

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования  
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

**УТВЕРЖДЕНА:**  
на заседании кафедры  
Протокол №7 от 10 марта 2025 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**«ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА / ENGINEERING THERMODYNAMICS»**

---

Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

---

Технологии и инжиниринг в теплоэнергетике

---

Квалификация: Бакалавр

---

Форма обучения: очная

---

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

**1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

**1.1 Дисциплина «Техническая термодинамика» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения**

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ОПК ОС-3 Способность демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	ОПК ОС-3.2, ОПК ОС-3.5, ОПК ОС-3.9
ОПК ОС-4 Способность проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники	ОПК ОС-4.1, ОПК ОС-4.3

**1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы**

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ОПК ОС-3.2	Понимает и использует методы расчета и анализа работы теплотехнических установок и систем на идеальном газе	<b>Знать</b> законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты; калорические свойства веществ применительно к рабочим телам теплосиловых установок; термодинамические процессы и циклы преобразования энергии, протекающие в теплотехнических установках и системах на идеальном газе. <b>Уметь</b> проводить термодинамический анализ циклов тепловых машин с целью оптимизации их рабочих характеристик и максимизации КПД теплотехнических установок и систем на идеальном газе. <b>Владеть</b> основами термодинамического анализа рабочих процессов в тепловых машинах на идеальном газе, определения параметров их работы и тепловой эффективности.
ОПК ОС-3.5	Понимает и использует методы расчета и анализа работы теплотехнических установок и систем на реальном газе	<b>Знать</b> законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты, калорические свойства веществ применительно к рабочим телам теплосиловых установок,

		<p>термодинамические процессы реального газа.</p> <p><b>Уметь</b> проводить термодинамический анализ процессов, протекающих в теплосиловых установках на реальных рабочих телах.</p> <p><b>Владеть</b> основами термодинамического анализа термодинамических процессов, протекающих в тепловых и холодильных машинах на реальных рабочих телах, основами определения параметров их работы.</p>
ОПК ОС-3.9	<p>Понимает и использует методы расчета и анализа термодинамических циклов при выборе технологии производства тепловой и электрической энергии и при эксплуатации теплотехнических установок и систем на реальных рабочих телах</p>	<p><b>Знать</b> термодинамические циклы преобразования энергии, протекающие в теплотехнических установках и системах на реальных рабочих телах.</p> <p><b>Уметь</b> проводить термодинамический анализ циклов теплосиловых установок на реальных рабочих телах с целью оптимизации рабочих характеристик и повышения эффективности.</p> <p><b>Владеть</b> основами термодинамического анализа рабочих процессов в циклах тепловых и холодильных машинах на реальных рабочих телах, основами определения параметров их работы и тепловой эффективности.</p>
ОПК ОС-4.1	<p>Проводит теплотехнические измерения с использованием методов термодинамического анализа для контроля параметров идеального газа на оборудовании объектов теплоэнергетики и теплотехники</p>	<p><b>Знать</b> методы измерения калорических свойств веществ в теплосиловых установках, в которых рабочее тело подчиняется законам идеального газа.</p> <p><b>Уметь</b> проводить термодинамический анализ циклов теплосиловых установок, применяя теплотехнические измерения параметров идеального газа для контроля за техническим состоянием основного и вспомогательного тепломеханического оборудования с целью оптимизации их характеристик.</p>

		<b>Владеть</b> навыками теплотехнических измерений параметров идеального газа для контроля за техническим состоянием основного и вспомогательного тепломеханического оборудования на объектах теплоэнергетики и теплотехники.
ОПК ОС-4.3	Проводит теплотехнические измерения с использованием методов термодинамического анализа для контроля параметров реального газа на оборудовании объектов теплоэнергетики и теплотехники	<b>Знать</b> методы измерения калорических свойств веществ в теплосиловых установках и машинах, работающих на реальных рабочих телах. <b>Уметь</b> проводить термодинамический анализ циклов теплосиловых установок, применяя теплотехнические измерения характеристик реального рабочего тела для контроля за техническим состоянием основного и вспомогательного тепломеханического оборудования с целью оптимизации их характеристик. <b>Владеть</b> навыками теплотехнических измерений реального рабочего тела для контроля за техническим состоянием основного и вспомогательного тепломеханического оборудования на объектах теплоэнергетики и теплотехники.

