

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

Структурное подразделение «Теплоэнергетики»

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

Рабочая программа дисциплины

«ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА»

Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Современные технологии и инжиниринг в теплоэнергетике

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: заочная

Документ подписан простой
электронной подписью
Составитель программы:
Герасимова Наталья Павловна
Дата подписания: 20.06.2025

Документ подписан простой
электронной подписью
Утвердил: Самаркина
Екатерина Владимировна
Дата подписания: 20.06.2025

Документ подписан простой
электронной подписью
Согласовал: Сушко Светлана
Николаевна
Дата подписания: 20.06.2025

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-3.6
ОПК ОС-4 Способность проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники	ОПК ОС-4.3

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ОПК ОС-3.6	Понимает и использует методы расчета и анализа работы теплотехнических установок и систем на идеальном и реальном газе. 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	Знать 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, протекающих в теплотехнических установках и системах на идеальном газе и на реальных рабочих телах. Уметь проводить термодинамический анализ циклов тепловых и холодильных машин с целью оптимизации их рабочих характеристик и повышения эффективности работы теплотехнических установок и систем на идеальном газе и на реальных рабочих телах. Владеть основами термодинамического анализа рабочих процессов в тепловых и холодильных машинах на идеальном газе и на реальных рабочих телах, определения параметров их работы, тепловой эффективности.
ОПК ОС-4.3	Проводит теплотехнические измерения с использованием методов термодинамического	Знать методы измерения калорических свойств веществ в теплосиловых установках и

	анализа для контроля параметров идеального и реального газа на оборудовании объектов теплоэнергетики и теплотехники	машинах, работающих на реальных рабочих телах. Уметь 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. Владеть 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	Учебный год № 2	Учебный год № 3
Общая трудоемкость дисциплины	360	36	324
Аудиторные занятия, в том числе:	36	2	34
лекции	10	2	8

лабораторные работы	10	0	10
практические/семинарские занятия	16	0	16
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	315	34	281
Трудоемкость промежуточной аттестации	9	0	9
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	, Экзамен		Экзамен

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Учебный год № 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	Установочная лекция по курсу технической термодинамики	1	2							
	Промежуточная аттестация									
	Всего		2							

Учебный год № 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	Первый закон термодинамики. Теплоёмкость. Второй закон термодинамики. Циклы. Работоспособность термодинамической системы – эксергия.	1	2	1	2	1	2	2, 3, 4, 5, 6, 7	66	Тест
2	Фазовые переходы. Исследование термодинамических процессов реальных газов. Влажный воздух.	2	2	2, 3	6	2	2	2, 3, 4, 5, 6, 7	70	Тест
3	Теория потока.	3	2	4	2	3	2	2, 3,	68	Тест

	Циклы компрессоров. Циклы двигателей внутреннего сгорания.							4, 5, 6, 7		
4	Циклы теплосиловых паровых установок. Циклы холодильных установок.	4	2			4, 5, 6, 7, 8	10	1, 3, 5, 6, 7	77	Тест
	Промежуточная аттестация								9	Экзамен
	Всего		8		10		16		290	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Учебный год № 2

№	Тема	Краткое содержание
1	Установочная лекция по курсу технической термодинамики	Краткий экскурс по темам дисциплины и методикам её освоения: при изучении курса «Техническая термодинамика» студенты-заочники самостоятельно работают над учебником, задачником, методическими указаниями к лабораторным работам, контрольной работе. Весь курс технической термодинамики разделен на темы, которые следует изучать последовательно, переходя к следующей теме только после полного усвоения предыдущей. Для закрепления теоретического материала рекомендуется разобрать решенные задачи и ответить на контрольные вопросы в тестах в электронном курсе дисциплины. При изучении каждого раздела курса рекомендуется составлять конспект, использование которого полезно в том числе при выполнении контрольной работы и лабораторных работ. Выполненную контрольную работу студенты загружают в электронный курс в начале 3 учебного года.

