

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

"БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ Е.И.Луковникова

\_\_\_\_\_ 05 июня \_\_\_\_\_ 2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.О.10 Техническая термодинамика**

Закреплена за кафедрой **Энергетики**

Учебный план b130301\_23\_ПТЭ.plx

Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Квалификация **Бакалавр**

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **9 ЗЕТ**

Виды контроля в семестрах:

Контрольная работа 3, Зачет 3, Экзамен 4

**Распределение часов дисциплины по семестрам**

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	3 (2.1)		4 (2.2)		Итого	
	уп	рп	уп	рп		
Неделя	17		17			
Вид занятий	уп	рп	уп	рп	уп	рп
Лекции	34	34	34	34	68	68
Лабораторные	17	17	34	34	51	51
Практические	17	17	34	34	51	51
В том числе инт.	24	24	24	24	48	48
Итого ауд.	68	68	102	102	170	170
Контактная работа	68	68	102	102	170	170
Сам. работа	40	40	78	78	118	118
Часы на контроль			36	36	36	36
Итого	108	108	216	216	324	324

Программу составил(и):

*б.с., ст.пр., Латушкина С.В.* \_\_\_\_\_

Рабочая программа дисциплины

### **Техническая термодинамика**

разработана в соответствии с ФГОС:

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника (приказ Минобрнауки России от 28.02.2018 г. № 143)

составлена на основании учебного плана:

Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
утвержденного приказом ректора от 17.02.2023 № 72.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

### **Энергетики**

Протокол от 21 апреля 2023 г. №10

Срок действия программы: 2023-2027 уч.г.

Зав. кафедрой Булатов Ю.Н. \_\_\_\_\_

Председатель МКФ

старший преподаватель Латушкина С.В. \_\_\_\_\_ 24 апреля 2023 г. №9

Ответственный за реализацию ОПОП \_\_\_\_\_ Булатов Ю.Н.

Директор библиотеки \_\_\_\_\_ Сотник Т.Ф.

№ регистрации \_\_\_\_\_ 24  
(методический отдел)

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Председатель МКФ

\_\_\_\_\_ 2024 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 2024-2025 учебном году на заседании кафедры  
**Энергетики**

Внесены изменения/дополнения (Приложение \_\_\_\_\_)

Протокол от \_\_\_\_\_ 2024 г. № \_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Председатель МКФ

\_\_\_\_\_ 2025 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 2025-2026 учебном году на заседании кафедры  
**Энергетики**

Внесены изменения/дополнения (Приложение \_\_\_\_\_)

Протокол от \_\_\_\_\_ 2025 г. № \_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Председатель МКФ

\_\_\_\_\_ 2026 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 2026-2027 учебном году на заседании кафедры  
**Энергетики**

Внесены изменения/дополнения (Приложение \_\_\_\_\_)

Протокол от \_\_\_\_\_ 2026 г. № \_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Председатель МКФ

\_\_\_\_\_ 2027 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 2027-2028 учебном году на заседании кафедры  
**Энергетики**

Внесены изменения/дополнения (Приложение \_\_\_\_\_)

Протокол от \_\_\_\_\_ 2027 г. № \_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

1.1	Дать студентам знания о фундаментальных законах осуществления тепловых процессов, термодинамических методах анализа замкнутых и разомкнутых теплотехнических процессов разного назначения и выработать практические навыки определения термодинамических характеристик процессов с одно- и двухфазными рабочими телами и теплоносителями постоянного и переменного состава.
-----	---

**2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП**

Цикл (раздел) ООП:	Б1.О.10
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>
2.1.1	Физика
2.1.2	Гидрогазодинамика
2.1.3	Учебная (ознакомительная) практика
2.1.4	Математика
2.1.5	Введение в специальность
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>
2.2.1	Производственная (технологическая) практика
2.2.2	Тепломассообмен
2.2.3	Производственная (эксплуатационная) практика
2.2.4	Производственная (преддипломная) практика
2.2.5	Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологии
2.2.6	Охрана окружающей среды при работе теплоэнергетических объектов
2.2.7	Котельные установки и парогенераторы
2.2.8	Источники теплоснабжения
2.2.9	Физико-химические основы горения и топливо
2.2.10	Нагнетатели и тепловые двигатели
2.2.11	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.12	Эксплуатация теплоэнергетических установок и систем
2.2.13	Тепломассообменное оборудование предприятий

**3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**ОПК-3. : Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач**

Индикатор 1	ОПК-3.2. Демонстрирует понимание физических явлений и применяет законы механики, термодинамики, электричества и магнетизма, оптики
Индикатор 2	ОПК-3.3. Демонстрирует понимание химических процессов и применяет основные законы химии.

**ОПК-4. : Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах**

Индикатор 1	ОПК-4.4. Демонстрирует понимание основных законов термодинамики и термодинамических соотношений.
Индикатор 2	ОПК-4.5. Применяет знания основ термодинамики для расчетов термодинамических процессов, циклов и их показателей.