## 2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Техническая термодинамика» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Математика», «Химия», «Физика», «Введение в профессиональную деятельность»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Оборудование ТЭС», «Парогенераторы», «Проектная деятельность», «Производственная практика: вторая технологическая практика», «Производственная практика: первая технологическая практика», «Производственная практика: эксплуатационная практика», «Режимы работы энергетических установок», «Системы теплоснабжения», «Тепловые и атомные электростанции», «Тепломассообмен», «Тепломассообменные установки в теплоэнергетике и в промышленности», «Теплоэнергетические процессы энергоемких отраслей промышленности»

## 3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 10 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)			
	Всего	Семестр № 2	Семестр № 3	Семестр № 4
Общая трудоемкость дисциплины	360	72	144	144
Аудиторные занятия, в том числе:	160	48	48	64
лекции	64	16	16	32
лабораторные работы	32	16	16	0
практические/семинарские занятия	64	16	16	32
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	128	24	60	44
Трудоемкость промежуточной аттестации	72	0	36	36
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Зачет, Экзамен	Зачет	Экзамен	Экзамен

#### 4 Структура и содержание дисциплины

##### 4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

##### Семестр № 2

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)				
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Основные параметры состояния. Уравнение состояния идеального газа. Газовые законы. Идеальные газовые смеси.	1, 2	4			1	4	1, 3, 4	5	Тест, Решение задач
2	Первый закон термодинамики. Теплоёмкость.	3, 4	4	1	4	2	4	2, 3, 4	5	Тест, Решение задач
3	Исследование термодинамическ их процессов идеальных газов.	5, 6	4	2, 3, 4	12	3	4	2, 3, 4	7	Тест, Решение задач
4	Второй закон термодинамики. Циклы.	7, 8	4			4	4	2, 3, 4	7	Тест, Решение задач

	Промежуточная аттестация									Зачет
	Всего		16		16		16		24	

### Семестр № 3

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)				
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Фазовые переходы.	1, 2	4	1, 2	6			2, 3, 4	13	Тест
2	Исследование термодинамическ их процессов реальных газов.	3, 4	6	3, 4	6	1	8	2, 3, 4	23	Тест, Решение задач
3	Теория потока.	5, 6	4	5	4	2	6	2, 3, 4	18	Тест, Решение задач
4	Влажный воздух.	7	2			3	2	1, 3	6	Письменн ый опрос
	Промежуточная аттестация								36	Экзамен
	Всего		16		16		16		96	

### Семестр № 4

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)				
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Циклы компрессоров.	1	2			1	4	1, 2, 3	8	Тест, Решение задач
2	Теплосиловые газовые циклы.	2, 3	4			2	4	1, 2, 3	8	Решение задач, Тест
3	Работоспособность термодинамической системы	4	2			3	2			Решение задач
4	Теплосиловые паровые циклы	5, 6, 7, 8, 9	20			4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	20	1, 2, 3	23	Решение задач, Тест
5	Холодильные циклы	10, 11	4			11	2	1, 2	5	Устный опрос, Решение задач
	Промежуточная аттестация								36	Экзамен
	Всего		32				32		80	

### 4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

#### Семестр № 2

№	Тема	Краткое содержание
1	Основные параметры	Предмет и метод термодинамики. Параметры

