

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

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ГГТУ им. П.О.Сухого

_____ А.А.Бойко

04.07.2019

Регистрационный № УДмаг-94/уч.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА РЕАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1–43 80 03 Теплоэнергетика и теплотехника

2019

Учебная программа составлена на основе:
образовательных стандарта ОСВО 1–43 80 03-2019;
учебных планов учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»:
специальности 1–43 80 03 Теплоэнергетика и теплотехника № I 43-2-07/уч. от 03.04.2019, № I 43-2-15/уч. от 03.04.2019.

СОСТАВИТЕЛЬ:

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

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

П.А. Хило, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Физика и электротехника» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»;
В.М. Овчинников, кандидат технических наук, профессор кафедры «Экология и энергоэффективность в техносфере» УО «Белорусский государственный университет транспорта».

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-2-0089

Научно-методическим советом энергетического факультета учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»

(протокол № 10 от 25.06.2019);

Научно-методическим советом учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»

(протокол №6 26.06.2019).

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Курс «Техническая термодинамика реальных процессов» относится к дисциплинам, позволяющим получить углубленные знания о термодинамических процессах происходящих при работе теплоэнергетического оборудования. Учебная программа дисциплины предусматривает изучение и анализ реальных процессов и циклов, протекающих в теплоэнергетических и теплотехнологических установках.

Цели и задачи учебной дисциплины.

Целью изучения дисциплины «Техническая термодинамика реальных процессов» является формирование у студентов второй ступени высшего образования навыков и знаний, необходимых для анализа и совершенствования реальных процессов и циклов, протекающих в теплоэнергетических и теплотехнологических установках.

Задачами изучения дисциплины являются:

- овладение термодинамическими методами анализа реальных закрытых и открытых систем преобразования энергии и вещества, методами исследования реальных тепловых процессов;
- выработка практических навыков определения энергетических характеристик процессов, имеющих место в вышеперечисленных системах с реальными рабочими телами и теплоносителями постоянного и переменного состава.

Связи с другими учебными дисциплинами.

Для изучения дисциплины «Техническая термодинамика реальных процессов» необходимо знание следующих дисциплин первой ступени высшего образования: «Техническая термодинамика», «Тепломассообмен», «Промышленные тепломассообменные процессы и установки», «Котельные установки промышленных предприятий», «Системы производства и распределения энергоносителей промышленных предприятий», «Источники и системы теплоснабжения промышленных предприятий». В свою очередь, знания, полученные при изучении данной дисциплины, применяются в процессе изучения всех прикладных теплотехнических дисциплин.

Требования к освоению учебной дисциплины (в соответствии с образовательным стандартом ОСВО 1-43 80 03-2019).

В результате освоения курса студент должен:

знать:

- способы и методы термодинамического анализа реальных процессов и циклов;
- методики расчета теплотехнологических схем реальных теплоэнергетических и теплотехнологических установок;

уметь:

– классифицировать термодинамические процессы, протекающие в различных реальных технических устройствах, производить их расчет и анализ;

– составлять материальный, энергетический и эксергетический балансы реальных технических систем и находить абсолютные и относительные энергетические и эксергетические характеристики технических систем преобразования энергии и вещества;

владеть:

– методами термодинамического анализа процессов и циклов реальных теплоэнергетических и теплотехнологических установок.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста.

По итогам освоения дисциплины магистр должен обладать следующими углубленными профессиональными компетенциями:

УПК-3. Владеть современными аспектами развития технической термодинамики, уметь применять методы анализа реальных термодинамических процессов.

Количество часов всего и аудиторных часов по формам получения образования: всего часов по дисциплине – 90, аудиторных часов: по дневной форме – 54, по заочной форме – 14; трудоемкость учебной дисциплины – 3 зачетные единицы.

Распределение аудиторного времени по видам занятий

Форма получения образования	Курс	Се-местр	Количество аудиторного времени, часов					
			Ауд.	Лек-ции	Ла-бор.	Практ.	УСРС	Зач. ед.
Дневная форма	1	1	54	36	–	18	–	3
Заочная форма	1	1	14	8	–	6	–	3

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине

Форма получения образования	Формы текущей аттестации, семестр			
	Экзамен	Зачет	Тест	Курсовая ра-бота
Дневная форма	1	–	–	–
Заочная форма	1	–	–	–

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

МОДУЛЬ 1. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ.

Тема 1. Основы эксергетического анализа реальных процессов.