**В результате освоения дисциплины обучающийся должен**

<b>3.1</b>	<b>Знать:</b>
3.1.1	Законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты, калорические и переносные свойства веществ применительно к рабочим телам тепловых машин и теплоносителям, термодинамические процессы и циклы преобразования энергии, протекающие в теплотехнических установках.
<b>3.2</b>	<b>Уметь:</b>
3.2.1	Термодинамический анализ циклов тепловых машин с целью оптимизации их рабочих характеристик и максимизации КПД.
<b>3.3</b>	<b>Владеть:</b>
3.3.1	Основами термодинамического анализа рабочих процессов в тепловых машинах, определения параметров их работы, тепловой эффективности.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)								
Код занятия	Вид занятия	Наименование разделов и тем	Семестр / Курс	Часов	Компетенции	Литература	Инте ракт.	Примечание
	Раздел	<b>Раздел 1. Первый закон и второй закон термодинамики</b>						
1.1	Лек	Техническая термодинамика как теоретическая основа теплоэнергетики. Предмет и метод термодинамики. Термодинамическая система и окружающая среда. Равновесные и неравновесные состояния. Параметры состояния. Уравнение состояния, термодинамическая поверхность. Понятие теплового равновесия, первый закон термодинамики. Потенциалы и координаты термодинамических взаимодействий. Температура, энтропия. Первый закон термодинамики как закон сохранения энергии. Теплота, опыт Джоуля, эквивалентность теплоты и работы. Соотношения между единицами работы и тепла. Работа расширения как функция процесса. Внутренняя энергия как функция состояния. Понятие полного и неполного дифференциалов. Аналитическое выражение первого закона термодинамики через внутреннюю энергию. Формулировки первого закона термодинамики. Теплота как функция процесса. Вечный двигатель первого рода. Энтальпия как функция состояния. Аналитическое выражение первого закона термодинамики через энтальпию.	3	5	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	1	Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5

1.2	Лек	<p>Понятие идеального газа. Термическое уравнение состояния идеального газа. Закон Авогадро и его следствия. Уравнение Менделеева-Клапейрона. Теплоемкость, истинная и средняя теплоемкость, Ср и Сv. Формула Майера. Молекулярно-кинетическая и квантовая теория теплоемкости. Основные термодинамические процессы идеальных газов (изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный). Политропные процессы и их анализ. Таблицы термических и калорических свойств идеальных газов.</p>	3	3	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	0	
1.3	Лек	<p>Обратимые и необратимые процессы. Формулировки второго закона. Термодинамические циклы. Термический КПД и холодильный коэффициент. Прямые и обратные циклы. Цикл Карно и его термический КПД. Теорема Карно. Энтропия, интеграл Клаузиуса. T-S - диаграмма и ее свойства. Термодинамические циклы в T,S - диаграмме. Таблицы энтропии идеальных газов. Изменение энтропии в необратимых процессах. Объединенное уравнение первого и второго законов для обратимых и необратимых процессов. Обратимость и производство работы (полезная работа, максимально полезная работа системы, тепла). Энтропия. Энтропийный метод расчета потерь работоспособности. Метод КПД в анализе необратимых циклов. Сравнительный анализ методов. Основные математические методы. Соотношения Максвелла. Частные производные внутренней эксергии, энтропии, энтальпии, теплоемкости.</p>	3	6	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	2	Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5

1.4	Пр	Система единиц измерения, переводные соотношения. Параметры состояния. Уравнение состояния идеального газа. Теплоемкость, энтальпия и внутренняя энергия газов в идеальном состоянии. Первый закон термодинамики, определение количества теплоты, работы, изменения внутренней энергии. Термодинамические процессы: изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный, политропный.	3	6	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	0	ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
1.5	Лаб	Определение газовой постоянной влажного воздуха	3	3	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	1	Работа в малых группах ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
1.6	Лаб	Изучение основных методов и средств измерения характеристик термодинамических систем. Определение теплоемкости воздуха.	3	5,5	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	4	Работа в малых группах ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
1.7	Пр	Второй закон термодинамики. Изменение энтропии в термодинамических процессах. Т-S - диаграмма. Цикл Карно, его термический КПД	3	2	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	1	ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
1.8	Контр.раб.		3	0	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	0	ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
1.9	Ср		3	15	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	0	ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5

1.10	Зачёт		3	0	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	0	ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
	Раздел	<b>Раздел 2. Реальные газы. Дросселирование. Истечение.</b>						
2.1	Лек	Гомогенные и гетерогенные системы. Понятие стабильного, лабильного метастабильного состояний. Термодинамические условия равновесия при различных условиях взаимодействий системы с окружающей средой. Характеристические функции и взаимосвязь между ними. Закрытые и открытые системы, химический потенциал и его свойства для характеристики открытых систем.	3	4	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	1	Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
2.2	Лек	Основные понятия и определения (парообразование, испарение, кипение, конденсация, сублимация, десублимация). Насыщенная жидкость, влажный пар, сухой насыщенный пар, перегретый пар, степень сухости. Закон Дальтона, способы задания состава смеси. Уравнение состояния смеси идеальных газов. Средняя молекулярная масса газовой смеси. Влажный воздух - основные понятия. Влагосодержание, абсолютная и относительная влажность, степень насыщения, точка росы. Энтальпия влажного воздуха. Температура мокрого термометра, психрометр. H, d - диаграмма, процессы во влажном воздухе.	3	4	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	1	Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5