	состояния. Уравнение состояния идеального газа. Газовые законы. Идеальные газовые смеси.	состояния. Термодинамический процесс. Равновесные и неравновесные состояния и процессы. Термодинамическое равновесие. Идеальный газ. Основные законы идеального газа (Бойля-Мариотта, Гей-Люссака, Шарля). Термическое уравнение состояние идеального газа. Универсальная газовая постоянная, удельные газовые постоянные. Универсальное уравнение состояния идеального газа. Понятие о смесях. Способы задания и определение состава смеси. Расчет термодинамических свойств смеси идеальных газов по свойствам компонентов (кажущаяся молекулярная масса смеси, газовая постоянная смеси, удельный объем и плотность смеси).
2	Первый закон термодинамики. Теплоёмкость.	Теплота и работа – формы передачи энергии. Первый закон термодинамики как закон сохранения и превращения энергии. Внутренняя энергия и энтальпия. Работа расширения. Аналитические выражения первого закона. Уравнение первого закона термодинамики для стационарного потока массы. Свойства энтальпии, ее физический смысл. Теплоемкость газов (понятие теплоемкости, массовая, мольная, объемная теплоемкости, связь между ними). Изохорная и изобарная теплоемкости. Молекулярно-кинетическая и квантовая теории теплоемкости газов. Истинная и средняя теплоемкости.
3	Исследование термодинамических процессов идеальных газов.	Порядок исследования термодинамических процессов. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Изотермический процесс. Адиабатный процесс. Политропные процессы.
4	Второй закон термодинамики. Циклы.	Основные положения второго закона. Круговые термодинамические процессы, или циклы. Термический коэффициент полезного действия. Прямой обратимый цикл Карно. Теорема Карно. Обобщенный (регенеративный) цикл Карно. Тs-диаграмма и ее свойства. Термодинамические циклы в Тs-диаграмме. Свойства обратимых и необратимых циклов. Изменение энтропии в них. Принцип возрастания энтропии и физический смысл второго закона термодинамики.

### Семестр № 3

№	Тема	Краткое содержание
1	Фазовые переходы.	Термодинамические свойства реальных газов. Фазовые переходы. Точки фазового перехода. Рv-диаграмма. Фазовая Р,Т-диаграмма. Условия фазового равновесия. Правило фаз Гиббса. Уравнение Менделеева - Клаузиуса. Уравнения

		состояния реальных газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса и его анализ.
2	Исследование термодинамических процессов реальных газов.	$p, v$ -диаграмма водяного пара. Удельный объем, энтальпия и энтропия воды, влажного, сухого насыщенного и перегретого пара. Сверхкритическая область состояния пара. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара, других веществ. $T, s$ - диаграмма и $h, s$ - диаграмма для водяного пара. Порядок расчета термодинамических процессов реального газа. Изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный процессы.
3	Теория потока.	Уравнение I закона термодинамики для потока. Сопла и диффузоры. Истечение через сужающееся сопло. График зависимости массового расхода от отношения давления газа к давлению среды. Эффект самоторможения. Скорость звука. Истечение с учетом необратимости. Коэффициенты скорости и расхода. Эффект Джоуля-Томпсона. Дросселирование реальных газов. Истечение через комбинированное сопло Лавалья.
4	Влажный воздух.	Абсолютная и относительная влажность влажного воздуха. Влажность. Температура точки росы. Расчет термодинамических свойств влажного воздуха. $h, d$ -диаграмма влажного воздуха. Термодинамические процессы с влажным воздухом.

#### Семестр № 4

№	Тема	Краткое содержание
1	Циклы компрессоров.	Компрессоры. Типы компрессоров. Работа одноступенчатого компрессора. Теоретическая диаграмма одноступенчатого компрессора. Диаграмма действительного цикла. Процессы в реальном цикле компрессора. Относительный внутренний КПД компрессора. Цикл многоступенчатого компрессора.
2	Теплосиловые газовые циклы.	Принцип действия и классификация двигателей внутреннего сгорания. Индикаторная диаграмма и цикл поршневого двигателя внутреннего сгорания. Циклы с подводом тепла при постоянном объеме, при постоянном давлении и смешанным подводом тепла. КПД циклов и их термодинамический анализ. Принципиальная схема газотурбинной установки. Цикл газотурбинной установки с подводом тепла при постоянном давлении. Термический КПД идеального цикла. Регенерация, многоступенчатое сжатие.