Учебный год № 3

№	Тема	Краткое содержание
1	Первый закон термодинамики. Теплоёмкость. Второй закон термодинамики. Циклы. Работоспособность	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

	термодинамической системы – эксергия.	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. Порядок исследования термодинамических процессов. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Изотермический процесс. Адиабатный процесс. Политропные процессы. Основные положения второго закона. Круговые термодинамические процессы, или циклы. Термический коэффициент полезного действия. Прямой обратимый цикл Карно. Теорема Карно. Обобщенный (регенеративный) цикл Карно. Ts-диаграмма и ее свойства. Термодинамические циклы в Ts-диаграмме. Свойства обратимых и необратимых циклов. Изменение энтропии в них. Принцип возрастания энтропии и физический смысл второго закона термодинамики. Максимальная работа. Эксергия. Потеря эксергии в необратимых процессах.
2	Фазовые переходы. Исследование термодинамических процессов реальных газов. Влажный воздух.	Термодинамические свойства реальных газов. Фазовые переходы. Точки фазового перехода. Pv-диаграмма. Фактор сжимаемости и zp-диаграмма. Фазовая pT-диаграмма. Условия фазового равновесия. Правило фаз Гиббса. Уравнение Менделеева - Клаузиуса. Уравнения состояния реальных газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса и его анализ. 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. Абсолютная и относительная влажность влажного воздуха. Влажосодержание. Температура точки росы. Расчет термодинамических свойств влажного воздуха. H,d-диаграмма влажного воздуха. Термодинамические процессы с влажным воздухом.
3	Теория потока. Циклы компрессоров. Циклы двигателей внутреннего	Уравнение I закона термодинамики для потока. Сопла и диффузоры. Истечение через сужающееся

	сгорания.	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 Лаваля. Типы компрессоров. Работа одноступенчатого компрессора. Теоретическая индикаторная диаграмма. Действительная индикаторная диаграмма. Процессы сжатия в реальном компрессоре. Относительный внутренний КПД компрессора. Многоступенчатый компрессор. 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. Действительный цикл и его КПД. Влияние необратимости процессов сжатия и расширения. Регенерация, многоступенчатое сжатие и ступенчатый подвод тепла в газотурбинной установке.
4	Циклы теплосиловых паровых установок. Циклы холодильных установок.	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. Комбинированная выработка электроэнергии и тепла. Теплофикационные циклы. Общие сведения о методах анализа эффективности циклов. Методы сравнения термических КПД обратимых циклов. 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

Учебный год № 3

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Определение изобарной теплоемкости воздуха при атмосферном давлении.	2
2	Исследование кривой насыщения воды - водяного пара.	2
3	Исследование изохорного нагревания воды - водяного пара.	4
4	Исследование адиабатного истечения воздуха через сужающееся сопло	2

4.4 Перечень практических занятий

Учебный год № 3

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Первый закон термодинамики. Теплоемкость. Второй закон термодинамики. Циклы.	2
2	Реальные газы. Свойства воды и водяного пара. Процессы изменения его состояния.	2
3	Циклы компрессоров. Циклы двигателей внутреннего сгорания.	2
4	Цикл Карно на влажном паре. Цикл Ренкина без перегрева пара. и с перегревом пара.	2
5	Цикл паротурбинной установки с вторичным перегревом пара. Регенеративный цикл ПТУ.	2
6	Теплофикационный цикл. Теплофикационные схемы.	2
7	Бинарный цикл. Цикл парогазовой установки.	2
8	Влияние необратимых потерь на эффективность цикла ПТУ.	2

4.5 Самостоятельная работа

Учебный год № 2

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Проработка разделов теоретического материала	34

Учебный год № 3

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Контрольная работа для студентов заочной формы обучения	20
2	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	30
3	Подготовка к практическим занятиям (лабораторным работам)	38
4	Подготовка к сдаче и защите отчетов	36
5	Подготовка к экзамену	9
6	Проработка разделов теоретического материала	134
7	Тестирование по разделам дисциплин	14

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

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

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

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
ОПК ОС-3.6	Демонстрирует знание законов сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты, калорических свойств веществ применительно к рабочим телам теплосиловых установок, термодинамических процессов	Выполнение практических и самостоятельных работ, выполнение и защита лабораторных работ,

	преобразования энергии, протекающих в теплотехнических установках и системах на идеальном и реальном газе; умеет пользоваться диаграммами реального газа для выполнения теплотехнических расчетов с определением рабочих характеристик теплотехнических установок и систем, умеет проводить анализ термодинамических циклов.	тестирование, устное собеседование по экзаменационным билетам.
ОПК ОС-4.3	Демонстрирует знание методов измерения калорических свойств веществ в теплосиловых установках, в которых рабочее тело подчиняется законам идеального и реального газа, а также в машинах, работающих на реальных рабочих телах, проводит теплотехнические измерения.	Выполнение, оформление и защита лабораторных работ.