2.3	Лек	<p>Условия термодинамической устойчивости. Устойчивость фаз. Условия фазового равновесия. Правило фаз Гиббса. Фазовые переходы первого и второго рода. Фазовая P, T - диаграмма, характеристика точки фазовой диаграммы. Аномалия в поведении веществ. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Теплота фазового перехода. Фазовые переходы, "жидкость-пар", "твердое тело-жидкость", "твердое тело-пар". Изображение кривых фазовых равновесий двух и трехфазных областей в P-V; T-V; T-S диаграммах. Свойства веществ на линии фазовых переходов. Двухфазные системы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Вириальная форма уравнения состояния. P, V, P - зависимость реальных газов. Коэффициент сжимаемости. Метод термодинамического подобия.</p>	3	4	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	1	Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
2.4	Лек	<p>Особенности P-V - диаграммы водяного пара. Удельный объем, энтальпия, энтропия воды, влажного, сухого, насыщенного и перегретого пара.</p>	3	2	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	1	Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5

2.5	Лек	<p>Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара. T-S; h-S -диаграммы воды и водяного пара. Процесс дросселирования. Дифференциальный дроссель-эффект, температура инверсии, кривая инверсии. Физическая сущность эффекта Джоуля-Томсона. Интегральный дроссель-эффект. Адиабатное расширение реального газа. Потери эксергии в процессе адиабатного расширения. Потери эксергии при дросселировании. Расчет процесса дросселирования водяного пара в h,S - диаграмме. Основные уравнения истечения. Уравнение сплошности, движения, уравнение состояния. Уравнение первого закона для потока. Адиабатное течение, располагаемая работа. Скорость звука. Сопла, изменение скорости течения вдоль сопла. Истечение из суживающегося сопла. Расход газа при истечении из суживающегося сопла, максимальный расход, критическая скорость, скорость звука. Зависимость скорости и расхода от отношения начального и конечного давлений. Переход через скорость звука, число Маха. Комбинированное сопло Лавая. Истечение реальных газов и паров. Расчет истечения с помощью h,S - диаграммы. Истечение с учетом необратимости.</p>	3	6	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	1	Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
2.6	Пр	<p>Реальные газы. Уравнение состояния реального газа. Метод термодинамического подобия.</p>	4	2	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	1,5	Преподаватель знакомит обучающихся с порядком выполнения задания, наблюдает за выполнением и при необходимости корректирует работу обучающихся ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5

2.7	Пр	Свойства воды и водяного пара. H-S и T-S - диаграммы и процессы изменения состояния водяного пара и воды. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара.	4	6	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	1,5	Преподаватель знакомит обучающихся с порядком выполнения задания, наблюдает за выполнением и при необходимости корректирует работу обучающихся ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
2.8	Пр	Смеси идеальных газов.	3	2	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	2	Преподаватель знакомит обучающихся с порядком выполнения задания, наблюдает за выполнением и при необходимости корректирует работу обучающихся ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
2.9	Пр	Влажный воздух. H-d - диаграмма влажного воздуха, процессы во влажном воздухе.	3	4	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.4	2	Преподаватель знакомит обучающихся с порядком выполнения задания, наблюдает за выполнением и при необходимости корректирует работу обучающихся ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5

2.10	Пр	Истечение и дросселирование газов и паров.	4	4	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	1	Преподаватель знакомит обучающихся с порядком выполнения задания, наблюдает за выполнением и при необходимости корректирует работу обучающихся ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
2.11	Лаб	Исследование процессов во влажном воздухе. Определение основных параметров влажного воздуха.	3	6	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	2	Работа в малых группах ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
2.12	Контр.раб.		3	0	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	0	ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
2.13	Ср		3	25	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	0	ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
2.14	Зачёт		3	0	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	0	ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
	Раздел	<b>Раздел 3. Теплосиловые и холодильные циклы</b>						

3.1	Лек	Основные положения и принцип действия. Цикл установки (цикл Ренкина). Цикл с насыщенным паром, представление цикла в P,V и T,S - диаграммах. Цикл с перегретым паром, представленный в P,V и T,S - диаграммах. Анализ циклов с насыщенным и перегретым паром.	4	4	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	2	Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
3.2	Лек	Анализ цикла Ренкина с учетом необратимых потерь. КПД паротурбинной установки. Удельные расходы пара и тепла. Регенеративные циклы. Схема регенеративного подогрева с отводом пара. Изображение цикла в T,S - диаграмме. Термический КПД регенеративного цикла. Основы теплофикации. Комбинированные циклы. Преимущества и недостатки водяного пара как рабочего тела. Бинарный цикл и его КПД. Схема бинарной ПТУ. Парогазовые циклы, их термический КПД. Циклы АЭС. Свойства теплоносителей АЭС. Цикл насыщенного пара. Циклы для высокотемпературных установок.	4	6	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	1	Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
3.3	Лек	Газотурбинные установки - общие принципы действия. Цикл с изобарным подводом тепла (адиабатное и изотермическое сжатие). Термический КПД идеального цикла. Действительный цикл и его КПД. Методы повышения КПД циклов ГТУ. Цикл с регенерацией и изобарный подвод тепла (адиабатное и изотермическое сжатие). Многоступенчатое сжатие и многоступенчатый подвод тепла. Цикл с изохорным подводом тепла. Замкнутые циклы, рабочие тела замкнутых систем ГТУ.	4	4	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	1	Лекция-беседа УК-1.1, УК-1.2, ОПК-3.4, ОПК-3.5