3	Работоспособность термодинамической системы	Максимальная полезная работа. Эксергия. Потеря эксергии в необратимых процессах.
4	Теплосиловые паровые циклы	Цикл Карно на влажном паре. Принципиальная схема паротурбинной установки. Цикл Ренкина. Изображение цикла Ренкина в $p,v$ - и $T,s$ диаграммах. Термический КПД цикла. Влияние начальных и конечных параметров пара на термический КПД цикла. Необратимое расширение пара в турбине. Тепловой и энергетический балансы паротурбинной установки. Цикл и схема паротурбинной установки со вторичным перегревом пара. Изображение цикла в $T,s$ - и $h,s$ -диаграммах. КПД цикла. Регенеративный подогрев питательной воды. Термический КПД регенеративного цикла. Бинарный цикл на примере парогазовой установки. Комбинированная выработка электроэнергии и тепла. Теплофикационные схемы. Общие сведения о методах анализа эффективности циклов. Методы сравнения термических КПД обратимых циклов. Метод коэффициентов полезного действия в анализе необратимых циклов. Эксергетический метод расчета потерь работоспособности.
5	Холодильные циклы	Основные понятия о работе холодильных установок. Обратный цикл Карно. Холодильный коэффициент. Принципиальная схема и цикл воздушной холодильной установки. Принципиальная схема и цикл парокомпрессионной холодильной установки.

### 4.3 Перечень лабораторных работ

#### Семестр № 2

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Определение изобарной теплоемкости воздуха при атмосферном давлении.	4
2	Исследование адиабатного процесса однородного газа с помощью таблиц термодинамических свойств газов.	4
3	Исследование адиабатного процесса газовой смеси с помощью таблиц термодинамических свойств газов.	4
4	Исследование эффективности обратимого теплового цикла	4

#### Семестр № 3

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
---	----------------------------------	----------------------------

		<b>часов</b>
1	Изотермическое сжатие углекислого газа. Моделирование на ЭВМ опыта Т. Эндрюса.	2
2	Исследование кривой насыщения воды - водяного пара.	4
3	Исследование изохорного нагревания воды - водяного пара при $v = v_{кр}$ и при $v > v_{кр}$	4
4	Исследование термодинамических процессов реальных газов с применением таблиц теплофизических свойств.	2
5	Исследование процесса адиабатного истечения воздуха через сужающееся сопло.	4

#### 4.4 Перечень практических занятий

##### Семестр № 2

<b>№</b>	<b>Темы практических (семинарских) занятий</b>	<b>Кол-во академических часов</b>
1	Параметры состояния. Законы и уравнение состояния идеальных газов. Смеси идеальных газов.	4
2	Первый закон термодинамики. Теплоемкость, энтальпия и внутренняя энергия идеальных газов.	4
3	Термодинамические процессы с идеальными газами	4
4	Второй закон термодинамики. Газовые циклы.	4

##### Семестр № 3

<b>№</b>	<b>Темы практических (семинарских) занятий</b>	<b>Кол-во академических часов</b>
1	Реальные газы. Свойства воды и водяного пара. Процессы изменения его состояния.	8
2	Истечение и дросселирование газов и паров.	6
3	Определение параметров влажного воздуха	2

##### Семестр № 4

<b>№</b>	<b>Темы практических (семинарских) занятий</b>	<b>Кол-во академических часов</b>
1	Сравнение циклов одноступенчатого сжатия в компрессоре: изотермически, адиабатно и политропно. Решение проблемы преодоления температурного предела и подбор числа ступеней сжатия.	4
2	Циклы двигателей внутреннего сгорания.	4
3	Максимальная полезная работа. Эксергия. Потеря эксергии в необратимых процессах.	2
4	Цикл Карно на влажном паре. Цикл Ренкина без перегрева пара и с перегревом пара.	4