Максимальная располагаемая работа - эксергия. Эксергетический КПД. Эксергия потока рабочего тела. Эксергия цикла (эксергия теплоты). Эксергетический КПД теплообменника. Химическая эксергия топлива. Эксергия теплоты, топочных газов, получаемого пара, эксергетический КПД котлоагрегата и котельной установки. Обобщенная схема теплоэнергетической установки.

Тема 2. Работа изменения давления в потоке.

Работа измерения давления в потоке при расширении. Работа изменения давления в потоке при расширении в адиабатных процессах. Изображение работы изменения давления в потоке в P,v - и T,s - диаграммах для необратимых произвольных процессов расширения. Работы изменения давления в потоке при сжатии. Работа изменения давления в потоке для адиабатных процессов сжатия. Изображение работы изменения давления в потоке в P,v - и T,s - диаграммах для необратимых произвольных процессов сжатия.

Тема 3. Анализ реальных процессов истечения газа и пара.

Расчет соплового канала. Адиабатное истечение через сопло с потерями. Торможение. Параметры заторможенного потока. Анализ процессов дросселирования газов, паров и жидкостей. Механизм и характеристики процесса дросселирования. Эффект Джоуля – Томсона. Кривая инверсии.

Тема 4. Процессы смешения реальных газов и паров.

Смешение в объеме. Смешение в потоке. Смешение при заполнении объема.

МОДУЛЬ 2. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЦИКЛОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.

Тема 5. Циклы паротурбинных установок.

Методика расчета необратимого цикла простой ПТУ. Влияние параметров рабочего тела на тепловую экономичность ПТУ. Методика расчета необратимого цикла ПТУ с вторичным перегревом пара. Методика расчета необратимого регенеративного цикла ПТУ. Анализ экономичности регенеративного цикла ПТУ. Выбор оптимальных давлений отборов пара турбины на регенеративные подогреватели ПТУ. Методика расчета теплофикационного цикла ПТУ. Термодинамические особенности и методика расчета цикла АЭС на насыщенном водяном паре. Термодинамические особенности и методика расчета двухконтурного цикла АЭС на насыщенном водяном паре. Термодинамические особенности и методика расчета трехконтурного цикла АЭС на перегретом водяном паре. Эксергетический анализ ПТУ.

Тема 6. Циклы газотурбинных установок (ГТУ).

Методика расчета реального разомкнутого цикла ГТУ. Методика расчета регенеративного цикла ГТУ. Методика расчета регенеративного цикла ГТУ с

двухступенчатым сжатием и расширением рабочего тела. Эксергетический анализ ГТУ.

Тема 7. Циклы парогазовых установок.

Цикл ПГУ с котлом-утилизатором. Цикл ПГУ с низконапорным парогенератором. Цикл ПГУ с высоконапорным парогенератором. Полузависимая ПГУ.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (Дневная форма получения образования)

темы Номер раздела,	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					УСРС Количество часов	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Модуль 1. Термодинамический анализ процессов в теплоэнергетических установках	20						
1.1	Тема 1. Основы эксергетического анализа реальных процессов	6						Экзамен
1.2	Тема 2. Работа изменения давления в потоке	6						Экзамен
1.3	Тема 3. Анализ реальных процессов истечения газа и пара	6						Экзамен
1.4	Тема 4. Процессы смешения реальных газов и паров	2						Экзамен
2	Модуль 2. Термодинамический анализ циклов теплоэнергетических установок	16						
2.1	Тема 5. Циклы паротурбинных установок	8	12					Экзамен
2.2	Тема 6. Циклы газотурбинных установок	6	6					Экзамен
2.3	Тема 7. Циклы парогазовых установок	2						Экзамен
	ВСЕГО	36	18					

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
(Заочная форма получения образования)

темы Номер раздела,	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					УСРС Количество часов	форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Модуль 1. Термодинамический анализ процессов в теплоэнергетических установках	3						
1.1	Тема 1. Основы эксергетического анализа реальных процессов	0,5						Экзамен
1.2	Тема 2. Работа изменения давления в потоке	1						Экзамен
1.3	Тема 3. Анализ реальных процессов истечения газа и пара	1						Экзамен
1.4	Тема 4. Процессы смешения реальных газов и паров	0,5						Экзамен
2	Модуль 2. Термодинамический анализ циклов теплоэнергетических установок	3						
2.1	Тема 5. Циклы паротурбинных установок	2	4					Экзамен
2.2	Тема 6. Циклы газотурбинных установок	1	2					Экзамен
2.3	Тема 7. Циклы парогазовых установок	1						Экзамен
	ВСЕГО	8	6					

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. Ненечук, 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. Диденко, В.Н. Необратимые термодинамические процессы. Эксергия: учеб.-метод. Пособие-конспект лекций / Диденко. В.Н. – Ижевск: Изд-во ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет», 2014. - 78с.
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. Техническая термодинамика и теплотехника: учебное пособие для вузов / под ред. проф. А. А. Захаровой. – 2-е изд. – Москва: Академия, 2008. – 272 с.