3.4	Лек	<p>Прямые и обратные циклы. Понятие горячего и холодного источника. Обратимые циклы. Среднетермодинамическая температура подвода и отвода тепла в цикле. Обратимые циклы, внешняя и внутренняя необратимость. Внутренний КПД цикла. Методы повышения КПД циклов - регенерация, ступенчатый подвод тепла, ступенчатый отвод тепла. Работа одноступенчатого компрессора. Индикаторная диаграмма. Изотермическое, адиабатное, политропное сжатие. Принцип применения многоступенчатого компрессора. Изображение в P,V и T,S - диаграммах процессов в компрессоре. Необратимое сжатие. Центробежный компрессор. Поршневые двигатели внутреннего сгорания, общие принципы действия. Индикаторная диаграмма. Циклы с изохорным, изобарным, смешанным подводом тепла. Анализ КПД циклов по средним температурам подвода и отвода тепла. Обратный цикл Карно, холодильный коэффициент. Схема и цикл воздушной холодильной установки. Термодинамические свойства рабочих тел пароконденсационных холодильных установок. Схема, цикл и холодильный коэффициент пароконденсационной установки. Цикл парожетонной установки. Схема и принцип работы абсорбционной установки. Цикл теплового насоса термотрансформатора. Методы сжижения газов.</p>	4	8	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	1	Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
3.5	Лек	<p>Эксергия как мера работоспособности. Эксергия потока и тепла. Эксергия неподвижного рабочего тела. Эксергетические диаграммы. Эксергетический КПД. Эксергетический метод расчета потерь. Формула Гюи-Стодолы. Понятия эксергии и анергии.</p>	4	4	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	2	Лекция-беседа ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5

3.6	Лаб	Определение основных параметров циклов паротурбинных установок. Тепловой баланс фреоновой холодильной машины.	4	34	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	8	Работа в малых группах ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
3.7	Лаб	Исследование процессов сжатия воздуха в поршневом компрессоре.	3	2,5	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.4	1	Работа в малых группах ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
3.8	Пр	Циклы паротурбинных установок. Комбинированные паровые и парогазовые циклы. газотурбинных установок. Циклы двигателей внутреннего сгорания. Циклы холодильных машин и тепловых насосов. Расчет и выбор элементов схемы парокompрессионной холодильной установки при варьировании начальных параметров на ЭВМ.	4	22	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	4	Преподаватель знакомит обучающихся с порядком выполнения задания, наблюдает за выполнением и при необходимости корректирует работу обучающихся ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
3.9	Пр	Сжатие газа в компрессоре, многоступенчатое сжатие.	3	3	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.4	3	Преподаватель знакомит обучающихся с порядком выполнения задания, наблюдает за выполнением и при необходимости корректирует работу обучающихся ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
3.10	Контр.раб.		3	0	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	0	ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5

3.11	Ср		4	41	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	0	ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
3.12	Экзамен		4	20	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	0	ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
	Раздел	<b>Раздел 4. Основы химической термодинамики. Основы термодинамики необратимых процессов.</b>						
4.1	Лек	<p>Два способа расчета термодинамических свойств гомогенных бинарных растворов. Растворимость и зона несмесимости. Объемные и тепловые эффекты растворения. Правило смещения и прямая смещения. Фазовые диаграммы Т-Н, Р-Н и Р,Т. Положение кривых конденсации и кипения при различных давлениях. Азеотропные растворы. Расчет фазовых равновесий. Коэффициенты активности компонентов. Построение h-N и S-N - диаграмм раствора. Термодинамические процессы с растворами (изобарные, адиабатного дросселирования, непрерывного парообразования, абсорбции и др.). Комбинированные процессы (дистилляция с дефлегмацией, ректификация). Расчеты процессов по диаграммам h-N и S-N.</p>	4	4	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	0	ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5



4.2	Лек	Первый закон термодинамики в термохимии. Тепловой эффект реакции. Закон Гесса и его следствия. Зависимость теплового эффекта реакции от температуры. Стандартный тепловой эффект. Второй закон термодинамики в термохимии. Закон действующих масс. Константа равновесия. Степень диссоциации. Термодинамические свойства диссоциирующих газов. Свободная энергия и изобарный потенциал. Химический потенциал. Уравнение максимальной работы Гиббса-Гельмгольца. Константа равновесия и максимальная работа реакции. Зависимость константы равновесия от давления и температуры. Влияние температуры на скорость химической реакции. Абсолютная энтропия. Стандартные значения термодинамических функций веществ.	4	4	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	1	Лекция-беседа УК-1.1, УК-1.2, ОПК-3.4, ОПК-3.5
4.3	Ср		4	37	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	0	ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5
4.4	Экзамен		4	16	ОПК-3. ОПК-4.	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	0	ОПК-3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5

### 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Образовательные технологии с использованием активных методов обучения (лекция – беседа)

