

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

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор ГГТУ им. П.О.Сухого

\_\_\_\_\_ О.Д. Асенчик

28.06.2019

Регистрационный № УД- 52-32/уч.

## 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»

2019 г.

Учебная программа составлена на основе:  
образовательных стандартов ОСВО 1–43 01 05-2013 и ОСВО 1-43 01 07-2018;  
учебных планов учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»:  
специальности 1–43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» специализации 1-43 01 05 02 «Теплоэнергетические установки и системы теплоснабжения» № I 43-1-12/уч. от 21.05.2018, № I 43-1-14/уч. от 21.05.2018;  
специальности 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» № I 43-1-08/уч. от 06.02.2019, № I 43-1-27/уч. от 06.02.2019.

#### СОСТАВИТЕЛИ:

М.Н. Новиков, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и экология» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», кандидат технических наук, доцент;  
В.В. Киселевич, старший преподаватель кафедры «Промышленная теплоэнергетика и экология» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого».

#### РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Т.В. Алферова, доцент кафедры «Электроснабжение» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», кандидат технических наук, доцент;  
Г.И. Стрельский, начальник Западного района тепловых сетей филиала «Гомельские тепловые сети» РУП «Гомельэнерго».

#### РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой «Промышленная теплоэнергетика и экология» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»  
(протокол № 21 от 30.04.2019); УД-УП-2-0082  
Научно-методическим советом энергетического факультета учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»  
(протокол № 10 от 25.06.2019);  
Научно-методическим советом заочного факультета учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»  
(протокол № 5 от 06.06.2019); УДз-102-2у  
Научно-методическим советом учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»  
(протокол № 26.06.2019).

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Курс «Техническая термодинамика» относится к общетехническим дисциплинам, закладывающим основы профессиональной подготовки специалистов, работающих в области теплоэнергетики. Учебная программа дисциплины предусматривает изучение фундаментальных законов тепловых процессов, протекающих при работе теплоэнергетического и теплотехнологического оборудования.

Цели и задачи учебной дисциплины.

Целью изучения дисциплины «Техническая термодинамика» является формирование у студентов навыков и знаний, необходимых для изучения специализированных теплотехнических дисциплин.

Задачами изучения дисциплины являются:

- освоение студентами основной терминологии специальности;
- изучение фундаментальных термодинамических законов и их приложений к практическим задачам;
- овладение термодинамическими методами анализа закрытых и открытых систем преобразования энергии и вещества, методами исследования тепловых процессов;
- выработка практических навыков определения энергетических характеристик процессов, имеющих место в вышеперечисленных системах с реальными и идеально-газовыми рабочими телами и теплоносителями постоянного и переменного состава.

Связи с другими учебными дисциплинами.

«Техническая термодинамика» является компонентом учреждения высшего образования в цикле общепрофессиональных дисциплин. Для изучения данной дисциплины необходимо знание таких предметов, как «Высшая математика», «Физика», «Гидрогазодинамика». В свою очередь, знания, полученные при изучении технической термодинамики, применяются в процессе изучения всех прикладных теплотехнических дисциплин, при выполнении курсового и дипломного проектирования.

Требования к освоению учебной дисциплины (в соответствии с образовательными стандартами ОСВО 1-43 01 05-2013 и ОСВО 1-43 01 07-2018).

В результате освоения курса 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:

- определять свойства веществ по диаграммам, таблицам и расчетным зависимостям;
- классифицировать процессы, протекающие в различных технических устройствах, изображать процессы, производить их расчет и анализ с применением термодинамических диаграмм;
- 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 вещества;
  - методами перехода от физических моделей к математическим моделям технических систем;
  - 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.

Освоение учебной программы учреждения высшего образования по дисциплине «Техническая термодинамика» должно обеспечить формирование академических, социально-личностных и профессиональных компетенций.

Требования к академическим компетенциям студента. По итогам освоения дисциплины студент должен:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-технические знания для решения теоретических и практических задач.
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.
- АК-4. Уметь работать самостоятельно.
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
- АК-8. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.
- АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

Требования к социально-личностным компетенциям. По итогам освоения дисциплины студент должен:

- СЛК-1. Обладать качествами гражданственности.
- СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.
- СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
- СЛК-6. Уметь работать в команде.

Требования к профессиональным компетенциям. По итогам освоения дисциплины студент должен:

- ПК-1. Используя показания технологического процесса производства, передачи, распределения и потребления тепловой энергии, создавать условия для соответствия режимов действующим стандартам, правилам и нормам.
- ПК-2. 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.
- ПК-4. Составлять энергетические балансы энергетических и технологических объектов и систем, определять потери топливно-энергетических ресурсов, разрабатывать организационные и технические мероприятия по повышению энергетической эффективности теплотехнологий.
- ПК-11. Производить патентно-информационный поиск, оценивать патентоспособность и патентную чистоту технических решений.
- ПК-12. В составе коллектива специалистов или самостоятельно осуществлять рационализаторскую и изобретательскую деятельность.
- ПК-13. Вести поиск альтернативных методов решения профессиональных задач с учетом последних достижений науки и техники.
- ПК-23. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.
- ПК-25. Готовить доклады, материалы к презентациям и представлять их на них.
- ПК-30. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективам развития промышленной теплоэнергетики, инновационным технологиям, проектам и решениям.
- ПК-31. Работать с научной, технической и патентной литературой.

