования.		4				Контрольная работа
7.3.	Исследование процесса истечения воздуха через суживающее сопло.			4	Лабораторн. стенд	[16, 17]	Защита отчета по л/р

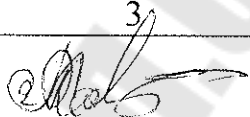
1	2	3	4	5	7	8	9
8.	Термодинамика газовых и парогазовых смесей (16 ч.).	4	8	4			
8.1.	1. Газовые смеси. Способы задания газовых смесей. Смеси идеальных газов. Закон Дальтона. Энтропия смешения. 2. Парогазовые смеси. Влажный воздух. Абсолютная и относительная влажность. Влагосодержание. Температура точки росы. Энтальпия и энтропия влажного воздуха. Диаграммы h-d, h-S влажного воздуха. Термодинамические процессы с влажным воздухом (нагрев, охлаждение и смешение и т.д.).	4				[3,5]	Тестирование
8.2.	Термодинамические свойства и процессы газовых и парогазовых смесей.		8			[15, 17]	Контрольная работа
8.3.	Исследование процессов влажного воздуха.			4	Лабораторн. стенд	[16, 17]	Защита отчета по л/р
Итого по модулю 2:		14	20	14			
Итого за 3 семестр:		34	34	34			
4 СЕМЕСТР							
МОДУЛЬ 3. ТЕРМОДИНАМИКА ГАЗОВЫХ ЦИКЛОВ.							
9.	Термодинамика газовых циклов (28 ч.)	16	4	8			
9.1.	1. Общие методы анализа эффективности циклов. Циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Термический КПД, мощность и удельный расход топлива. Сравнение циклов ДВС. Действительный цикл ДВС	6				[1,5]	Тестирование
9.2.	2. Циклы газотурбинных установок (ГТУ). Работа компрессора и турбины. Оптимальное распределение давлений по ступеням многоступенчатого компрессора. Необратимое адиабатное сжатие в компрессоре. Термический и эксергетический КПД циклов ГТУ. Замкнутые схемы ГТУ.	4				[1,5]	Тестирование



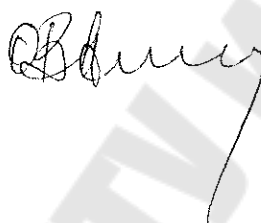
1	2	3	4	5	7	8	9
9.3.	3. Циклы реактивных двигателей (турбокомпрессорных, прямоточных, бескомпрессорных и ракетных с химическим топливом)	4				[1,5]	Тестирование
9.4.	4. Теоретические и действительные циклы газовых холодильных установок (ХУ). Термодинамические методы увеличения эксергетического КПД и холодопроизводительности	2				[1,5]	Тестирование
9.5.	Расчет и построение в p-v и T-s диаграммах газовых циклов (ГТУ и ДВС). Сравнение циклов ДВС		4			[15, 17]	Контрольная работа
9.6.	Исследование работы одноступенчатого компрессора			4	Лабораторн. стенд	[16, 17]	Защита отчета по л/р
9.7.	Исследование работы двигателя внутреннего сгорания			4	Лабораторн. стенд	[16, 17]	Защита отчета по л/р
Итого по модулю 3:		16	4	8			
<b>МОДУЛЬ 4. ТЕРМОДИНАМИКА ПАРОВЫХ ЦИКЛОВ.</b>							
10.	Термодинамика паровых циклов (39 ч.)	20	10	9			
10.1.	1. Теоретический и действительный циклы паротурбинных установок (ПТУ). Влияние начальных и конечных параметров пара на КПД, удельные расходы пара, теплоты и топлива. Промежуточный перегрев пара. 2. Регенеративные циклы ПТУ. Схемы регенеративного подогрева с отборами пара. Удельные расходы пара, теплоты и топлива регенеративных ПТУ.	12				[1,4]	Тестирование
10.2.	1. Циклы паровых ХУ и термотрансформаторов. Пароэжекторная ХУ (ПЭХУ). Абсорбционная ХУ (АХУ) 2. Одно- и двухступенчатая теплонасосная установка (ТНУ). Термодинамический анализ цикла ТНУ. Применение ТНУ.	8				[1,4]	Тестирование

1	2	3	4	5	7	8	9
10.3.	Расчет и построение в h-s и T-s диаграммах паровых циклов (ТЭС, ТЭЦ). Эксергетический анализ цикла ПСУ		6			[15, 17]	Контрольная работа
10.4.	Расчет и построение в $lnp$ -h и T-s диаграммах паровых циклов (ХУ и ТНУ). Сравнение циклов ХУ.		4			[15, 17]	Контрольная работа
10.5.	Исследование цикла парокомпрессионной холодильной машины.			4	Лабораторн. стенд	[16, 17]	Защита отчета по л/р
10.6.	Исследование цикла парокомпрессионного теплового насоса.			5	Лабораторн. стенд	[16, 17]	Защита отчета по л/р
Итого по модулю 4:		20	10	9			
<b>МОДУЛЬ 5. ТЕРМОДИНАМИКА КОМБИНИРОВАННЫХ ЦИКЛОВ.</b>							
11.	Комбинированные циклы и циклы атомных электростанций (10 ч.).	7					
11.1.	1. Образцовые составные и бинарные циклы. Термодинамический анализ паро-паровых, паро-газовых и газо-паровых циклов. 2. Комбинированная выработка электроэнергии и тепла на ТЭЦ. Термодинамические основы теплофикации. Циклы ПГУ с противодавлением и с теплофикационными отборами пара. 3. Принципиальные схемы атомных ТЭЦ и атомных станций теплоснабжения (АСТ). Сравнение отопительных коэффициентов различных способов теплоснабжения.	7				[1,2, 4]	Тестирование
11.2	Термодинамический анализ парогазовых циклов		3				
Итого по модулю 5:		7	3				
Итого за 4 семестр:		43	17	17			
ВСЕГО:		77	51	51			

## 5. Протокол согласования учебной программы

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1	2	3	4
«Физика»	«Физика»		

Заведующий кафедрой  
к.т.н., доцент



А.В. Овсянник