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

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

Примерный перечень тем практических занятий

1. Расчет необратимого цикла ПТУ
2. Расчет необратимого цикла ПТУ с вторичным перегревом пара
3. Расчет необратимого регенеративного цикла ПТУ
4. Анализ экономичности регенеративного цикла ПТУ
5. Расчет теплофикационной ПТУ
6. Расчет цикла АЭС
7. Определение показателей тепловой экономичности цикла АЭС
8. Расчет реального разомкнутого цикла ГТУ
9. Расчет регенеративного цикла ГТУ

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

1. Основы эксергетического анализа реальных процессов.
2. Максимальная располагаемая работа — эксергия.
3. Эксергетический КПД.
4. Эксергия потока рабочего тела.
5. Эксергия цикла (эксергия теплоты).
6. Эксергетический КПД теплообменника
7. Химическая эксергия топлива
8. Эксергия теплоты, топочных газов, получаемого пара, эксергетический КПД котлоагрегата и котельной установки
9. Обобщенная схема теплоэнергетической установки
10. Работа изменения давления в потоке
11. Работа измерения давления в потоке при расширении
12. Работа изменения давления в потоке при расширении в адиабатных процессах
13. Изображение работы изменения давления в потоке в P, v - и T, s - диаграммах для необратимых произвольных процессов расширения
14. Работы изменения давления в потоке при сжатии
15. Работа изменения давления в потоке для адиабатных процессов сжатия
16. Изображение работы изменения давления в потоке в P, v - и T, s - диаграммах для необратимых произвольных процессов сжатия
17. Анализ процессов истечения газа и пара через сопло
18. Расчет соплового канала
19. Адиабатное истечение через сопло с потерями
20. Торможение. Параметры заторможенного потока
21. Анализ процессов дросселирования газов, паров и жидкостей
22. Механизм и характеристики процесса дросселирования

23. Эффект Джоуля – Томсона. Кривая инверсии
24. Смещение в объёме
25. Смещение в потоке
26. Смещение при заполнении объёма
27. Методика расчета необратимого цикла простой ПТУ
28. Влияние параметров рабочего тела на тепловую экономичность ПТУ
29. Методика расчета необратимого цикла ПТУ с вторичным перегревом пара
30. Методика расчета необратимого регенеративного цикла ПТУ
31. Анализ экономичности регенеративного цикла ПТУ
32. Выбор оптимальных давлений отборов пара турбины на регенеративные подогреватели ПТУ
33. Методика расчета теплофикационного цикла ПТУ.
34. Термодинамические особенности и методика расчета цикла АЭС на насыщенном водяном паре
35. Термодинамические особенности и методика расчета двухконтурного цикла АЭС на насыщенном водяном паре
36. Термодинамические особенности и методика расчета трехконтурного цикла АЭС на перегретом водяном паре
37. Эксергетический анализ ПТУ
38. Методика расчета реального разомкнутого цикла ГТУ
39. Методика расчета регенеративного цикла ГТУ
40. Методика расчета регенеративного цикла ГТУ с двухступенчатым сжатием и расширением рабочего тела
41. Эксергетический анализ ГТУ
42. Цикл ПГУ с котлом-утилизатором
43. Цикл ПГУ с низконапорным парогенератором
44. Цикл ПГУ с высоконапорным парогенератором
45. Полузависимая ПГУ

Для оценки приобретенных студентами знаний используется следующий диагностический инструментарий:

- проведение текущих контрольных опросов по отдельным темам;
- защита выполненных контрольных работ;
- 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. Информационные технологии в теплоэнергетике	Промышленная теплоэнергетика и экология	Согласовано	Рекомендовать представленную учебную программу к утверждению (Протокол №21 от 30.04.2019 г.)
2. Обеспечение эффективности и надежности работы теплоэнергетических систем			
3. Энергоэффективные технологии в энергетике и промышленности			
4. Управление энергоэффективностью потребителей топливно-энергетических ресурсов			

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

А.В. Шаповалов