Требования к базовым профессиональным компетенциям для студентов специальности 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций». По итогам освоения дисциплины студент должен:

- БПК-5. Владеть методами определения абсолютных и относительных энергетических характеристик рабочих тел, методиками составления энергетических балансов и анализа термодинамических систем, знать основные механизмы передачи теплоты и массы, математическое описание процессов тепло- и массообмена, методы теплового и гидравлического расчетов тепломассообменных аппаратов, интенсификации теплообмена в теплотехнологических установках.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста

Данная дисциплина формирует у студента необходимые при работе на должностях инженера-энергетика и главного энергетика знания фундаментальных законов тепловых процессов, протекающих при работе энергооборудования организаций.

Количество часов всего и аудиторных часов по формам получения образования:

– для специальности 1–43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»: всего часов по дисциплине – 320, аудиторных часов: по дневной форме – 172, по заочной форме – 38, по заочной форме на основе среднего специального образования – 12 часов; трудоемкость учебной дисциплины – 9 зачетных единиц.

– для специальности 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций»: всего часов по дисциплине – 358, аудиторных часов: по дневной форме – 187, по заочной форме на основе среднего специального образования – 40 часов; трудоемкость учебной дисциплины – 9 зачетных единиц.

#### Распределение аудиторного времени по видам занятий

Специальность	Форма получения образования	Курс	Се- местр	Количество аудиторного времени, часов					
				Ауд.	Лек- ции	Ла- бор.	Практ.	УСРС	Зач. ед.
1–43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»	Дневная форма	2	3, 4	172	79	51	34	8	9
	Заочная форма	2, 3	4, 5, 6	38	20	10	8	–	9
	Заочная форма на основе среднего специального образования	2	3, 4	12	6	2	4	–	9
1–43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций»	Дневная форма для набора 2018 г.	2	3, 4	187	85	51	51	–	9
	Дневная форма для набора 2019 г.	2	3, 4	187	85	68	34	–	9
	Заочная форма на основе среднего специального образования	2, 3	2, 3, 4	40	20	10	10	–	9

#### Форма текущей аттестации по учебной дисциплине

Специальность	Форма получения образования	Формы текущей аттестации, семестр			
		Экзамен	Зачет	Тест	Курсовая работа
1–43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»	Дневная форма	3, 4	–	–	4
	Заочная форма	5, 6	–	5	6
	Заочная форма на основе среднего специального образования	4	–	–	4
1–43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций»	Дневная форма для набора 2018 г.	3, 4	–	–	–
	Дневная форма для набора 2019 г.	3, 4	–	–	–
	Заочная форма на основе среднего специального образования	3, 4	–	–	–

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Модуль 1. Термодинамика идеального газа.

Тема 1. Основные понятия термодинамики.

Техническая термодинамика как теоретическая база специальных теплотехнических дисциплин. Термодинамическая система и окружающая среда. Равновесные и неравновесные состояния и процессы. Параметры состояния.

Тема 2. Первый закон термодинамики.

Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия и энтальпия. Теплота и работа. Работа изменения объема. Техническая работа. Аналитические выражения и формулировки 1-го закона термодинамики. Теплота трения. Уравнение 1-го закона термодинамики для стационарного потока массы. Располагаемая работа потока. Определение технической работы в потоке и подводимой теплоты. Диссипация энергии. Значение 1-го закона термодинамики.

Тема 3. Термодинамика идеального газа. Свойства и процессы.

Уравнение состояния Клапейрона-Менделеева. Теплоемкости идеального газа  $C_v$ ,  $C_p$ . Термодинамические таблицы и диаграммы. Основные термодинамические процессы идеальных газов. Анализ политропных процессов. Расчет параметров состояния и энергетических характеристик процессов.

Тема 4. Второй закон термодинамики.

Формулировки 2-го закона термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Термодинамические циклы. Прямой и обратный циклы Карно. Теорема Карно. Термодинамические процессы и циклы в  $T-S$  и  $h-S$  диаграммах. Среднеинтегральная температура подвода (отвода) теплоты и эквивалентный цикл Карно. Регенеративные циклы и обобщенный цикл Карно. Аналитическое выражение 2-го закона термодинамики. Необратимая адиабата. Возрастание энтропии изолированной системы. Эксергия термомеханической системы. Эксергия массы вещества и объема теплового и адиабатного потока массы. Расчет потерь эксергии. Термодинамическая шкала температур. Абсолютный нуль температур. Границы применимости 2-го закона термодинамики.

Тема 5. Характеристические функции и дифференциальные уравнения термодинамики. Третий закон термодинамики.

Характеристические функции. Энергия Гельмгольца и ее свойства. Энергия Гиббса и ее свойства. Химический потенциал. Общие условия термодинамического равновесия. Условия фазового равновесия при плоской границе раздела фаз. Основные дифференциальные уравнения термодинамики. Связь между термическими и калорическими величинами в  $V-T$  и  $p-T$  координатах. Соотношения Максвелла.

