

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Современная тепловая электрическая станция

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Заочная

Рабочая программа дисциплины
ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Обязательная
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.О.03.03
Трудоемкость в зачетных единицах:	4 семестр - 4; 5 семестр - 4; всего - 8
Часов (всего) по учебному плану:	288 часа
Лекции	4 семестр - 8 часов; 5 семестр - 8 часов; всего - 16 часов
Практические занятия	4 семестр - 4 часа; 5 семестр - 4 часа; всего - 8 часов
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	4 семестр - 2 часа; 5 семестр - 2 часа; всего - 4 часа
Самостоятельная работа	4 семестр - 128,5 часа; 5 семестр - 128,5 часа; всего - 257,0 часа
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	4 семестр - 1,2 часа; 5 семестр - 1,2 часа; всего - 2,4 часа
включая: Тестирование Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	4 семестр - 0,3 часа;
Экзамен	5 семестр - 0,3 часа;
	всего - 0,6 часа

Москва 2024

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Джураева Е.В.
	Идентификатор	R930396c8-DzhuraevaEV-8c9904a

Е.В. Джураева

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Бураков И.А.
	Идентификатор	R6e8dfb19-BurakovIA-87400e32

И.А. Бураков

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дудолин А.А.
	Идентификатор	Rb94958b9-DudolinAA-83802984

А.А. Дудолин

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение основных законов термодинамики и термодинамических методов анализа применительно к техническому оборудованию и системам производства, передачи и трансформации теплоты в теплосиловых установках

Задачи дисциплины

- освоение основных законов термодинамики, методов их применения для расчета и анализа процессов в техническом оборудовании и системах производства, передачи и трансформации теплоты в теплосиловых установках;
- овладение методами получения информации о термических и калорических свойствах веществ, применяемых в качестве теплоносителей и рабочих тел в теплосиловых установках;
- обучение методам термодинамического анализа процессов и циклов теплосиловых установок.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ОПК-3 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	ИД-5 _{ОПК-3} Демонстрирует понимание физических явлений и умеет применять физические законы механики, молекулярной физики, термодинамики, электричества и магнетизма для решения типовых задач	знать: - методы расчета термодинамических свойств и процессов идеального газа. уметь: - рассчитывать термодинамические циклы газотурбинных установок; - рассчитывать термодинамические процессы реального газа (воды и водяного пара); - рассчитывать термодинамические циклы ТЭЦ и АЭС.
ОПК-4 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	ИД-2 _{ОПК-4} Демонстрирует понимание основ термодинамики, основных законов термодинамики и применяет их для расчетов термодинамических процессов, циклов и их показателей	знать: - основные законы термодинамики и условия их применения; - методы расчета процессов идеального газа. уметь: - рассчитывать термодинамические циклы ПТУ; - рассчитывать термодинамические циклы парогазовых установок.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Современная тепловая электрическая станция (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основы дифференциального и интегрального исчисления функций одной и нескольких переменных

- знать причинно-следственные связи между объектами и явлениями природы, основанные на физических методах исследования
- знать раздел Физики (общей) "Молекулярная физика"
- уметь использовать основные понятия, законы и модели физики при решении инженерных задач
- уметь дифференцировать и интегрировать функции, решать дифференциальные уравнения
- уметь рассчитывать значения величин в единицах Международной системы измерений
- уметь использовать пакеты прикладных программ MS Office, MathCAD и прочие современные компьютерные программы для решения инженерных задач

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц, 288 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа						СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Основные понятия и законы термодинамики	22.19	4	2	-	0.75	-	0.44	-	0.30	-	18.7	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Основные понятия и законы термодинамики"</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основные понятия и законы термодинамики"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 67-72 [3], 20-25,50</p>
1.1	Основные понятия	8.07		1	-	0.5	-	0.22	-	0.15	-	6.2	-	
1.2	Первый закон термодинамики	14.12		1	-	0.25	-	0.22	-	0.15	-	12.5	-	
2	Свойства и процессы идеального газа	29.74		2	-	1.0	-	0.44	-	0.30	-	26.0	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Свойства и процессы идеального газа"</p> <p><u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Свойства и процессы идеального газа" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. Примеры вариантов домашних заданий:</p>
2.1	Термодинамические свойства идеального газа	12.37		1	-	0.5	-	0.22	-	0.15	-	10.5	-	
2.2	Термодинамические процессы идеального газа	17.37		1	-	0.5	-	0.22	-	0.15	-	15.5	-	