Технология коллективного взаимодействия (работа в малых группах) (самостоятельное изучение обучающимися нового материала посредством сотрудничества в малых группах, дает возможность всем участникам участвовать в работе, практиковать навыки сотрудничества, межличностного общения)

Традиционная (репродуктивная) технология (преподаватель знакомит обучающихся с порядком выполнения задания, наблюдает за выполнением и при необходимости корректирует работу обучающихся)

### 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

#### 6.1. Контрольные вопросы и задания

В рамках текущего контроля успеваемости обучающегося по дисциплине оценивается выполнение лабораторных работ и защита отчетов по лабораторным работам:

Лабораторная работа №1: Определение газовой постоянной влажного воздуха

Контрольные вопросы для допуска к работе и защиты отчета:

1. Объяснить цель работы.
2. Что такое влажный воздух?
3. Что такое газовая постоянная и универсальная газовая постоянная?
4. Что такое абсолютная и относительная влажность воздуха?
5. Записать уравнение Клапейрона через различные термодинамические параметры.
6. Пояснить порядок выполнения работы и методы выполнения экспериментов, предложенные в данном пособии.
7. Перечислить основные параметры, определяющие состояние газа, с указанием единиц измерения.
8. Написать аналитическое выражение и пояснить смысл газовых законов.
9. Пояснить физическую сущность газовых постоянных.
10. Показать, как определяется газовая постоянная смеси газов.
11. Что такое киломоль газа?
12. Объяснить устройство и работу психометра.
13. Какой воздух тяжелее – влажный или сухой?

Лабораторная работа №2: Изучение основных методов и средств измерения характеристик термодинамических систем.

Контрольные вопросы для допуска к работе и защиты отчета

1. Объяснить цель работы.
2. Пояснить, каков принцип работы устройств для измерения различных параметров газовой среды.
3. Назовите единицы измерения различных параметров энергоносителей и их соотношение.

Лабораторная работа №3: Определение теплоемкости воздуха.

Контрольные вопросы для допуска к работе и защиты отчета

1. Какова физическая сущность теплоемкости?
2. Приведите понятия массовой, объемной, мольной, истинной и средней теплоемкости?
3. Охарактеризуйте теплоемкости  $C_p$  и  $C_v$ , их физическую сущность, соотношение Майера.
4. Какова методика определения теплоемкости воздуха?
5. Назовите основные определения теплоемкости воздуха.
6. Каков физический смысл внутренней энергии и энтальпии газа? Приведите формулы для их вычисления.
7. Приведите аналитическое выражение первого закона термодинамики для неподвижного газа.

Лабораторная работа №4: Исследование процессов во влажном воздухе.

Контрольные вопросы для допуска к работе и защиты отчета

1. Объясните физическую сущность влажного воздуха, влагосодержания, абсолютной и относительной влажности.
2. Объясните понятия «температура точки росы» и «мокрый термометр».
3. Изобразите процессы нагрева, охлаждения и сушки на диаграмме (схематично).
4. Опишите методику определения параметров влажного воздуха.
5. Перечислите основные составляющие погрешности опыта.

Лабораторная работа №5: Определение основных параметров влажного воздуха.

Контрольные вопросы для допуска к работе и защиты отчета

1. Объяснить цель работы.
2. Какова физическая сущность понятий «массовое» и «мольное» влагосодержание, абсолютная влажность?
3. Дайте определение температур точки росы, мокрого термометра, теории психометра.
4. Что такое насыщенный влажный воздух?
5. Какова методика определения параметров влажного воздуха по  $h-d$ -диаграмме и расчетным путем?

Лабораторная работа №6: Определение основных параметров циклов паротурбинных установок.

Контрольные вопросы для допуска к работе и защиты отчета

1. Приведите понятие степени сухости?
2. Что такое термический КПД цикла?
3. Чем отличается процесс цикла Карно от процесса цикла Ренкина?
4. Для чего нужен промперегрев пара?
5. В чем состоит отличие теплосиловых схем: цикла Ренкина с перегревом от цикла Ренкина с промежуточными перегревами пара?
6. Что такое перегретый пар, влажный пар, сухой насыщенный пар?
7. Назовите достоинства и недостатки паросиловых установок?
8. Что необходимо сделать для увеличения КПД цикла?

Лабораторная работа №7: Исследование процессов сжатия воздуха в поршневом компрессоре.

Контрольные вопросы для допуска к работе и защиты отчета

1. Какова цель выполняемой работы?
2. Назовите метод определения весовой производительности компрессора.

3. Какие измерения должны быть выполнены во время эксперимента?
4. Опишите устройство лабораторного стенда.
5. Что такое адиабатная работа сжатия?
6. Что такое изотермическая работа сжатия?
7. Что такое политропное сжатие?
8. Как определяется коэффициент использования энергии компрессорной установки?
9. Какие вы знаете КПД компрессорной установки?
10. Назовите порядок проведения эксперимента, его цель.
11. Какой процесс сжатия является наиболее выгодным?
12. Что такое удельный объем воздуха?
13. Как определяется удельная производительность компрессора по всасываемому воздуху?

Лабораторная работа №8: Тепловой баланс фреоновой холодильной машины.