5	Цикл паротурбинной установки с вторичным перегревом пара.	2
6	Бинарные циклы. Цикл парогазовой установки.	2
7	Влияние параметров пара на эффективность цикла Ренкина.	2
8	Регенеративные циклы.	4
9	Теплофикационные циклы.	2
10	Влияние необратимых потерь на эффективность работы паросиловых установок.	4
11	Циклы холодильных машин.	2

#### 4.5 Самостоятельная работа

##### Семестр № 2

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Написание отчета	2
2	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	10
3	Подготовка к зачёту	8
4	Тестирование по разделам дисциплин	4

##### Семестр № 3

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Написание отчета	2
2	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	19
3	Подготовка к экзамену	36
4	Тестирование по разделам дисциплин	3

##### Семестр № 4

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Написание отчета	5
2	Подготовка к экзамену	36
3	Тестирование по разделам дисциплин	3

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: решение кейсов, мозговой штурм, дискуссия

#### 5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

##### 5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

###### 5.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

<https://el.istu.edu/course/view.php?id=220>

###### 5.1.2 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

<https://el.istu.edu/course/view.php?id=220>

### **5.1.3 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:**

<https://el.istu.edu/course/view.php?id=220>

## **6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине**

### **6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля**

#### **6.1.1 семестр 2 | Тест**

##### **Описание процедуры.**

онлайн тестирование

##### **Критерии оценивания.**

автоматическое оценивание в электронном ресурсе, проходной балл 60% правильных ответов

#### **6.1.2 семестр 2 | Решение задач**

##### **Описание процедуры.**

решенные задачи студенты загружают в электронный ресурс

##### **Критерии оценивания.**

правильно решенная задача - отлично  
с небольшими неточностями в решении - хорошо  
с грубыми ошибками - удовлетворительно  
неправильное решение -неудовлетворительно

#### **6.1.3 семестр 3 | Тест**

##### **Описание процедуры.**

онлайн тестирование

##### **Критерии оценивания.**

автоматическое оценивание в электронном ресурсе, проходной балл 60% правильных ответов

#### **6.1.4 семестр 3 | Решение задач**

##### **Описание процедуры.**

решенные задачи студенты загружают в электронный ресурс

##### **Критерии оценивания.**

отлично - правильно решенная задача;  
хорошо -с небольшими неточностями в решении;

удовлетворительно - решение с грубыми ошибками;  
неудовлетворительно -неправильное решение.

#### **6.1.5 семестр 3 | Письменный опрос**

##### **Описание процедуры.**

ответы на вопросы студенты загружают в электронный ресурс

##### **Критерии оценивания.**

отлично - правильный ответ на все вопросы;  
хорошо - ответ с небольшими неточностями;  
удовлетворительно - ответ с грубыми ошибками;  
неудовлетворительно -неправильный ответ.

#### **6.1.6 семестр 4 | Решение задач**

##### **Описание процедуры.**

решенные задачи студенты загружают в электронный ресурс

##### **Критерии оценивания.**

отлично - правильно решенная задача;  
хорошо -с небольшими неточностями в решении;  
удовлетворительно - решение с грубыми ошибками;  
неудовлетворительно -неправильное решение.

#### **6.1.7 семестр 4 | Тест**

##### **Описание процедуры.**

онлайн тестирование

##### **Критерии оценивания.**

автоматическое оценивание в электронном ресурсе, проходной балл 60% правильных ответов

#### **6.1.8 семестр 4 | Устный опрос**

##### **Описание процедуры.**

студент устно отвечает на поставленные вопросы

##### **Критерии оценивания.**

отлично - правильный ответ на все вопросы;  
хорошо - ответ с небольшими неточностями;  
удовлетворительно - ответ с грубыми ошибками;  
неудовлетворительно -неправильный ответ.