Модуль 2. Термодинамика реального газа.

Тема 6. Термодинамика реального газа. Свойства и процессы.

Особенности термодинамической поверхности состояния реальных газов. Фазовые переходы. Правило фаз Гиббса. Фазовые диаграммы  $p-T$ ,  $p-V$  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. Диаграммы  $h-p$ ,  $h-T$ ,  $h-S$  реальных газов. Теплоемкости  $C_v$ ,  $C_p$  и скорость звука. Вода и водяной пар, аномалии воды. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара. Диаграммы  $T-S$  и  $h-S$ . Расчет процессов по термодинамическим таблицам и диаграммам. Обзор уравнений состояния реальных газов. Вириальное уравнение состояния. Эмпирические уравнения состояния.

Тема 7. Термодинамика стационарного потока.

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. Особенности истечения сухого насыщенного и влажного пара. Конденсация пара в объеме. Переохлаждение расширяющегося пара. Процессы адиабатного и изотермического дросселирования. Техническое применение процессов дросселирования. Температурные эффекты адиабатного дросселирования реальных газов. Кривые инверсии в диаграммах  $T-p$ ,  $h-p$ ,  $T-S$ . Эксергетический КПД. Смещение газов и паров в потоке и при заполнении объема. Потеря эксергии.

Тема 8. Термодинамика газовых и парогазовых смесей.

Газовые смеси. Способы задания газовых смесей. Смеси идеальных газов. Закон Дальтона. Энтропия смешения. Минимальная работа разделения смеси. 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, смешение и т.д.).

Модуль 3. Термодинамика газовых циклов.

Тема 9. Термодинамика газовых циклов.

Общие методы анализа эффективности циклов. Прямые и обратные циклы. 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. Методы повышения эффективности циклов ГТУ. Замкнутые схемы ГТУ. Циклы реактивных двигателей: турбокомпрессорных, прямоточных, бескомпрессорных и ракетных с химическим топливом. Циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Термический КПД, мощность и удельный расход топлива. Сравнение циклов ДВС. Действительный цикл ДВС. Теоретические и действительные циклы газовых холодильных установок (ХУ).

Модуль 4. Термодинамика паровых циклов.

Тема 10. Термодинамика паровых циклов.

Теоретический и действительный циклы паротурбинных установок (ПТУ). Влияние начальных и конечных параметров пара на КПД, удельные расходы пара, теплоты и топлива. Промежуточный перегрев пара. Циклы с вторичным перегревом пара. Регенеративные циклы ПТУ. Схемы регенеративного подогрева с отборами пара. Удельные расходы пара, теплоты и топлива регенеративных ПТУ. Тепловой и эксергетический балансы ПТУ. Циклы паровых холодильных установок и термотрансформаторов. Теоретический и действительный циклы парокомпрессионной ХУ. Пароэжекторная ХУ. Абсорбционная ХУ. Одно- и двухступенчатая теплонасосная установка (ТНУ). Термодинамический анализ цикла ТНУ. Применение ТНУ.

Модуль 5. Термодинамика комбинированных циклов.

Тема 11. 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). Магнетогидродинамический генератор. Комбинированная выработка электроэнергии и тепла на ТЭЦ. Термодинамические основы теплофикации. Циклы ПТУ с противодавлением и с теплофикационными отборами пара. Принципиальные схемы атомных ТЭЦ и атомных станций теплоснабжения. Особенности термодинамических циклов АЭС. Циклы АЭС с водяным теплоносителем. Цикл насыщенного пара с промежуточной сепарацией. Циклы АЭС с газовыми теплоносителями.

## ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Целью выполнения курсовой работы на тему «Термодинамический расчет циклов» является закрепление знаний по основным разделам дисциплины, а также приобретение навыков выполнения расчета и анализа теоретических циклов двигателей внутреннего сгорания (ДВС), паросиловой установки (ПСУ) и парокомпрессионной холодильной машины (ПКХМ).

В первой части курсовой работы предусматривается выполнение следующих действий: дается краткая характеристика тепловых ДВС и осуществляется расчет их циклов; выполняется построение диаграмм рассчитанных циклов в  $p-v$  и  $T-S$  координатах и проводится сравнительный анализ полученных результатов.

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

В третьей части курсовой работы надлежит произвести расчет «простого» цикла ПКХМ и теоретического цикла ПКХМ с перегревом паров хладагента перед компрессором и переохлаждением жидкого хладагента после конденсатора, построить циклы на  $T-s$  и  $p-h$  диаграммах, а также выполнить сравнительный анализ характеристик рассчитанных циклов.