Контрольные вопросы для допуска к работе и защиты отчета

1. Почему для получения холода необходимо затрачивать работу?
2. В чем сущность теоретического холодильного цикла Карно?
3. Из каких основных элементов состоят компрессионные холодильные установки и каково назначение каждого из этих элементов?
4. Что представляет собой по физическому смыслу холодильный коэффициент  $\xi$ ?
5. Зачем проводят переохлаждение сконденсировавшегося пара рабочего вещества?
6. Для чего жидкий холодильный агент перед подачей в испаритель подвергают дросселированию?
7. Как, пользуясь T-S и lg P-h-диаграммами, определить холодопроизводительность  $Q_0$  и работу, затрачиваемую при совершении кругового процесса  $Q_1$  ?

### 6.2. Темы письменных работ

Цель работы: контрольная работа выполняется с целью закрепления знаний, полученных в процессе изучения дисциплины.

Тема: "Термодинамика"

Основная тематика: тематика контрольной работы связана с проработкой таких тем как: идеальный газ, сжатие газа (адиабатное, изотермическое, политропное), изучение процессов во влажном воздухе, циклы воздушной холодильной машины, истечение и дросселирование газов и паров, циклы газотурбинных установок, циклы паросиловой установки (цикл Ренкина).

Рекомендуемый объем работы: бакалаврам по учебному плану необходимо выполнить 1 контрольную работу, в которой 4 задания в соответствии с вариантом.

### 6.3. Фонд оценочных средств

Вопросы к зачету:

Раздел 1: Первый закон и второй закон термодинамики

- 1.1. Техническая термодинамика как теоретическая основа теплоэнергетики. Предмет и метод термодинамики.
  - 1.2. Первый закон термодинамики как закон сохранения энергии.
  - 1.3. Теплота, опыт Джоуля, эквивалентность теплоты и работы.
  - 1.4. Аналитическое выражение первого закона термодинамики через внутреннюю энергию. Формулировки первого закона термодинамики.
  - 1.5. Теплота как функция процесса.
  - 1.6. Вечный двигатель первого рода.
  - 1.7. Энтальпия как функция состояния. Аналитическое выражение первого закона термодинамики через энтальпию.
  - 1.8. Обратимые и необратимые процессы. Формулировки второго закона.
  - 1.9. Обратимость и производство работы (полезная работа, максимально полезная работа системы, тепла).
  - 1.10. Энтропия. Энтропийный метод расчета потерь работоспособности.
  - 1.11. Метод КПД в анализе необратимых циклов. Сравнительный анализ методов.
  - 1.12. Основные математические методы. Соотношения Максвелла.
  - 1.13. Частные производные внутренней энергии, энтропии, энтальпии, теплоемкости.
  - 1.14. Закрытые и открытые системы, химический потенциал и его свойства для характеристики открытых систем.
  - 1.15. Влажный воздух - основные понятия.
  - 1.16. Влагосодержание, абсолютная и относительная влажность, степень насыщения, точка росы.
  - 1.17. Энтальпия влажного воздуха. Температура мокрого термометра, психрометр.
  - 1.18. h, d - диаграмма, процессы во влажном воздухе.
  - 1.19. Условия термодинамической устойчивости. Устойчивость фаз.
  - 1.20. Условия фазового равновесия. Правило фаз Гиббса.
  - 1.21. Фазовые переходы первого и второго рода. Фазовая P,T - диаграмма, характеристика точки фазовой диаграммы.
  - 1.22. Свойства веществ на линии фазовых переходов. Двухфазные системы.
- Раздел 2: Реальные газы. Дросселирование. Истечение.
- 2.1 Уравнение Ван-дер-Ваальса. Вириальная форма уравнения состояния.
  - 2.2 Процесс дросселирования. Дифференциальный дроссель-эффект, температура инверсии, кривая инверсии.
  - 2.3 Физическая сущность эффекта Джоуля-Томсона. Интегральный дроссель-эффект.
  - 2.4 Адиабатное расширение реального газа. Потери эксергии в процессе адиабатного расширения.
  - 2.5 Потери эксергии при дросселировании. Расчет процесса дросселирования водяного пара в h,S - диаграмме.
  - 2.6 Переход через скорость звука, число Маха. Комбинированное сопло Лавала.

