

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра строительства,
теплоэнергетики
и транспорта

Б1.О.13 ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

*Методические указания к самостоятельной работе
по направлению подготовки
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (уровень бакалавриата),
профиль подготовки «Энергообеспечение предприятий»*

Мурманск
2020

Составитель – Караченцева Яна Марсильевна, старший преподаватель кафедры строительства, теплоэнергетики и транспорта Мурманского государственного технического университета

Методические указания рассмотрены и одобрены кафедрой строительства, теплоэнергетики и транспорта

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.....	4
ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН.....	6
ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	8
СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ.....	9

ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Методические указания составлены на основе рабочей программы по дисциплине «Техническая термодинамика», которая составлена на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.2018 № 143 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника (уровень бакалавриата)», учебного плана в составе ОПОП по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», направленности (профилю) «Энергообеспечение предприятий», 2019 года начала подготовки.

Целью дисциплины «Техническая термодинамика» является формирование профессиональных знаний о способах преобразования теплоты в работу, методах расчета параметров рабочего тела при различных условиях протекания процесса.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- Формирование знаний о принципах взаимного преобразования теплоты и работы.
- Изучение методик расчета основных термодинамических процессов, протекающих в тепловых двигателях.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- основные законы термодинамики;
- теоретические циклы различных тепловых машин.

Уметь:

- выполнять термодинамический анализ систем и установок, рассчитывать и экспериментально определять параметры в элементах машин и аппаратах;
- разбираться в конструкции и принципе работы любой тепловой машины и выполнить расчет необходимых параметров.

Владеть:

- основами термодинамического анализа работы различных технологических установок;
- методами расчета процессов, протекающих в тепловых машинах.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (уровень бакалавриата):

Таблица 1 – Результаты обучения

№ п/п	Код компетенции	Компоненты компетенции, степень их реализации	Индикаторы сформированности компетенций
1	ОПК-3. Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах.	Компоненты компетенции реализуются полностью	ИОПК-3.3 Использует знание теплофизических свойств рабочих тел при расчетах теплотехнических установок и систем. ИОПК-3.4 Применяет знания основ термодинамики для расчетов термодинамических процессов, циклов и их показателей.

№ п/п	Код компетенции	Компоненты компетенции, степень их реализации	Индикаторы сформированности компетенций
			ИОПК-3.5 Демонстрирует понимание основных законов термодинамики и термодинамических соотношений.
2	ОПК-5. Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники.	Компоненты компетенции реализуются полностью	ИОПК-5.1 Выбирает средства измерения, проводит измерения электрических и неэлектрических величин, обрабатывает результаты измерений и оценивает их погрешность.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Содержание разделов (модулей), тем дисциплины	Количество часов, выделяемых на виды учебной подготовки по формам обучения											
	Очная				Очно-заочная				Заочная			
	Л	ЛР	ПР	СР	Л	ЛР	ПР	СР	Л	ЛР	ПР	СР
Тема 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ. Основные понятия и определения. Задачи, объекты технической термодинамики. Термодинамическая система, виды. Понятие рабочего тела. Основные параметры состояния. Конструкции контрольно-измерительных приборов.	2	7	2	5	2	3	2	10	1	3	-	10
Тема 2. ИДЕАЛЬНЫЕ И РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ. Понятие идеального газа. Основные законы идеального газа (Бойля-Мариотта, Гей-Люссака, Шарля, Авогадро). Уравнение Клапейрона, Менделеева-Клапейрона. Газовая постоянная, универсальная газовая постоянная. Смеси идеальных газов. Реальные газы. Уравнения для реальных газов.	4	7	3	8	2	3	2	10	1	-	-	10
Тема 3. ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. Аналитическое выражение первого закона термодинамики. Внутренняя энергия. Работа. Теплота. Виды теплоемкостей. Уравнение Майера. Энтальпия. Вечный двигатель первого рода.	5	7	3	7	2	3	2	20	-	3	-	20
Тема 4. ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. Формулировки Клаузиуса, Томсона, Оствальда. Вечный двигатель второго рода. Энтропия.	3	-	-	8	2	-	-	10	-	-	-	10
Тема 5. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ. Понятие термодинамического процесса. Обратимые и необратимые процессы. Изобарный, изохорный, изотермический, адиабатный и политропный процессы. Изображение термодинамических процессов в p-v- и T-s-диаграммах. Определение теплоты, работы, изменения внутренней энергии в процессах. Термодинамический анализ процессов.	5	12	10	10	3	6	4	20	1	3	3	25
Тема 6. ВОДЯНОЙ ПАР. Процессы изменения состояния паров. Кривая равновесия фаз. Процесс парообразования при постоянном давлении в p-v-, T-s- и i-s-диаграммах. Виды пара. Степень сухости. Основные свойства влажного насыщенного, сухого насыщенного и перегретого водяного пара.	6	7	10	8	3	3	4	20	1	3	3	25