																<p>Вариант 1: Углекислый газ CO_2 при давлении $0,1 \text{ МПа}$ занимает объём $0,3 \text{ м}^3$. Начальная температура газа $t_1 = 20^\circ\text{C}$. Определить количество теплоты, которое нужно затратить для изобарного расширения газа до объёма $1,0 \text{ м}^3$, изменение его внутренней энергии и совершенную газом работу. Представить этот процесс в p, v-диаграмме в совокупности с процессами изотермическим и адиабатным. Вариант 2: В компрессоре сжимается кислород в количестве $0,3 \text{ кг/с}$ от давления $p_1 = 0,15 \text{ МПа}$ до давления $p_2 = 0,7 \text{ МПа}$. Температура кислорода на входе в компрессор 10°C. Определить температуру t_2, удельные объёмы v_1 и v_2, работу сжатия в расчёте на 1 кг проходящего газа. Процесс сжатия – адиабатный обратимый. Представить этот процесс в p, v-диаграмме в совокупности с процессами изотермическим и политропным при $n = 1,2$.</p> <p><u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задание является частью расчетного задания по разделу "Термодинамические свойства и процессы идеального газа". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используется следующее (пример): Параметры воздуха перед компрессором ГТУ $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$, $t_1 = 10 \text{ С}$; за компрессором $p_2 = 900 \text{ кПа}$; температура газа перед газовой турбиной $t_3 = 900 \text{ С}$; внутренние относительные КПД компрессора и газовой турбины, соответственно $0,84$ и $0,92$; расход воздуха и газа 250 кг/с. Определить следующее: 1. Параметры (давление, температуру, энтальпию, энтропию) в характерных точках</p>
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---

													цикла ГТУ и представить их в табличной форме. Считать, что для газа $s = 0$ при $T_0 = 273,15$ К и $p_0 = 0,1$ МПа. 2. Мощность газовой турбины, компрессора, ГТУ, количество подведенной теплоты Q_1 , теплоты Q_2 , отведенной с уходящими газами. 3. Термический и внутренний КПД ГТУ. Сравнить термический КПД ГТУ с термическим КПД цикла Карно. Изобразить принципиальную схему установки, цикл ГТУ а T,s-диаграмме. <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], 45-50,136,382-384 [4], 5-9 [5], 214-219,299
3	Второй закон термодинамики	20.94	1.5	-	1.0	-	0.44	-	0.2	-	17.8	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Второй закон термодинамики"
3.1	Второй закон термодинамики	11.82	1	-	0.5	-	0.22	-	0.1	-	10	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 2-28 [3], 49-107
3.2	Эксергетический анализ термодинамических систем	9.12	0.5	-	0.5	-	0.22	-	0.1	-	7.8	-	
4	Свойства и процессы реального газа	35.13	2.5	-	1.2 5	-	0.68	-	0.40	-	30.3	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Свойства и процессы реального газа"
4.1	Термодинамические свойства реального газа (воды и водяного пара)	12.37	1	-	0.5	-	0.22	-	0.15	-	10.5	-	<u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Свойства и процессы реального газа" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Примеры вариантов домашних заданий: Вариант 1. Водяной пар расширяется в турбине адиабатно и обратимо от парамет-
4.2	Термодинамические процессы реального газа (воды и водяного пара)	17.37	1	-	0.5	-	0.22	-	0.15	-	15.5	-	
4.3	Термические уравнения состояния реального газа	5.39	0.5	-	0.2 5	-	0.24	-	0.1	-	4.3	-	