Курсовая работа выполняется студентами специальности 1–43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» всех форм обучения. Исходные данные для выполнения работы студентам выдает преподаватель. На выполнение курсовой работы студентам всех форм обучения отводится 40 часов, трудоемкость курсовой работы составляет 1 зачетную единицу.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**1–43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»**  
**(Дневная форма получения образования)**

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСРС	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Модуль 1. Термодинамика идеального газа.	20	9		17			
1.1	Тема 1. Основные понятия термодинамики.	2	1		4			Экзамен, защита л.р.
1.2	Тема 2. Первый закон термодинамики.	4	2					Экзамен
1.3	Тема 3. Термодинамика идеального газа. Свойства и процессы.	4	5		13			Экзамен, защита л.р.
1.4	Тема 4. Второй закон термодинамики.	6	1					Экзамен
1.5	Тема 5. Характеристические функции и дифференциальные уравнения термодинамики. Третий закон термодинамики.	4						Экзамен
2	Модуль 2. Термодинамика реального газа.	14	8		17			
2.1	Тема 6. Термодинамика реального газа. Свойства и процессы.	6	3		5			Экзамен, защита л.р.
2.2	Тема 7. Термодинамика стационарного потока.	4	2		4			Экзамен, защита л.р.
2.3	Тема 8. Термодинамика газовых и парогазовых смесей.	4	3		8			Экзамен, защита л.р.
3	Модуль 3. Термодинамика газовых циклов.	16	5		8		2	
3.1	Тема 9. Термодинамика газовых циклов.	16	5		8		2	Экзамен, защита л.р.
4	Модуль 4. Термодинамика паровых циклов.	20	10		9		6	
4.1	Тема 10. Термодинамика паровых циклов.	20	10		9		6	Экзамен, защита л.р.
5	Модуль 5. Термодинамика комбинированных циклов.	9	2					
5.1	Тема 11. Комбинированные циклы и циклы атомных электростанций.	9	2					Экзамен
	<b>ВСЕГО</b>	<b>79</b>	<b>34</b>		<b>51</b>		<b>8</b>	

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**1–43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»**  
**(Заочная форма получения образования)**

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСРС	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Модуль 1. Термодинамика идеального газа.	5	1,5		3			
1.1	Тема 1. Основные понятия термодинамики.	0,5						Экзамен
1.2	Тема 2. Первый закон термодинамики.	1						Экзамен
1.3	Тема 3. Термодинамика идеального газа. Свойства и процессы.	1	1,5		3			Экзамен, защита л.р.
1.4	Тема 4. Второй закон термодинамики.	1,5						Экзамен
1.5	Тема 5. Характеристические функции и дифференциальные уравнения термодинамики. Третий закон термодинамики.	1						Экзамен
2	Модуль 2. Термодинамика реального газа.	3,5	2,5		2			
2.1	Тема 6. Термодинамика реального газа. Свойства и процессы.	1,5	1,5		2			Экзамен, защита л.р.
2.2	Тема 7. Термодинамика стационарного потока.	1	0,5					Экзамен
2.3	Тема 8. Термодинамика газовых и парогазовых смесей.	1	0,5					Экзамен
3	Модуль 3. Термодинамика газовых циклов.	4	1		2			
3.1	Тема 9. Термодинамика газовых циклов.	4	1		2			Экзамен, защита л.р.
4	Модуль 4. Термодинамика паровых циклов.	5	3		3			
4.1	Тема 10. Термодинамика паровых циклов.	5	3		3			Экзамен, защита л.р.
5	Модуль 5. Термодинамика комбинированных циклов.	2,5						
5.1	Тема 11. Комбинированные циклы и циклы атомных электростанций.	2,5						Экзамен
	<b>ВСЕГО</b>	<b>20</b>	<b>8</b>		<b>10</b>			

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**1–43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»**  
**(Заочная форма на основе среднего специального образования)**

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСРС	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Модуль 1. Термодинамика идеального газа.	1,5	1		1			
1.1	Тема 1. Основные понятия термодинамики.	0,25						Экзамен
1.2	Тема 2. Первый закон термодинамики.	0,25						Экзамен
1.3	Тема 3. Термодинамика идеального газа. Свойства и процессы.	0,25	1		1			Экзамен, защита л.р.
1.4	Тема 4. Второй закон термодинамики.	0,5						Экзамен
1.5	Тема 5. Характеристические функции и дифференциальные уравнения термодинамики. Третий закон термодинамики.	0,25						Экзамен
2	Модуль 2. Термодинамика реального газа.	1,5	1					
2.1	Тема 6. Термодинамика реального газа. Свойства и процессы.	0,5	1					Экзамен
2.2	Тема 7. Термодинамика стационарного потока.	0,5						Экзамен
2.3	Тема 8. Термодинамика газовых и парогазовых смесей.	0,5						Экзамен
3	Модуль 3. Термодинамика газовых циклов.	1	1					
3.1	Тема 9. Термодинамика газовых циклов.	1	1					Экзамен
4	Модуль 4. Термодинамика паровых циклов.	1	1		1			
4.1	Тема 10. Термодинамика паровых циклов.	1	1		1			Экзамен, защита л.р.
5	Модуль 5. Термодинамика комбинированных циклов.	1						
5.1	Тема 11. Комбинированные циклы и циклы атомных электростанций.	1						Экзамен
	<b>ВСЕГО</b>	<b>6</b>	<b>4</b>		<b>2</b>			