Содержание разделов (модулей), тем дисциплины	Количество часов, выделяемых на виды учебной подготовки по формам обучения											
	Очная				Очно-заочная				Заочная			
	Л	ЛР	ПР	СР	Л	ЛР	ПР	СР	Л	ЛР	ПР	СР
Тема 7. ТЕРМОДИНАМИКА ПОТОКА. ИСТЕЧЕНИЕ И ДРОССЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОВ И ПАРОВ. Понятие о сопловом и диффузорном истечении газов. Адиабатное истечение. Скорость адиабатного истечения. Критическая скорость и критическое давление. Число Маха. Сопло Лавалля. Процесс дросселирования.	5	-	2	8	2	-	2	10	-	-	-	24
Тема 8. ПОНЯТИЕ О ЦИКЛАХ. Цикл. Виды циклов. Термический КПД, холодильный коэффициент. Цикл Карно, прямой и обратный. Теорема Карно.	2	-	-	-	1	-	-	5	1	-	-	10
Тема 9. ЦИКЛЫ КОМПРЕССОРОВ. Классификация, принцип действия, работа сжатия. Пути повышения КПД цикла.	3	-	4	3	1	-	2	5	-	-	-	20
Тема 10. ЦИКЛЫ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ (ДВС). Рабочее тело ДВС. Классификация ДВС. Циклы Отто, Дизеля, Тринклера. Сравнение циклов ДВС. Пути повышения термического КПД.	3	-	5	3	2	-	2	5	1	-	3	20
Тема 11. ЦИКЛЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК (ГТУ). ГТУ с различными видами подвода теплоты. Регенерация теплоты в циклах ГТУ. Пути повышения КПД цикла ГТУ.	2	-	5	2	1	-	2	6	-	-	-	15
Тема 12. ЦИКЛЫ ПАРОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК (ПСУ). Цикл Карно для влажного насыщенного пара. Цикл Ренкина с перегревом и вторичным перегревом. Регенеративный цикл. Бинарный цикл. Пути повышения КПД цикла ПСУ.	4	-	5	3	2	-	2	10	1	-	3	20
Тема 13. ЦИКЛЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК. Цикл воздушной холодильной установки. Цикл абсорбционной холодильной установки. Цикл паровой компрессорной холодильной установки.	2	-	5	3	1	-	2	5	1	-	-	20
Тема 14. ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ. ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРЫ.	2	-	-	2	1	-	-	8	-	-	-	12
Тема 15. Эксергический анализ циклов.	2	-	-	2	1	-	-	2	-	-	-	2
ИТОГО	50	40	54	72	26	18	26	146	8	12	12	243

ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арнольд, Л. В. Техническая термодинамика и теплопередача : учебник для вузов / Л. В. Арнольд, Г. А. Михайловский, В. М. Селиверстов. - 2-е изд., перераб. - Москва : Высш. шк., 1979 - 446 с. : ил. - 43-00. 31.3 - А 84 (количество экземпляров – 111).
2. Нащокин, В. В. Техническая термодинамика и теплопередача : учеб. пособие для вузов / В. В. Нащокин. - Изд. 4-е, стер. - [Москва] : Аз-book, 2008 - 468, [1] с. : ил. - Библиогр.: с. 463 - ISBN 978-5-904034-01-6 : 460-00. 31.3 - Н 37 (количество экземпляров – 93).
3. Толтов, В. М. Теплотехника : метод. указания к лаб. работам студентов для техн. направлений и специальностей / В. М. Толтов; Федер. агентство по рыболовству, ФГБОУ ВПО "Мурман. гос. техн. ун-т", Каф. энергетики и трансп. - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2013 - 107 с. : ил. - Библиогр.: с. 98 - 78-83. 31.3 - Т 54 (количество экземпляров – 99).
4. Теплотехника [Электронный ресурс] : метод. указания к лаб. работам студентов для техн. направлений и специальностей / Федер. агентство по рыболовству, ФГБОУ ВПО "Мурман. гос. техн. ун-т", Каф. энергетики и трансп. ; сост. В. М. Толтов. - Электрон. текстовые дан. (1 файл : 5.1 Мб). - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2013 - Доступ из локальной сети Мурман. гос. техн. ун-та. - Загл. с экрана. Т 34 http://elib.mstu.edu.ru/2013/M_13_103.pdf
5. Техническая термодинамика : учебник для вузов / В. И. Крутов, С. И. Исаев, И. А. Кожин [и др.] ; под ред. В. И. Крутова. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высш. шк., 1991 - 384 с. : ил. - ISBN 5-06-002045-2 : 2-00 ; 30-00.31.3 - Т 38 (количество экземпляров – 26).
6. Рабинович, О. М. Сборник задач по технической термодинамике : учеб. пособие для техникумов / О. М. Рабинович. - Изд. 5-е, перераб. - Москва : Альянс, 2015 - 344 с. + [1] отд. л. диагр. - ISBN 978-5-91842-085-1 : 640-00. 31.3 - Р 12 (количество экземпляров – 49).

СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ

Тема 1. Цели и задачи дисциплины

Основные понятия и определения. Задачи, объекты технической термодинамики. Термодинамическая система, виды. Понятие рабочего тела. Основные параметры состояния. Конструкции контрольно-измерительных приборов.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое рабочее тело и какова его роль при взаимодействии термодинамической системы с окружающей средой?
2. Какие величины называются термодинамическими параметрами?
3. Параметры состояния рабочего тела. Какие из них называются основными?
4. Виды термодинамических систем.
5. Как определить абсолютное давление газа? В чем различие между абсолютным, атмосферным и манометрическим (избыточным) давлениями?
6. Какие приборы используются для измерения давления?
7. Какие приборы используются для измерения температуры?
8. Какие приборы используются для измерения расхода?

Литература: [1], [2], [3], [4], [5], [6]

Тема 2. Идеальные и реальные газы

Понятие идеального газа. Основные законы идеального газа (Бойля-Мариотта, Гей-Люссака, Шарля, Авогадро). Уравнение Клапейрона, Менделеева-Клапейрона. Газовая постоянная, универсальная газовая постоянная. Смеси идеальных газов. Реальные газы. Уравнения для реальных газов.

Вопросы для самопроверки:

1. Что называется уравнением состояния идеального газа? Уравнения состояния для 1 кг, m кг, 1 кмоль и M кмоль идеального газа; какая величина является в них постоянной независимо от состояния и количества газа?
2. Физический смысл газовой и универсальной газовой постоянных. Какова их размерность?
3. Чему равна универсальная газовая постоянная при нормальных физических условиях?

Литература: [1], [2], [3], [4], [5], [6]

Тема 3. Первый закон термодинамики

Аналитическое выражение первого закона термодинамики. Внутренняя энергия. Работа. Теплота. Виды теплоемкостей. Уравнение Майера. Энтальпия. Вечный двигатель первого рода.

Вопросы для самопроверки:

1. Теплоемкость газов: физический смысл и пределы, в которых она изменяется?
2. Что называется массовой, объемной и мольной теплоемкостью?