												<p>ров: $p_1 = 24,0$ МПа; $t_1 = 550$ °С до давления 0,05 бар. Найти работу турбины в расчете на 1 кг проходящего пара. Представить процесс в PV, HS, TS - диаграммах. Вариант 2.</p> <p>Водяной пар нагревается изобарно при давлении 5,0 МПа от степени сухости $x_1 = 0,8$ до температуры $t_2 = 520$ °С. Найти значения внутренней энергии u_1 и u_2., теплоту и работу пара в процессе. Представить процесс в в p,v; h,s; T,s - диаграммах.</p> <p>Подготовка расчетных заданий: Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Свойства и процессы реального газа". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: В качестве задания используется следующее (пример): Начальные параметры пара перед турбиной ПТУ $t_6 = 450$ С, $p_6 = 5$ МПа; после турбины пар направляется в конденсатор, давление в котором $p_7 = 4$ кПа и затем в насос, повышающий давление до начального. Внутренние относительные КПД паровой турбины и насоса, соответственно, 0,85 и 0,71. Определить следующее: 1. Параметры (давление, температуру, энтальпию, энтропию, степень сухости) в характерных точках цикла установки и представить их в табличной форме. 2. Работу паровой турбины, насоса, цикла ПТУ, удельное количество подведенной теплоты q_1, теплоты q_2, отведенной в окружающую среду в конденсаторе. 3. Термический и внутренний КПД ПТУ. Сравнить термический КПД ПТУ с термическим КПД цикла Карно. 4. Изобразить принципиальную</p>
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

														схему установки, цикл ПТУ в T,s-диаграмме. <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], 23-32
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	-	-	0.3	-	35.7		
	Всего за семестр	144.00		8.0	-	4.0 0	-	2.00	-	1.20	0.3	92.8	35.7	
	Итого за семестр	144.00		8.0	-	4.0 0		2.00		1.20	0.3		128.5	
5	Термодинамические циклы паротурбинных установок	53.05	5	3.5	-	2.0	-	0.75	-	0.3	-	46.5	-	<u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Термодинамические циклы теплоэнергетических установок" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. Примеры заданий: Определить термический и внутренний КПД цикла ПТУ. Начальные параметры пара: давление $p_1 = 10,0$ МПа; температура $t_1 = 520^\circ\text{C}$; давление в конденсаторе $p_2 = 5$ кПа; внутренние относительные КПД турбины и насоса $\eta_{тоi}=0,85$; $\eta_{ноi}=0,71$. Определить мощности турбины, насоса и всей установки, если расход пара – 640 т/ч, и влажность пара в конце расширения в турбине. Рассчитать удельный расход условного топлива при известных КПД: котла $\eta_k = 0,9$, паропровода $\eta_{пп} = 0,98$ и электрогенератора $\eta_g = 0,97$. Представить схему установки и T,s-диаграмму цикла. <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Термодинамические циклы паротурбинных установок"
5.1	Циклы паротурбинных установок (ПТУ)	28.35		1.5	-	1	-	0.25	-	0.1	-	25.5	-	
5.2	ПТУ с промежуточным перегревом пара	12.35		1	-	0.5	-	0.25	-	0.1	-	10.5	-	
5.3	ПТУ с регенерацией	12.35		1	-	0.5	-	0.25	-	0.1	-	10.5	-	

													<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Термодинамические циклы паротурбинных установок" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 73-110 [5], 185-187,201
6	Термодинамические циклы газотурбинных установок	24.60	1.5	-	0.5 0	-	0.50	-	0.30	-	21.8	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Термодинамические циклы газотурбинных установок" <u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Термодинамические циклы газотурбинных установок". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 111-127 [5], 185-187,201
6.1	Цикл простой газотурбинной установки (ГТУ)	17.15	1	-	0.2 5	-	0.25	-	0.15	-	15.5	-	
6.2	Цикл газотурбинной установки с регенерацией	7.45	0.5	-	0.2 5	-	0.25	-	0.15	-	6.3	-	
7	Теплофикационные циклы и циклы атомных электростанций	18.80	2	-	1.0	-	0.50	-	0.30	-	15.0	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Теплофикационные циклы и циклы атомных электростанций" <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Теплофикационные циклы и циклы атомных электростанций" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 103-110
7.1	Теплофикационные циклы ПТУ. Схемы с противодавлением и с отбором пара из турбины	9.40	1	-	0.5	-	0.25	-	0.15	-	7.5	-	
7.2	Циклы АЭС	9.40	1	-	0.5	-	0.25	-	0.15	-	7.5	-	