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Учебный год 3, Типовые оценочные средства для проведения экзамена по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

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

1. Абсолютное давление. Обозначение. Размерность.
2. Избыточное давление. Прибор для измерения.
3. Давление разрежения. Прибор для измерения.
4. Температура. Обозначение. Размерность. Приборы для измерения.
5. Объем. Обозначение. Размерность. Приборы для измерения.
6. Объемный и массовый расход. Размерность. Приборы для измерения.
7. Измерение температуры в лабораторной работе «Определение теплоемкости воздуха при постоянном давлении».
8. Измерение объемного расхода в лабораторной работе «Определение теплоемкости воздуха при постоянном давлении».
9. Измерение электрических величин в лабораторной работе «Определение теплоемкости воздуха при постоянном давлении».
10. Калориметрический метод определения теплоемкости газа.
11. Основные термодинамические параметры состояния. Обозначение. Размерность
12. Уравнение состояния идеального газа.
13. Газовые смеси. Способы задания газовых смесей. Закон Дальтона.
14. Внутренняя энергия. Энтальпия. Энтропия.
15. Определение теплоты (q) и работы термодинамической системы (l). Размерность q и l .
16. Рабочая диаграмма и тепловая диаграмма.
17. Сущность, формулировка и аналитическая запись Первого и Второго законов термодинамики для идеальных и реальных рабочих тел.
18. Теплоемкость.
19. Уравнение Майера.

20. Основные термодинамические процессы.
21. Изображение траекторий процессов в P, v – и T, s - диаграммах.
22. Определение $q, l_v, \Delta h, \Delta s$ для идеальных газов.
23. Исследование политропного процесса.
24. Изображение политропных процессов и их групп на PV - и TS - диаграммах.
25. Термодинамические циклы. Оценка их эффективности. Термический КПД цикла и холодильный коэффициент.
26. Цикл Карно для идеального газа,
27. Термический КПД цикла Карно.
28. Газовые циклы. Определение термического КПД газовых циклов.
29. Сравнение термического КПД газовых циклов с максимально возможным в данном интервале температур.
30. Максимальная полезная работа т.д. системы. Эксергия и работоспособность системы.
31. Потеря работоспособности т.д. системы. Уравнение Гюи-Стодола.
32. Фазовые переходы. Реальные газы. PT – диаграмма.
33. Опыт Эндрюса. Критическая точка.
34. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона.
35. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
36. Процесс парообразования P, v - T, s -, P, T - и h, s - диаграммах. Критические параметры воды и водяного пара. Теплота парообразования.
37. Термодинамические процессы реального газа.
38. Влажный воздух.
39. Истечение идеального газа через сужающееся сопло.
40. Истечение идеального газа через комбинированное сопло (сопло Лаваля).
41. Дросселирование газов и паров.
42. Компрессоры и их основные типы.
43. Сравнение циклов поршневых компрессоров в PV – и TS - диаграммах: с изотермическим, адиабатным и политропным сжатием.
44. Многоступенчатое сжатие (компрессор).
45. Циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС) топлива и их типы. Индикаторная диаграмма реальных процессов, протекающих в ДВС.
46. Цикл газотурбинных установок (ГТУ). Цикл ГТУ без регенерации с подводом теплоты при $P = \text{const}$. Анализ регенеративного цикла ГТУ при $P = \text{const}$.
47. Цикл Карно для ПТУ, его преимущества и недостатки. КПД цикла.
48. Цикл ПТУ Ренкина.
49. Цикл ПТУ с промежуточным перегревом пара. КПД цикла.
50. Регенеративный цикл ПТУ. Термический КПД цикла.
51. Влияние на термический КПД ПТУ параметров пара перед турбиной и параметров пара перед конденсатором.
52. Бинарный цикл парогазовой установки. Принципиальная схема. Термический к.п.д.
53. Теплофикационные циклы. ТЭЦ. Коэффициент использования тепла.
54. Обратный цикл Карно его холодильный коэффициент.
55. Воздушная компрессионная холодильная установка (ВКХУ). Принципиальная схема. Цикл и холодильный коэффициент установки. Достоинства и недостатки ВКХУ.
56. Паровая холодильная установка (ПХУ). Принципиальная схема, цикл, холодильный коэффициент, достоинства и недостатки ПХУ. Изображение цикла на h, s - и Ts - диаграммах.

Пример задания:

Экзаменационный билет № 1

По дисциплине: Техническая термодинамика

Профили: 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 $t = 500$ °С. Показать траекторию процесса графически на P, v - T, s – h, s диаграммах.

6.2.2.1.2 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 не значительные 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.

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"