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**1–43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций»**  
**(Дневная форма получения образования для набора 2018 г.)**

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСРС	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Модуль 1. Термодинамика идеального газа.	20	9		17			
1.1	Тема 1. Основные понятия термодинамики.	2	1		4			Экзамен, защита л.р.
1.2	Тема 2. Первый закон термодинамики.	4	2					Экзамен
1.3	Тема 3. Термодинамика идеального газа. Свойства и процессы.	4	5		13			Экзамен, защита л.р.
1.4	Тема 4. Второй закон термодинамики.	6	1					Экзамен
1.5	Тема 5. Характеристические функции и дифференциальные уравнения термодинамики. Третий закон термодинамики.	4						Экзамен
2	Модуль 2. Термодинамика реального газа.	14	8		17			
2.1	Тема 6. Термодинамика реального газа. Свойства и процессы.	6	3		5			Экзамен, защита л.р.
2.2	Тема 7. Термодинамика стационарного потока.	4	2		4			Экзамен, защита л.р.
2.3	Тема 8. Термодинамика газовых и парогазовых смесей.	4	3		8			Экзамен, защита л.р.
3	Модуль 3. Термодинамика газовых циклов.	18	10		8			
3.1	Тема 9. Термодинамика газовых циклов.	18	10		8			Экзамен, защита л.р.
4	Модуль 4. Термодинамика паровых циклов.	24	18		9			
4.1	Тема 10. Термодинамика паровых циклов.	24	18		9			Экзамен, защита л.р.
5	Модуль 5. Термодинамика комбинированных циклов.	9	6					
5.1	Тема 11. Комбинированные циклы и циклы атомных электростанций.	9	6					Экзамен
	<b>ВСЕГО</b>	<b>85</b>	<b>51</b>		<b>51</b>			

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**1–43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций»**  
**(Дневная форма получения образования для набора 2019 г.)**

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСРС	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Модуль 1. Термодинамика идеального газа.	20	9		17			
1.1	Тема 1. Основные понятия термодинамики.	2	1		4			Экзамен, защита л.р.
1.2	Тема 2. Первый закон термодинамики.	4	2					Экзамен
1.3	Тема 3. Термодинамика идеального газа. Свойства и процессы.	4	5		13			Экзамен, защита л.р.
1.4	Тема 4. Второй закон термодинамики.	6	1					Экзамен
1.5	Тема 5. Характеристические функции и дифференциальные уравнения термодинамики. Третий закон термодинамики.	4						Экзамен
2	Модуль 2. Термодинамика реального газа.	14	8		17			
2.1	Тема 6. Термодинамика реального газа. Свойства и процессы.	6	3		5			Экзамен, защита л.р.
2.2	Тема 7. Термодинамика стационарного потока.	4	2		4			Экзамен, защита л.р.
2.3	Тема 8. Термодинамика газовых и парогазовых смесей.	4	3		8			Экзамен, защита л.р.
3	Модуль 3. Термодинамика газовых циклов.	18	5		10			
3.1	Тема 9. Термодинамика газовых циклов.	18	5		10			Экзамен, защита л.р.
4	Модуль 4. Термодинамика паровых циклов.	24	10		24			
4.1	Тема 10. Термодинамика паровых циклов.	24	10		24			Экзамен, защита л.р.
5	Модуль 5. Термодинамика комбинированных циклов.	9	2					
5.1	Тема 11. Комбинированные циклы и циклы атомных электростанций.	9	2					Экзамен
	<b>ВСЕГО</b>	<b>85</b>	<b>34</b>		<b>68</b>			

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**1–43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций»**  
**(Заочная форма на основе среднего специального образования)**

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСРС	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Модуль 1. Термодинамика идеального газа.	5	1,5		3			
1.1	Тема 1. Основные понятия термодинамики.	0,5						Экзамен
1.2	Тема 2. Первый закон термодинамики.	1						Экзамен
1.3	Тема 3. Термодинамика идеального газа. Свойства и процессы.	1	1,5		3			Экзамен, защита л.р.
1.4	Тема 4. Второй закон термодинамики.	1,5						Экзамен
1.5	Тема 5. Характеристические функции и дифференциальные уравнения термодинамики. Третий закон термодинамики.	1						Экзамен
2	Модуль 2. Термодинамика реального газа.	3,5	3,5		2			
2.1	Тема 6. Термодинамика реального газа. Свойства и процессы.	1,5	1,5		2			Экзамен, защита л.р.
2.2	Тема 7. Термодинамика стационарного потока.	1	1					Экзамен
2.3	Тема 8. Термодинамика газовых и парогазовых смесей.	1	1					Экзамен
3	Модуль 3. Термодинамика газовых циклов.	4	2		2			
3.1	Тема 9. Термодинамика газовых циклов.	4	2		2			Экзамен
4	Модуль 4. Термодинамика паровых циклов.	5	3		3			
4.1	Тема 10. Термодинамика паровых циклов.	5	3		3			Экзамен, защита л.р.
5	Модуль 5. Термодинамика комбинированных циклов.	2,5						
5.1	Тема 11. Комбинированные циклы и циклы атомных электростанций.	2,5						Экзамен
	ВСЕГО	20	10		10			