8	Термодинамический цикл парогазовой установки с котлом - утилизатором	11.55		1	-	0.5	-	0.25	-	0.3	-	9.5	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Термодинамический цикл парогазовой установки с котлом - утилизатором"</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Термодинамический цикл парогазовой установки с котлом - утилизатором"</p> <p><u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Термодинамический цикл парогазовой установки с котлом - утилизатором". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используется следующее (пример):</p> <p>Рассчитать термодинамический цикл одноконтурной парогазовой установки (ПГУ) с котлом-утилизатором, используя ранее полученные данные о параметрах ГТУ и ПТУ. Известно также, что минимальная разность температур между газом и кипящей водой в котле-утилизаторе (КУ) составляет 10 С. Определить следующее: 1. Расход пара в паротурбинном контуре, мощность паровой турбины, насоса, ПТУ. 2. Мощность ПГУ, количество теплоты Q_2, отведенной через конденсатор в окружающую среду, теплоты $Q_{ку}$, переданной в КУ за единицу времени. 3. Внутренний КПД ПГУ и котла-утилизатора. Сравнить внутренний КПД ПГУ с термическим КПД цикла Карно. 4. Изобразить принципиальную схему установки, цикл ПГУ в T,s-диаграмме и процессы, совершаемые газом и водяным паром в котле-утилизаторе, в T,Q-диаграмме. 5. Оформить расчетное задание полностью.</p>
8.1	ПГУ	11.55		1	-	0.5	-	0.25	-	0.3	-	9.5	-	

													<i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i> [2], 128-133
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	-	-	0.3	-	35.7	
	Всего за семестр	144.00		8.0	-	4.0 0	-	2.00	-	1.20	0.3	92.8	35.7
	Итого за семестр	144.00		8.0	-	4.0 0	2.00		1.20	0.3		128.5	
	ИТОГО	288.00	-	16.0	-	8.0 0	4.00		2.40	0.6		257.0	

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Основные понятия и законы термодинамики

1.1. Основные понятия

Термодинамическая система и окружающая среда. Функции состояния и функции процесса. Равновесные и неравновесные состояния и процессы.

1.2. Первый закон термодинамики

Первый закон термодинамики как закон сохранения и превращения энергии.. Теплота и работа - формы передачи энергии. Работа расширения и техническая работа. Внутренняя энергия и энтальпия. Аналитическое выражение первого закона термодинамики. Уравнение первого закона термодинамики для неравновесных процессов. Уравнение первого закона термодинамики для стационарного одномерного потока.

2. Свойства и процессы идеального газа

2.1. Термодинамические свойства идеального газа

Уравнение состояния идеального газа (Клапейрона - Менделеева).. Калорические свойства идеального газа.. Молекулярно-кинетическая теория теплоемкости идеальных газов.. Зависимость теплоемкости идеального газа от температуры.. Внутренняя энергия и энтальпия идеального газа.. Таблицы термодинамических свойств идеальных газов..

2.2. Термодинамические процессы идеального газа

Изобарный процесс идеального газа. Соотношение параметров, расчет теплоты и работы расширения по таблицам, изображение процесса в диаграммах.. Изохорный процесс идеального газа. Соотношение параметров, расчет теплоты и работы расширения по таблицам, изображение процесса в диаграммах. Изотермический процесс идеального газа. Соотношение параметров, расчет теплоты и работы расширения по таблицам, изображение процесса в диаграммах. Адиабатный (идеальный и реальный) процесс идеального газа. Соотношение параметров, расчет теплоты, работы расширения и технической работы (неохлаждаемый компрессор и газовая турбина) по таблицам, изображение процесса в диаграммах. Политропный процесс идеального газа. Соотношение параметров, расчет теплоты, работы расширения и технической работы по таблицам, изображение процесса в диаграммах.