### **6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

#### **6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации**

<b>Индикатор достижения компетенции</b>	<b>Критерии оценивания</b>	<b>Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации</b>
ОПК ОС-3.2	Демонстрирует знание законов сохранения и превращения энергии, термодинамических процессов и циклов преобразования энергии, умеет проводить термодинамический анализ циклов теплотехнических установок и систем на идеальном газе.	Выполнение практических и самостоятельных работ, оформление и защита лабораторных работ, тестирование.
ОПК ОС-3.5	Демонстрирует знание законов сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты, калорические свойства веществ применительно к рабочим телам теплосиловых установок, термодинамические процессы преобразования энергии, протекающих в теплотехнических установках и системах на реальном газе; умеет пользоваться диаграммами реального газа для выполнения теплотехнических расчетов с определением рабочих характеристик теплотехнических установок и систем на реальном газе.	Выполнение практических и самостоятельных работ, оформление и защита лабораторных работ, тестирование, устное собеседование по экзаменационным билетам.
ОПК ОС-3.9	Демонстрирует знание законов сохранения и превращения энергии, термодинамических процессов и циклов, осуществляемых в теплотехнических установках и системах на реальных рабочих телах, а также умение проводить термодинамический анализ этих циклов.	Выполнение практических и самостоятельных работ, тестирование, устное собеседование по экзаменационным билетам.
ОПК ОС-4.1	Демонстрирует знание методов измерения калорических свойств веществ в теплосиловых установках, в которых рабочее тело подчиняется законам идеального газа; проводит теплотехнические измерения.	Выполнение, оформление и защита лабораторных работ.
ОПК ОС-4.3	Демонстрирует знание методов измерения калорических свойств веществ в теплосиловых установках, в которых рабочее тело подчиняется	Выполнение, оформление и защита лабораторных

	законам реального газа, а также в машинах, работающих на реальных рабочих телах; проводит теплотехнические измерения.	работ.
--	---	--------

## 6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

### 6.2.2.1 Семестр 2, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

#### 6.2.2.1.1 Описание процедуры

Студент устно отвечает экзаменатору на вопрос:

1. Основные параметры состояния. Уравнение состояния идеального газа.
2. Внутренняя энергия. Энтальпия. Энтропия.
3. Определение теплоты ( $q$ ) и работы термодинамической системы ( $l$ ). Виды работ. Рабочая диаграмма и тепловая диаграмма. Размерность  $q$  и  $l$ .
4. Сущность, формулировка и аналитическая запись Первого и Второго законов термодинамики для идеальных и реальных рабочих тел.
5. Теплоемкость. Уравнение Майера.
6. Основные термодинамические процессы. Изображение траекторий процессов в  $P, v$  – и  $T, s$ - диаграммах. Определение  $q$ ,  $l_v$ ,  $\Delta h$ ,  $\Delta s$  для идеальных газов.
7. Исследование политропного процесса. Изображение политропных процессов и их групп на  $PV$ - и  $TS$ - диаграммах.
8. Термодинамические циклы. Оценка их эффективности. Термический КПД цикла и холодильный коэффициент.
9. Цикл Карно для идеального газа, его термический КПД.
10. Газовые циклы. Определение термического КПД газовых циклов и сравнение с максимально возможным в данном интервале температур.

#### 6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Зачтено	Не зачтено
если на зачете по технической термодинамике обучающийся показал достаточно глубокие теоретические знания законов сохранения и превращения энергии, рассматривая в качестве рабочего тела идеальный газ и решил задачу.	если на зачете по технической термодинамике обучающийся не показал знания законов сохранения и превращения, рассматривая в качестве рабочего тела идеальный газ энергии и не решил задачу.