- 2.7 Истечение реальных газов и паров. Расчет истечения с помощью  $h,S$  - диаграммы. Истечение с учетом необратимости.
  - 2.8 Термодинамическая система и окружающая среда.
  - 2.9 Равновесные и неравновесные состояния. Параметры состояния.
  - 2.10 Уравнение состояния, термодинамическая поверхность.
  - 2.11 Понятие теплового равновесия, первый закон термодинамики.
  - 2.12 Потенциалы и координаты термодинамических взаимодействий. Температура, энтропия.
  - 2.13 Соотношения между единицами работы и тепла. Работа расширения как функция процесса.
  - 2.14 Внутренняя энергия как функция состояния. Понятие полного и неполного дифференциалов.
  - 2.15 Понятие идеального газа. Термическое уравнение состояния идеального газа. Закон Авогадро и его следствия.
  - 2.16 Уравнение Менделеева-Клапейрона. Теплоемкость, истинная и средняя теплоемкость,  $C_p$  и  $C_v$ . Формула Майера.
  - 2.17 Молекулярно-кинетическая и квантовая теория теплоемкости.
  - 2.18 Основные термодинамические процессы идеальных газов (изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный).
  - 2.19 Политропные процессы и их анализ. Таблицы термических и калорических свойств идеальных газов.
  - 2.20 Термодинамические циклы.
  - 2.21 Термический КПД и холодильный коэффициент.
  - 2.22 Прямые и обратные циклы. Цикл Карно и его термический КПД. Теорема Карно.
  - 2.23 Энтропия, интеграл Клаузиуса.
  - 2.24  $T-S$  - диаграмма и ее свойства. Термодинамические циклы в  $T,S$  - диаграмме.
  - 2.25 Таблицы энтропии идеальных газов. Изменение энтропии в необратимых процессах.
  - 2.26 Объединенное уравнение первого и второго законов для обратимых и необратимых процессов.
  - 2.27 Основные математические методы.
  - 2.28 Соотношения Максвелла. Частные производные внутренней эксергии, энтропии, энтальпии, теплоемкости.
  - 2.29 Гомогенные и гетерогенные системы. Понятие стабильного, лабильно-го метастабильного состояний.
  - 2.30 Термодинамические условия равновесия при различных условиях взаимодействия системы с окружающей средой. Характеристические функции и взаимосвязь между ними
  - 2.31 Основные понятия и определения (парообразование, испарение, кипение, конденсация, сублимация, десублимация).
  - 2.32 Насыщенная жидкость, влажный пар, сухой насыщенный пар, перегретый пар, степень сухости.
  - 2.33 Закон Дальтона, способы задания состава смеси. Уравнение состояния смеси идеальных газов. Средняя молекулярная масса газовой смеси.
  - 2.34 Аномалия в поведении веществ. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
  - 2.35 Теплота фазового перехода. Фазовые переходы, "жидкость-пар", "твердое тело-жидкость", "твердое тело-пар".
  - 2.36 Изображение кривых фазовых равновесий двух и трехфазных областей в  $P-V$ ;  $T-V$ ;  $T-S$  диаграммах.
  - 2.37  $P,V,P$  - зависимость реальных газов.
  - 2.38 Коэффициент сжимаемости. Метод термодинамического подобия.
  - 2.39 Особенности  $P-V$  - диаграммы водяного пара.
  - 2.40 Удельный объем, энтальпия, энтропия воды, влажного, сухого, насыщенного и перегретого пара.
  - 2.41 Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара.  $T-S$ ;  $h-S$  - диаграммы воды и водяного пара.
  - 2.42 Основные уравнения истечения. Уравнение сплошности, движения, уравнение состояния. Уравнение первого закона для потока.
  - 2.43 Адиабатное течение, располагаемая работа. Скорость звука.
  - 2.44 Сопла, изменение скорости течения вдоль сопла. Истечение из суживающегося сопла.
  - 2.45 Расход газа при истечении из суживающегося сопла, максимальный расход, критическая скорость, скорость звука.
  - 2.46 Зависимость скорости и расхода от отношения начального и конечного давлений
- Экзаменационные вопросы:
- Раздел 3: Теплосиловые и холодильные циклы
- 3.1. Основные положения и принцип действия. Цикл установки (цикл Ренкина).
  - 3.2. Цикл с насыщенным паром, представление цикла в  $P,V$  и  $T,S$  - диаграммах.
  - 3.3. Цикл с перегретым паром, представленный в  $P,V$  и  $T,S$  - диаграммах.
  - 3.4. Анализ циклов с насыщенным и перегретым паром.
  - 3.5. Регенеративные циклы.
  - 3.6. Схема регенеративного подогрева с отводом пара. Изображение цикла в  $T,S$  - диаграмме.
  - 3.7. Термический КПД регенеративного цикла.
  - 3.8. Основы теплофикации. Комбинированные циклы. Преимущества и недостатки водяного пара как рабочего тела.
  - 3.9. Бинарный цикл и его КПД. Схема бинарной ПТУ.
  - 3.10. Термический КПД идеального цикла. Действительный цикл и его КПД.
  - 3.11. Методы повышения КПД циклов ГТУ.
  - 3.12. Цикл с регенерацией и изобарный подвод тепла (адиабатное и изотермическое сжатие).
  - 3.13. Методы повышения КПД циклов - регенерация, ступенчатый подвод тепла, ступенчатый отвод тепла.
  - 3.14. Работа одноступенчатого компрессора.
  - 3.15. Индикаторная диаграмма.
  - 3.16. Изотермическое, адиабатное, политропное сжатие.
  - 3.17. Принцип применения многоступенчатого компрессора.
  - 3.18. Изображение в  $P,V$  и  $T,S$  - диаграммах процессов в компрессоре. Не-обратимое сжатие.
  - 3.19. Термодинамические свойства рабочих тел пароконденсационных холодильных установок. Схема, цикл и холодильный коэффициент паро-компрессионной установки.
  - 3.20. Цикл парозежкторной установки. Схема и принцип работы абсорбционной установки.
  - 3.21. Цикл теплового насоса термотрансформатора. Методы сжижения га-зов.
  - 3.22. Эксергия как мера работоспособности. Эксергия потока и тепла. Эксергия неподвижного рабочего тела.