3. Второй закон термодинамики

3.1. Второй закон термодинамики

Обратимые и необратимые процессы. Основные причины необратимости процессов. Формулировки второго закона термодинамики и связь между ними. Термодинамические циклы. Термический коэффициент полезного действия цикла теплового двигателя. Цикл Карно и его КПД. Коэффициенты трансформации теплоты цикла холодильной машины. Обратный цикл Карно. Энтропия. T,s-диаграмма. Термодинамические циклы в T,s-диаграмме. Формулировки и аналитические выражения второго закона термодинамики для обратимых и необратимых процессов.

3.2. Эксергетический анализ термодинамических систем

Эксергия теплоты. Эксергия потока вещества. Уравнение Гюи - Стодола. Эксергетический КПД.

4. Свойства и процессы реального газа

4.1. Термодинамические свойства реального газа (воды и водяного пара)

Отличия свойств реальных газов от идеальных. Фаза и фазовый переход. Тройная точка, критическая точка вещества. Фазовые диаграммы реального газа (p, V -, p, T -, T, s -, h, s -). Вода и водяной пар. Удельный объем, энтальпия и энтропия воды, влажного, сухого насыщенного и перегретого пара. Сверхкритическая область состояния пара. T, s - и h, s - диаграммы водяного пара.

4.2. Термодинамические процессы реального газа (воды и водяного пара)

Расчет теплоты и работы расширения в изобарном процессе. Изображение процесса в диаграммах. Расчет теплоты и работы расширения в изохорном процессе. Изображение процесса в диаграммах. Расчет теплоты и работы расширения в изотермическом процессе. Изображение процесса в диаграммах. Расчет теплоты, работы расширения и технической работы в адиабатном (реальном и идеальном) процессе. Изображение процесса в диаграммах. Адиабатное дросселирование. Расчет процесса. Коэффициент Джоуля-Томсона. Точки и кривая инверсии. Сравнение эффектов охлаждения при изоэнтропном расширении и адиабатном дросселировании.

4.3. Термические уравнения состояния реального газа

Уравнение Ван-дер-Ваальса. Вириальное уравнение состояния, вириальные коэффициенты. Подобие термодинамических свойств веществ, z, p - диаграмма..

5. Термодинамические циклы паротурбинных установок

5.1. Циклы паротурбинных установок (ПТУ)

Принципиальная схема ПТУ. Цикл в p, v - и T, s - диаграммах.. Термический КПД цикла ПТУ. Влияние начальных и конечных параметров пара на термический КПД цикла.. Необратимое расширение пара в турбине и сжатие воды в насосе. Действительный КПД цикла ПТУ..

5.2. ПТУ с промежуточным перегревом пара

Цикл и схема ПТУ с промежуточным перегревом пара.. Цикл в T, s - и h, s - диаграммах. КПД цикла..

5.3. ПТУ с регенерацией

Регенеративный подогрев питательной воды в циклах ПТУ. Схема регенеративного подогрева с отбором пара.. Термический КПД, зависимость его от числа подогревателей и температуры питательной воды..

6. Термодинамические циклы газотурбинных установок

6.1. Цикл простой газотурбинной установки (ГТУ)

Компрессоры охлаждаемые и неохлаждаемые.. Влияние параметров газа на КПД цикла..

6.2. Цикл газотурбинной установки с регенерацией

Принципиальная схема и цикл с регенерацией, изображение цикла в T, s -диаграмме.. Принципиальная схема и цикл с регенерацией, изображение цикла в T, s -диаграмме.. Удельная работа, подведенная и отведенная теплота, внутренний КПД цикла..

7. Теплофикационные циклы и циклы атомных электростанций

7.1. Теплофикационные циклы ПТУ. Схемы с противодавлением и с отбором пара из турбины

Критерии оценки эффективности циклов ПТУ-ТЭЦ: коэффициент использования теплоты (топлива), отопительный коэффициент, эксергетический КПД.. Принципиальная схема и циклы в Ts- диаграмме для ТЭЦ с турбиной типа Р (турбина с противодавлением).. Принципиальная схема и циклы в Ts- диаграмме для ТЭЦ с турбиной типа Т (турбина с отборами пара из турбины)..

7.2. Циклы АЭС

Принципиальная схема и цикл ПТУ с одним промежуточным сепаратором пара.. Принципиальная схема и цикл в Ts-диаграмме, процессы в hs - диаграмме.. Принципиальная схема и цикл ПТУ с сепарацией и перегревом пара.. Принципиальная схема и цикл в Ts-диаграмме, процессы в hs - диаграмме..