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

## Основная литература

1. Кудинов, В. А. Техническая термодинамика: учебное пособие для вузов / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов – Москва: Высшая школа, 2003. – 261 с.
2. Хрусталеv, Б. М. Техническая термодинамика: учебник для строительных и энергетических специальностей вузов. В 2 ч. / Б. М. Хрусталеv, А. П. Ненсенчук, В. Н. Романюк. – Минск: Технопринт, 2004. – Ч. 1. – 487 с.
3. Александров, А. А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок: учебное пособие для вузов / А. А. Александров. – 2-е изд. – Москва: МЭИ, 2006. – 158 с.
4. Гидравлика, пневматика и термодинамика: учебное пособие для вузов / под общ. ред. В. М. Филина. – Москва: Инфра-М, 2011. – 317 с.
5. Андрианова, Т.Н. Сборник задач по технической термодинамике: учебное пособие для вузов – Москва: МЭИ, 2006. – 354 с.
6. Теплотехника: учебник для вузов / В. Н. Луканин [и др.]; под ред. В. Н. Луканина. – 7-е изд. – Москва: Высшая школа, 2009. – 671 с.

## Дополнительная литература

1. Барилевич, В. А. Основы технической термодинамики и теории тепло- и массообмена: учебное пособие / В. А. Барилевич, Ю. А. Смирнов. – Москва: ИНФРА-М, 2014. – 432 с.
2. Цербе, Г. Техническая термодинамика. Теоретические основы и практическое применение / Г. Цербе, Г. Вильгельмс. – Санкт-Петербург: Фолиант, 2015. – 540 с.
3. Кириллин, В. А. Техническая термодинамика: учебник для вузов / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин. – Москва: МЭИ, 2008. – 496 с.
4. Тер Хаар, Д. Основы термодинамики / Д. Тер Хаар, Х. Вергеланд. – Москва: Вузовская книга, 2013. – 200 с.
5. Техническая термодинамика и теплотехника: учебное пособие для вузов / под ред. проф. А. А. Захаровой. – 2-е изд. – Москва: Академия, 2008. – 272 с.
6. Ансельм, А. И. Основы статистической физики и термодинамики / А. И. Ансельм. – Санкт-Петербург: Лань, 2007. – 448 с.
7. Калашников, Н. П. Графические методы решения задач по молекулярно-кинетической теории и термодинамике идеальных газов: учебное пособие / Н. П. Калашников, В. П. Красин. – 2-е изд. – Санкт-Петербург: Лань, 2011. – 192 с.
8. Бальян, С. В. Техническая термодинамика и тепловые двигатели: учебное пособие для вузов / С. В. Бальян. – 2-е изд. – Ленинград: Машиностроение, 1973. – 302 с.
9. Вукалович, М. П. Термодинамика: учебное пособие для вузов / М. П. Вукалович, И. И. Новиков. – Москва: Машиностроение, 1972. – 670 с.

10. Зубарев, В. Н. Практикум по технической термодинамике / В. Н. Зубарев, А. А. Александров, В. С. Охотин. – Москва: Энергоатомиздат, 1986. – 304 с.

11. Сборник задач по технической термодинамике / Т. Н. Андрианова [и др.]. – 3-е изд. – Москва: Энергоиздат, 1981. – 240 с.

12. Техническая термодинамика: учебник для машиностр. спец. вузов / В. И. Крутов [и др.]; под ред. В. И. Крутова. – 3-е изд. – Москва: Высшая школа, 1991. – 382 с.

13. Нащокин, В. В. Техническая термодинамика и теплопередача: учебное пособие для неэнергет. спец. вузов. – Москва: Высшая школа, 1980. – 469 с.

14. Сычев, В. В. Дифференциальные уравнения термодинамики: учебное пособие для теплоэнерг. и теплофиз. спец. вузов. – Москва: Высшая школа, 1991. – 224 с.

15. Александров, А. А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: справочник / А. А. Александров, Б. А. Григорьев. – Москва: МЭИ, 1999. – 164 с.

#### Электронные 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.

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

1. Овсянник, А. В. Техническая термодинамика: практикум по одному курсу для студентов специальностей 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» днев. и заоч. форм обучения / А. В. Овсянник, А. А. Нижников, М. Н. Новиков. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 31 с.

2. Овсянник, А. В. Техническая термодинамика: практикум по одному курсу для студентов специальностей 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» днев. и заоч. форм обучения / А. В. Овсянник, М. Н. Новиков, Д. С. Трошев. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 69 с.

3. Овсянник, А. В. Техническая термодинамика: лаборатор. практикум по одному курсу для студентов специальностей 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» днев. и заоч. форм обучения / А. В. Овсянник, М. Н. Новиков, Е. Н. Волкова. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2011. – 68 с.

4. Есьман, Р. И. Техническая термодинамика: методическое пособие и типовые задачи для студентов специальностей 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика», 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции», 1-43 01 08 «Паротурбинные установки АЭС», 1-53 01 04 «Автоматизация и управление энерге-

тическими процессами» / Р. И. Есьман, А. В. Бегляк, И. Р. Качар. – Минск: БНТУ, 2011. – 58 с.