3. Как определить теплоемкость в термодинамических процессах?
4. Как определить истинную и среднюю теплоемкость при линейной и нелинейной зависимости ее от температуры?
5. Чему равны разности теплоемкостей $c_p - c_v$ и $\mu c_p - \mu c_v$?
6. Как определить количество теплоты в изобарном и изохорном процессах через массовую, объемную и мольную теплоемкость?
7. Как взаимосвязана теплота, внутренняя энергия и работа по первому закону термодинамики?
8. Первый закон термодинамики. На что расходуется теплота в изохорном, изобарном, изотермическом и адиабатном процессах?
9. За счет какой энергии совершается работа в адиабатном процессе?

Литература: [1], [2], [3], [4], [5], [6]

Тема 4. Второй закон термодинамики

Формулировки Клаузиуса, Томсона, Оствальда. Вечный двигатель второго рода. Энтропия.

Вопросы для самопроверки:

1. Сформулируйте второй закон термодинамики.
2. Что такое вечный двигатель второго рода?
3. Дайте понятие энтропии. Физический смысл, единицы измерения, способы определения.

Литература: [1], [2], [5], [6]

Тема 5. Термодинамические процессы

Понятие термодинамического процесса. Обратимые и необратимые процессы. Изобарный, изохорный, изотермический, адиабатный и политропный процессы. Изображение термодинамических процессов в p - v - и T - s -диаграммах. Определение теплоты, работы, изменения внутренней энергии в процессах. Термодинамический анализ процессов.

Вопросы для самопроверки:

1. Уравнения изобарного, изохорного, изотермического и адиабатного процессов. Каково соотношение их параметров?
2. Первый закон термодинамики для изобарного, изохорного, изотермического и адиабатного процессов. Куда идет теплота в каждом процессе?
3. Как определить величину работы и теплоты, а также изменение внутренней энергии и энтальпии в каждом процессе?
4. В каком термодинамическом процессе вся подведенная теплота расходуется на изменение внутренней энергии; равна изменению энтальпии; идет на совершение работы?
5. Как называется процесс, в котором работа совершается лишь за счет уменьшения внутренней энергии?
6. В каких процессах работа, теплота, внутренняя энергия, энтальпия, энтропия и теплоемкость не изменяются?
7. Основные термодинамические процессы в p - v - и T - s -диаграммах. По каким признакам все политропные процессы можно разбить на три группы?

8. Как определить показатель политропы и каково его значение для основных термодинамических процессов?
9. Каково взаимное расположение изотермы и адиабаты в p - v -диаграмме? Изохоры и изобары в T - s -диаграмме?

Литература: [1], [2], [3], [4], [5], [6]

Тема 6. Водяной пар

Процессы изменения состояния паров. Кривая равновесия фаз. Процесс парообразования при постоянном давлении в p - v -, T - s - и i - s -диаграммах. Виды пара. Степень сухости. Основные свойства влажного насыщенного, сухого насыщенного и перегретого водяного пара.

Вопросы для самопроверки:

1. Какой пар называется водяным, и каковы его особенности как реального рабочего тела?
2. Какой пар называется влажным, сухим и перегретым?
3. Что такое степень сухости, и в каких пределах она изменяется?
4. Как определить параметры воды и сухого насыщенного пара? Каково их состояние при степени сухости $x = 0$ и $x = 1$?
5. Определение полной теплоты парообразования. Как найти всю подведенную теплоту в процессе подогрева воды, парообразования и перегрева пара?
6. Как вычислить удельный объем, энтальпию, энтропию и внутреннюю энергию влажного и сухого пара?
7. p - v -, T - s - и i - s -диаграммы водяного пара. Какие имеются в них характерные области и линии фазовых переходов?
8. Характерные кривые. Как расположены они в p - v -, T - s - и i - s -диаграммах?
9. Что определяет площадь под кривой процесса в T - s -диаграмме? Как определить теплоту парообразования и работу расширения пара в i - s -диаграмме?

Литература: [1], [2], [5], [6]

Тема 7. Термодинамика потока. Истечение и дросселирование паров и газов

Понятие о сопловом и диффузорном истечении газов. Адиабатное истечение. Скорость адиабатного истечения. Критическая скорость и критическое давление. Число Маха. Сопло Лавалья. Процесс дросселирования.