8. Термодинамический цикл парогазовой установки с котлом - утилизатором

8.1. ПГУ

Термодинамический цикл парогазовой установки с котлом - утилизатором. Ts - диаграмма ПГУ. Мощность ПГУ, КПД цикла.

3.3. Темы практических занятий

1. Уравнение Клапейрона - Менделеева;;
2. 1 закон термодинамики;;
3. Процессы с идеальными газами;;
4. 2 закон термодинамики;;
5. Термодинамический цикл газотурбинной установки с регенерацией;;
6. Процессы с водой и водяным паром: изобарный и изохорный.;;
7. Цикл ПТУ с регенерацией;;
8. Процессы с водой и водяным паром: изотермический, адиабатный, поток вещества.;;
9. Цикл ПТУ;;
10. Теплофикационные циклы;;
11. Цикл АЭС;;
12. Термодинамический цикл простой газотурбинной установки;;
13. Определение параметров воды и водяного пара;;
14. Термодинамический цикл парогазовой установки.

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по темам раздела "Основные понятия и законы термодинамики"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Свойства и процессы идеального газа". Разбор сложных моментов, вызывающих трудности при решении задач.
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Свойства и процессы реального газа". Разбор сложных моментов, вызывающих трудности при решении задач.

4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Термодинамические циклы паротурбинных установок"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Термодинамические циклы газотурбинных установок"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Теплофикационные циклы и циклы атомных электростанций"
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Термодинамический цикл парогазовой установки с котлом - утилизатором"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)								Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Знать:										
методы расчета термодинамических свойств и процессов идеального газа	ИД-5 _{ОПК-3}	+								Тестирование/Процессы с идеальными газами. p, v, T - процессы
методы расчета процессов идеального газа	ИД-2 _{ОПК-4}		+							Тестирование/Процессы с идеальными газами. s, p, поток вещества
основные законы термодинамики и условия их применения	ИД-2 _{ОПК-4}			+	+					Контрольная работа/Термодинамические процессы с водой и водяным паром. T, s - процессы
Уметь:										
рассчитывать термодинамические циклы ТЭЦ и АЭС	ИД-5 _{ОПК-3}							+		Контрольная работа/Расчет термодинамического цикла АЭС и ТЭЦ
рассчитывать термодинамические процессы реального газа (воды и водяного пара)	ИД-5 _{ОПК-3}			+						Контрольная работа/Термодинамические процессы с водой и водяным паром. v, p - процессы (Контрольная работа)
рассчитывать термодинамические циклы газотурбинных установок	ИД-5 _{ОПК-3}						+			Контрольная работа/Расчет термодинамического цикла газотурбинной установки
рассчитывать термодинамические циклы парогазовых установок	ИД-2 _{ОПК-4}								+	Контрольная работа/Расчет термодинамического цикла парогазовой установки
рассчитывать термодинамические циклы ПТУ	ИД-2 _{ОПК-4}					+				Тестирование/Расчет термодинамических циклов паротурбинной установки

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

4 семестр

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Процессы с идеальными газами. p, v, T - процессы (Тестирование)
2. Процессы с идеальными газами. s, p , поток вещества (Тестирование)

Форма реализации: Письменная работа

1. Термодинамические процессы с водой и водяным паром. T, s - процессы (Контрольная работа)
2. Термодинамические процессы с водой и водяным паром. v, p - процессы (Контрольная работа) (Контрольная работа)

5 семестр

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Расчет термодинамических циклов паротурбинной установки (Тестирование)

Форма реализации: Письменная работа

1. Расчет термодинамического цикла АЭС и ТЭЦ (Контрольная работа)
2. Расчет термодинамического цикла газотурбинной установки (Контрольная работа)
3. Расчет термодинамического цикла парогазовой установки (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №4)

Экзамен (Семестр №5)