### 6.2.2.2 Семестр 3, Типовые оценочные средства для проведения экзамена по дисциплине

#### 6.2.2.2.1 Описание процедуры

Студент по выбранному экзаменационному билету записывает ответы на вопросы, решает задачу и затем устно отвечает экзаменатору.:

1. Реальные газы и их отличия от идеальных.  $PT$  – диаграмма.
2. Опыт Эндрюса. Критическая точка.

3. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона.
4. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
5. Процесс парообразования  $P, v$ -  $T, s$ -,  $P, T$ - и  $h, s$ - диаграммах. Критические параметры воды и водяного пара. Теплота парообразования.
6. Термодинамические процессы реального газа.
7. Влажный воздух.
8. Истечение идеального газа через сужающееся сопло.
9. Истечение идеального газа через комбинированное сопло (сопло Лаваля).
10. Дросселирование газов и паров.

Пример задания:

Экзаменационный билет № 1

По дисциплине: Техническая термодинамика

Профиль: Современные технологии и инжиниринг в теплоэнергетике

1. Фазовые переходы.  $P, T$ - и  $P, v$ - диаграммы реального вещества. Правило фаз Гиббса.

2.  $h, s$  – диаграмма. Определение параметров рабочего тела с помощью  $h, s$  – диаграммы.

3. Задача: Найти количество теплоты, необходимое для нагревания 5 кг сухого водяного пара при  $P = 1$  МПа до температуры  $t = 500$  0С. Показать траекторию процесса графически на  $P, v$ -  $T, s$  –  $h, s$  диаграммах.

#### 6.2.2.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Если на экзамене по дисциплине обучающийся показал достаточно глубокие теоретические знания законов сохранения и превращения энергии и решил задачу.	Если на экзамене по дисциплине обучающийся показал достаточно глубокие теоретические знания законов сохранения и превращения энергии и незначительные затруднения в решении задачи.	Если на экзамене по дисциплине обучающийся показал не достаточно глубокие теоретические знания законов сохранения и превращения энергии и значительные затруднения в решении задачи.	Если на экзамене по данной дисциплине обучающийся не показал знания законов сохранения и превращения энергии и не решил задачу.

#### 6.2.2.3 Семестр 4, Типовые оценочные средства для проведения экзамена по дисциплине

##### 6.2.2.3.1 Описание процедуры

Студент по выбранному экзаменационному билету записывает ответы на вопросы, решает задачу и затем устно отвечает экзаменатору:

1. Компрессоры и их основные типы.
2. Сравнение циклов поршневых компрессоров в  $PV$  – и  $TS$ - диаграммах: с изотермическим, адиабатным и политропным сжатием.



3. Многоступенчатое сжатие (компрессор).
4. Циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС) топлива и их типы. Индикаторная диаграмма реальных процессов, протекающих в ДВС.
5. Цикл газотурбинных установок (ГТУ). Цикл ГТУ без регенерации с подводом теплоты при  $P=\text{const}$ . Анализ регенеративного цикла ГТУ при  $P=\text{const}$ .
6. Максимальная полезная работа т.д. системы. Эксергия и работоспособность системы.
7. Потеря работоспособности т.д. системы вследствие необратимости термодинамических процессов. Уравнение Гюи-Стодолы.
8. Цикл Карно для ПТУ, его преимущества и недостатки. КПД цикла.
9. Цикл ПТУ Ренкина.
10. Цикл ПТУ с промежуточным перегревом пара. КПД цикла.
11. Регенеративный цикл ПТУ. Термический КПД цикла.
12. Влияние на термический КПД ПТУ параметров пара перед турбиной и параметров пара перед конденсатором.
13. Бинарный цикл парогазовой установки. Принципиальная схема. Термический к.п.д.
14. Теплофикационные циклы. ТЭЦ. Коэффициент использования тепла.
15. Обратный цикл Карно его холодильный коэффициент.
16. Воздушная компрессионная холодильная установка (ВКХУ). Принципиальная схема. Цикл и холодильный коэффициент установки. Достоинства и недостатки ВКХУ.
17. Паровая холодильная установка (ПХУ). Принципиальная схема, цикл, холодильный коэффициент, достоинства и недостатки ПХУ. Изображение цикла на  $h,s$ - и  $T,s$ -диаграммах.