5. Новиков, М. Н. Техническая термодинамика: пособие по выполнению курсовой работы для студентов специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» / М. Н. Новиков, А. В. Овсяник, Д. А. Дробышевский. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2006. – 28 с.

6. Новиков, М. Н. Техническая термодинамика: методические указания к контрольной работе для студентов специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» заочной формы обучения / М. Н. Новиков, В. Л. Лиходиевский, Д. А. Дробышевский. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2006. – 31 с.

7. Лиходиевский, В. Л. Техническая термодинамика: практическое руководство 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. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2005. – 25 с.

8. Электронный курс по дисциплине «Техническая термодинамика» на учебном портале ГГТУ им. П. О. Сухого. Режим доступа: <http://www.edu.gstu.by/course/view.php?id=694>.

9. Плакаты по темам лабораторных работ.

## Примерный перечень тем практических занятий

1. Параметры состояния рабочего тела. Уравнение состояния.
2. Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия и энтальпия. Теплота и работа.
3. Второй закон термодинамики. Энтропия. Максимальная полезная работа (эксергия).
4. Расчет параметров состояния и энергетических характеристик термодинамических процессов идеальных газов.
5. Определение газовой постоянной, парциальных давлений компонентов и теплоемкостей газовой смеси.
6. Графические методы решения задач термодинамики идеальных газов.
7. Определение констант уравнений состояния реальных газов.
8. Расчет геометрических характеристик сопла при адиабатном дросселировании воздуха.
9. Аналитическое определение термодинамических свойств воды и водяного пара.
10. Графическое определение термодинамических характеристик водяного пара. Построение процессов изменения состояния водяного пара на  $h-s$  диаграмме.
11. Определение параметров состояния воздушно-паровой смеси и построение луча процесса смешения на  $h-d$  диаграмме влажного воздуха.
12. Определение характеристик циклов поршневых двигателей внутреннего сгорания.
13. Определение характеристик циклов газотурбинных установок.
14. Исследование цикла газотурбинной установки с регенерацией теплоты уходящих газов.
15. Сравнительный анализ циклов двигателей внутреннего сгорания.
16. Расчет теоретического цикла паросиловой установки с вторичным перегревом пара.
17. Расчет действительного цикла паросиловой установки с вторичным перегревом пара методом коэффициентов полезного действия и эксергетическим методом.
18. Исследование влияния сепарации пара на характеристики цикла паротурбинной установки с насыщенным паром.
19. Определение характеристик цикла парокомпрессионной холодильной машины.
20. Определение идеального и реального отопительных коэффициентов теплонасосной установки.
21. Определение термического коэффициента полезного действия теплосиловой установки, работающей по бинарному ртутно-водяному циклу.
22. Определение термического коэффициента полезного действия парогазовой установки с котлом-утилизатором.

### Примерный перечень лабораторных работ

1. Методы измерения давления и температуры.
2. Определение изобарной теплоемкости воздуха.
3. Исследование термодинамических процессов идеальных газов.
4. Исследование кривой упругости водяного пара.
5. Исследование процесса истечения воздуха через суживающее сопло.
6. Определение параметров состояния влажного воздуха.
7. Исследование процессов нагрева и охлаждения влажного воздуха.
8. Изучение устройства и определение рабочих характеристик одноступенчатого компрессора.
9. Определение параметров термодинамического цикла дизельного двигателя внутреннего сгорания.
10. Определение характеристик цикла парокомпрессионной холодильной машины центрального кондиционера.
11. Изучение устройства и принципа работы теплового насоса типа «воздух–воздух».
12. Определение отопительного коэффициента теплового насоса типа «воздух–воздух».
13. Изучение устройства и принципа работы теплового насоса типа «вода–вода».
14. Определение основных характеристик теплового насоса типа «вода–вода».

### Примерный перечень вопросов к экзамену (тестированию) по первой части дисциплины

1. Техническая термодинамика. Термодинамическая система и окружающая среда.
2. Равновесные и неравновесные состояния и процессы.
3. Параметры состояния. Уравнение состояния.
4. Первое начало термодинамики как частный случай закона сохранения энергии.
5. Внутренняя энергия и энтальпия.
6. Теплота и работа. Работа изменения объема. Техническая работа.
7. Аналитическое выражение первого начала термодинамики.
8. Уравнение первого закона термодинамики для потока.
9. Располагаемая работа потока. Определение технической работы в потоке и подводимой теплоты.
10. Энтропия.
11. Значение первого закона термодинамики.
12. Уравнение состояния Менделеева-Клапейрона.
13. Теплоемкости идеального газа  $C_p$ ,  $C_v$ .