В диплом выставляется оценка за 5 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Александров, А. А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник : Рек. Гос. службой стандартных справочных данных ГСССД Р-776-98 / А. А. Александров, Б. А. Григорьев . – М. : Изд-во МЭИ, 2003 . – 168 с. - К 100-летию со дня рождения М.П. Вукаловича . - ISBN 5-7046-0397-1 .;
2. Александров, А. А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок : учебное пособие для вузов по направлению "Теплоэнергетика" / А. А. Александров . – 2-е изд., стереот . – М. : Издательский дом МЭИ, 2006 . – 158 с. - ISBN 5-903072-60-7 .;

3. Кириллин В.А. , Сычев В.В. , Шейндлин А.Е. - "Техническая термодинамика", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2016 - (496 с.)
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72305;
4. Ривкин, С. Л. Термодинамические свойства газов / С. Л. Ривкин . – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1964 . – 294 с.;
5. Цирельман Н. М.- "Техническая термодинамика", (2-е изд., доп.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2018 - (352 с.)
<https://e.lanbook.com/book/107965>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др).

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
5. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
6. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
7. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
8. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
9. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
10. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-417/6, Белая мультимедийная студия	стол компьютерный, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, компьютер персональный
	Ж-417/7, Световая черная студия	стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, микрофон, мультимедийный проектор, экран, оборудование специализированное, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-417/1, Компьютерный класс ИДДО	стол преподавателя, стол компьютерный, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная передвижная, компьютер персональный, принтер,

		кондиционер, стенд информационный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-417/1, Компьютерный класс ИДДО	стол преподавателя, стол компьютерный, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная передвижная, компьютер персональный, принтер, кондиционер, стенд информационный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-201, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Ж-2006, Конференц-зал ИДДО	стол, стул, компьютер персональный, кондиционер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Ж-417 /2а, Помещение для инвентаря	стеллаж для хранения инвентаря, экран, указка, архивные документы, дипломные и курсовые работы студентов, канцелярский принадлежности, спортивный инвентарь, хозяйственный инвентарь, запасные комплектующие для оборудования

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Техническая термодинамика

(название дисциплины)

4 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Процессы с идеальными газами. p, v, T - процессы (Тестирование)
- КМ-2 Процессы с идеальными газами. s, n , поток вещества (Тестирование)
- КМ-3 Термодинамические процессы с водой и водяным паром. v, p - процессы (Контрольная работа) (Контрольная работа)
- КМ-4 Термодинамические процессы с водой и водяным паром. T, s - процессы (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	10	12
1	Основные понятия и законы термодинамики					
1.1	Основные понятия		+			
1.2	Первый закон термодинамики		+			
2	Свойства и процессы идеального газа					
2.1	Термодинамические свойства идеального газа			+		
2.2	Термодинамические процессы идеального газа			+		
3	Второй закон термодинамики					
3.1	Второй закон термодинамики				+	
3.2	Эксергетический анализ термодинамических систем					+
4	Свойства и процессы реального газа					
4.1	Термодинамические свойства реального газа (воды и водяного пара)					+
4.2	Термодинамические процессы реального газа (воды и водяного пара)					+
4.3	Термические уравнения состояния реального газа					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25

5 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-5 Расчет термодинамических циклов паротурбинной установки (Тестирование)

КМ-6 Расчет термодинамического цикла АЭС и ТЭЦ (Контрольная работа)

КМ-7 Расчет термодинамического цикла газотурбинной установки (Контрольная работа)

КМ-8 Расчет термодинамического цикла парогазовой установки (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
		Неделя КМ:	4	8	6	12
1	Термодинамические циклы паротурбинных установок					
1.1	Циклы паротурбинных установок (ПТУ)		+			
1.2	ПТУ с промежуточным перегревом пара		+			
1.3	ПТУ с регенерацией		+			
2	Термодинамические циклы газотурбинных установок					
2.1	Цикл простой газотурбинной установки (ГТУ)				+	
2.2	Цикл газотурбинной установки с регенерацией				+	
3	Теплофикационные циклы и циклы атомных электростанций					
3.1	Теплофикационные циклы ПТУ. Схемы с противодавлением и с отбором пара из турбины			+		
3.2	Циклы АЭС			+		
4	Термодинамический цикл парогазовой установки с котлом - утилизатором					
4.1	ПГУ					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25