#### Пример задания:

Экзаменационный билет № 1

По дисциплине: Техническая термодинамика

Профиль: Современные технологии и инжиниринг в теплоэнергетике

1. Цикл многоступенчатого компрессора.

2. Цикл Карно на насыщенном паре, его преимущества и недостатки. КПД работы цикла. Принципиальная тепловая технологическая схема. Изображение цикла на  $P,v$ -  $T,s$ - и  $h,s$ - диаграммах.

3. Задача:

Паротурбинная установка работает по циклу Ренкина при следующих параметрах пара: перед турбиной давление 10 МПа и температура 536 оС и давлении в конденсаторе 40 гПа. Определите работу турбины и питательного насоса, а также термический КПД цикла с учетом и без учета работы насоса и относительную разность этих КПД. Представить циклы в  $T,s$  – и  $h,s$  – диаграммах.

#### 6.2.2.3.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Если на экзамене по дисциплине обучающийся показал достаточно глубокие теоретические знания законов сохранения и	Если на экзамене по дисциплине обучающийся показал достаточно глубокие теоретические знания законов сохранения и	Если на экзамене по дисциплине обучающийся показал не достаточно глубокие теоретические знания законов сохранения и	Если на экзамене по данной дисциплине обучающийся не показал знания законов сохранения и превращения энергии и не решил задачу.

превращения энергии и решил задачу.	превращения энергии и не значительные затруднения в решении задачи.	превращения энергии и значительные затруднения в решении задачи.	
-------------------------------------	---	--	--

## 7 Основная учебная литература

1. Кириллин В. А. Техническая термодинамика : учебник для вузов по направлению подготовки 140100 "Теплоэнергетика" / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин, 2008. - 495.
2. Сборник задач по технической термодинамике : учебное пособие для студентов вузов / Т. Н. Андрианова [и др.], 2006. - 351.
3. Герасимова Н. П. Техническая термодинамика : учебное пособие / Н. П. Герасимова, 2024. - 259.

## 8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Теоретические основы теплотехники. Термодинамические процессы реальных газов. Обратимый цикл Ренкина : методические указания по выполнению практических заданий, РГР и СРС для специальностей: 140101 - тепловые электрические станции (ЭСТ), 140104 - промышленная энергетика (ТЭ) / Иркут. гос. техн. ун-т, 2008. - 31.
2. Теоретические основы теплотехники / Иркут. гос. техн. ун-т; сост. Н. П. Герасимова, М. Б. Руденко. Ч. 1 : Техническая термодинамика, разд. "Круговые процессы или циклы" : методические указания по выполнению практических заданий, лабораторные работы и СРС для специальностей 140101 "Тепловые электрические станции" ..., 2007. - 38.
3. Александров Алексей Александрович. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара : справочник: Табл. рассчитаны по уравнениям Междунар. ассоц. по свойствам воды и водяного пара и рек. Гос. службой стандарт. справ. данных: ГСССД Р-776-98 / Алексей Александрович Александров, Борис Афанасьевич Григорьев, 1999. - 158.
4. Ривкин С. Л. Термодинамические свойства газов : справочник / С. Л. Ривкин, 1987. - 286.

## 9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

## 10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

## 11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

## 12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Учебный стенд "Исследование адиабатного истечения через сужающее сопло"
2. Установка "Исследование кривой насыщения водяного пара при высоких давлениях"
3. Установка "Исследование процесса изохорного нагрева воды и водяного пара"
4. Учебный стенд "Определение теплоемкости воздуха"