Вопросы для самопроверки:

1. Каковы особенности процесса истечения газа и пара?
2. Где происходит преобразование тепловой энергии в кинетическую, и куда расходуется теплота при истечении?
3. Что такое располагаемая работа и работа проталкивания?
4. Что называется критическим давлением и критической скоростью потока при истечении?
5. Что такое сопло и диффузор?
6. Виды сопел. Какова особенность сопла Лавалья?
7. Режимы истечения в сопло Лавалья.
8. Как определить теплоперепад при истечении газа и пара?

9. Как изобразить процесс адиабатного истечения газа и водяного пара?

Литература: [1], [2], [3], [4], [5], [6]

Тема 8. Понятие о циклах

Цикл. Виды циклов. Термический КПД, холодильный коэффициент. Цикл Карно, прямой и обратный. Теорема Карно.

Вопросы для самопроверки:

1. Что называется циклом?
2. По какому циклу работают тепловые и холодильные машины?
3. Как оценивается эффективность использования теплоты в циклах тепловых двигателей?
4. Что называется термическим КПД? Может ли он быть равным единице?
5. Как определить работу цикла и полезную теплоту?

Литература: [1], [2], [5], [6]

Тема 9. Циклы компрессоров

Классификация, принцип действия, работа сжатия. Пути повышения КПД цикла.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое компрессор? Его назначение, принцип действия.
2. Приведите классификацию компрессоров.
3. Понятие работы сжатия. Изотермическое, политропное и адиабатное сжатие.

Литература: [1], [2], [5], [6]

Тема 10. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС)

Рабочее тело ДВС. Классификация ДВС. Циклы Отто, Дизеля, Тринклера. Сравнение циклов ДВС. Пути повышения термического КПД.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое поршневой двигатель? Его назначение, принцип действия.
2. Приведите классификацию ДВС.
3. Назовите методы повышения КПД ДВС.

Литература: [1], [2], [5], [6]

Тема 11. Циклы газотурбинных установок (ГТУ)

ГТУ с различными видами подвода теплоты. Регенерация теплоты в циклах ГТУ. Пути повышения КПД цикла ГТУ.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое газотурбинная установка? Ее назначение, состав, принцип действия.
2. Приведите классификацию ГТУ.
3. Что такое регенерация в газотурбинных установках?
4. Назовите методы повышения КПД ГТУ.

Литература: [1], [2], [5], [6]

Тема 12. Циклы паросиловых установок (ПСУ)

Цикл Карно для влажного насыщенного пара. Цикл Ренкина с перегревом и вторичным перегревом. Регенеративный цикл. Бинарный цикл. Пути повышения КПД цикла ПСУ.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое паросиловая установка? Ее назначение, состав, принцип действия.
2. Приведите классификацию ПСУ.
3. Что такое регенерация в паросиловых установках?
4. Назовите методы повышения КПД ПСУ.

Литература: [1], [2], [5], [6]

Тема 13. Циклы холодильных установок

Цикл воздушной холодильной установки. Цикл абсорбционной холодильной установки. Цикл паровой компрессорной холодильной установки.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое холодильная машина? Ее назначение, принцип действия.
2. Приведите классификацию холодильных машин.
3. Способы повышения КПД холодильных машин.

Литература: [1], [2], [5], [6]

Тема 14. Тепловые насосы. Термотрансформаторы

Тепловые насосы. Назначение. Принцип действия. Классификация тепловых насосов. Термотрансформаторы. Назначение, принцип действия.

Вопросы для самопроверки:

1. Изобразите схему теплонасосной установки. Расскажите принцип действия.
2. Приведите примеры тепловых насосов.
3. Как тепловые насосы делятся по виду теплоносителя?
4. Принцип действия термотрансформатора. Назначение.

Литература: [1], [2], [5]

Тема 15. Эксергический анализ циклов

Эксергия. Эксергетический метод анализа эффективности тепловых установок.

Вопросы для самопроверки:

1. Что называется эксергией?
2. Как определить эксергию потока с помощью $i-s$ -диаграммы?
3. Изобразите $e-s$ -диаграмму. Какие характерные кривые на нее наносятся?
4. В чем заключается метод эксергетического анализа циклов тепловых установок?

Литература: [1], [2], [5]