14. Основные термодинамические процессы идеальных газов. Изохорный процесс.
15. Основные термодинамические процессы идеальных газов. Изобарный процесс.
16. Основные термодинамические процессы идеальных газов. Изотермический процесс.
17. Основные термодинамические процессы идеальных газов. Адиабатный процесс.
18. Основные термодинамические процессы идеальных газов. Политропный процесс.
19. Анализ термодинамических процессов идеального газа. Диаграмма термодинамических процессов.
20. Формулировки второго закона термодинамики.
21. Обратимые и необратимые процессы.
22. Термодинамические циклы.
23. Прямой и обратный циклы Карно.
24. Теорема Карно. Эквивалентный цикл Карно.
25. Регенеративные циклы. Обобщенный цикл Карно.
26. Аналитическое выражение 2-го начала термодинамики.
27. Необратимая адиабата. Возрастание энтропии изолированной системы.
28. Значение второго закона термодинамики.
29. Эксергия термомеханической системы.
30. Эксергия адиабатного потока массы.
31. Термодинамическая шкала температур.
32. Характеристические функции. Химический потенциал.
33. Общие условия термодинамического равновесия.
34. Условия фазового равновесия.
35. Основные дифференциальные уравнения термодинамики.
36. Третий закон термодинамики.
37. Фазовые переходы. Правило фаз Гиббса.
38. Фазовые диаграммы  $p$ - $T$  и  $p$ - $V$ . Критические параметры.
39. Кипящая жидкость и сухой насыщенный пар. Влажный пар. Сухость пара. Теплота фазовых переходов.
40. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
41. Таблицы и диаграммы термодинамических свойств воды и водяного пара.
42. Расчет характерных процессов с помощью таблиц и диаграмм термодинамических свойств воды и водяного пара.
43. Обзор уравнений состояния реальных газов. Вириальное уравнение состояния.
44. Уравнение механической энергии потока.
45. Массовый расход. Скорость потока. Скорость звука.
46. Параметры торможения.
47. Расчет располагаемой работы, скорости истечения и расхода газа.

48. Условия перехода через скорость звука. Сопло Лаваля.
49. Дросселирование газа и пара.
50. Эффект Джоуля-Томсона.
51. Смещение газов и паров в потоке.
52. Смещение газов и паров при заполнении объема.
53. Смеси идеальных газов. Закон Дальтона.
54. Основные параметры влажного воздуха.
55.  $h-d$  диаграмма влажного воздуха.
56. Основные термодинамические процессы влажного воздуха.

Примерный перечень вопросов к экзамену (тестированию)  
по второй части дисциплины

1. О методах анализа эффективности прямых циклов.
2. Методы сравнения эффективности прямых обратимых циклов.
3. Методы сравнения эффективности прямых необратимых циклов.
4. Методы сравнения эффективности обратных циклов.
5. Принцип действия компрессоров.
6. Анализ процессов сжатия в компрессоре.
7. Многоступенчатое сжатие в компрессоре.
8. Действительный цикл поршневого компрессора.
9. Общие сведения о двигателях внутреннего сгорания.
10. Идеализированные циклы поршневых ДВС.
11. Сравнение циклов поршневых ДВС.
12. Действительный цикл поршневого ДВС.
13. Идеализированные циклы газотурбинных установок.
14. Действительный цикл ГТУ.
15. Методы повышения эффективности ГТУ.
16. Замкнутая схема ГТУ.
17. Циклы реактивных двигателей.
18. Теоретический и действительный циклы газовых холодильных установок.
19. Теоретические и действительные циклы паротурбинных установок.
20. Влияние начальных и конечных параметров пара.
21. Цикл ПТУ с вторичным перегревом пара.
22. Регенеративный цикл ПТУ.
23. Схема ПТУ с регенеративными подогревателями.
24. Тепловой и эксергетический балансы ПТУ.
25. Удельные расходы пара, теплоты и топлива ПТУ.
26. Теоретический и действительный цикл парокompрессионной холодильной установки.
27. Пароэжекторная холодильная установка.
28. Абсорбционная холодильная установка.

29. Теплонасосная установка (ТНУ). Термодинамический анализ цикла ТНУ. Применение ТНУ.

30. Образцовые составные и бинарные циклы.

31. Циклы парогазовых установок и их анализ.

32. Термодинамические основы теплофикации. Комбинированная выработка электроэнергии и тепла на ТЭЦ.

33. Принципиальные схемы атомных ТЭЦ и атомных станций теплоснабжения.

Для оценки приобретенных студентами знаний используется следующий диагностический инструментарий:

- проведение текущих контрольных опросов по отдельным темам;
- защита выполненных контрольных работ;
- защита выполненных лабораторных работ;
- защита курсовой работы;
- проведение тестирования;
- сдача экзамена.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1. «Термодинамика и теплоустановки»	Промышленная теплоэнергетика и экология	Согласовано	Рекомендовать представленную учебную программу к утверждению (Протокол №21 от 30.04.2019 г.)
2. «Тепломассообмен»			
3. «Гидрогазодинамика»			
4. «Теплотехнические процессы и установки»			
5. «Вентиляция и кондиционирование воздуха»			
6. «Нагнетатели и тепловые двигатели»			
7. «Котельные установки промышленных предприятий»			

Заведующий кафедрой  
«Промышленная теплоэнергетика  
и экология», к.т.н., доцент

А.В. Шаповалов