- 3.23. Эксергетические диаграммы. Эксергетический КПД. Эксергетический метод расчета потерь.
- 3.24. Формула Гюи-Стодолы. Понятия эксергии и анергии.
- 3.25. Правило смещения и прямая смещения.
- 3.26. Фазовые диаграммы T-N, P-N и P,T.
- 3.27. Положение кривых конденсации и кипения при различных давлениях.
- 3.28. Азеотропные растворы. Расчет фазовых равновесий. Коэффициенты активности компонентов.
- 3.29. Построение h-N и S-N - диаграмм раствора.
- 3.30. Термодинамические процессы с растворами (изобарные, адиабатного дросселирования, непрерывного парообразования, абсорбции и др.).
- 3.31. Первый закон термодинамики в термехимии. Тепловой эффект реак-ции. Закон Гесса и его следствия.
- 3.32. Зависимость теплового эффекта реакции от температуры. Стандартный тепловой эффект.
- 3.33. Второй закон термодинамики в термехимии. Закон действующих масс.
- 3.34. Константа равновесия. Степень диссоциации.
- 3.35. Анализ цикла Ренкина с учетом необратимых потерь. КПД паротурбинной установки. Удельные расходы пара и тепла.
- 3.36. Парогазовые циклы, их термический КПД.
- 3.37. Циклы АЭС. Свойства теплоносителей АЭС.
- 3.38. Цикл насыщенного пара. Циклы для высокотемпературных установок.
- 3.39. Газотурбинные установки - общие принципы действия.
- 3.40. Цикл с изобарным подводом тепла (адиабатное и изотермическое сжатие).
- 3.41. Многоступенчатое сжатие и многоступенчатый подвод тепла.
- 3.42. Цикл с изохорным подводом тепла. Замкнутые циклы, рабочие тела замкнутых систем ГТУ.
- 3.43. Прямые и обратные циклы. Понятие горячего и холодного источни-ка.
- 3.44. Обратимые циклы. Среднетермодинамическая температура подвода и отвода тепла в цикле.
- 3.45. Обратимые циклы, внешняя и внутренняя необратимость. Внутренний КПД цикла.
- 3.46. Центробежный компрессор. Поршневые двигатели внутреннего сгорания, общие принципы действия. Индикаторная диаграмма.
- 3.47. Циклы с изохорным, изобарным, смешанным подводом тепла. Анализ КПД циклов по средним температурам подвода и отвода тепла.
- 3.48. Обратный цикл Карно, холодильный коэффициент. Схема и цикл воздушной холодильной установки.
- Раздел 4: Основы химической термодинамики. Основы термодинамики необратимых процессов.
- 4.1. Два способа расчета термодинамических свойств гомогенных бинар-ных растворов.
- 4.2. Растворимость и зона несмесимости. Объемные и тепловые эффекты растворения.
- 4.3. Комбинированные процессы (дистилляция с дефлегмацией, ректи-фикация). Расчеты процессов по диаграммам h-N и S-N. 52. Термодинамические свойства диссоциирующих газов. Свободная энергия и изобарный потенциал. Химический потенциал. 53. Уравнение максимальной работы Гиббса-Гельмгольца. Константа равновесия и максимальная работа реакции. Зависимость константы равновесия от давления и температуры.
- 4.4. Влияние температуры на скорость химической реакции. Абсолютная энтропия. Стандартные значения термодинамических функций веществ.

#### 6.4. Перечень видов оценочных средств

Вопросы к зачету.  
 Экзаменационные вопросы.  
 Комплект контрольных заданий по вариантам.  
 Отчет по лабораторной работе.

### 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

#### 7.1. Рекомендуемая литература

##### 7.1.1. Основная литература

	Авторы,	Заглавие	Издательство,	Кол-во	Эл. адрес
ЛП. 1	Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е.	Техническая термодинамика: Учебник для вузов	Москва: МЭИ, 2008	15	
ЛП. 2	Цирельман Н. М.	Техническая термодинамика: учебное пособие	Санкт- Петербург: Лань, 2018	1	<a href="https://e.lanbook.com/book/107965">https://e.lanbook.com/book/107965</a>
ЛП. 3	Амирханов Д. Г., Амирханов Р. Д., Шевченко Е. И.	Техническая термодинамика: учебное пособие	Казань: Казанский научно- исследовательск ий технологически й университет (КНИТУ), 2014	1	<a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=428258">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=428258</a>

	Авторы,	Заглавие	Издательство,	Кол-во	Эл. адрес
Л1. 4	Цирельман Н. М.	Техническая термодинамика: Учебное пособие для вузов	Санкт- Петербург: Лань, 2021	1	<a href="https://e.lanbook.com/book/176665">https://e.lanbook.com/book/176665</a>
<b>7.1.2. Дополнительная литература</b>					
	Авторы,	Заглавие	Издательство,	Кол-во	Эл. адрес
Л2. 1	Александров А.А.	Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок: Учеб. пособие для вузов	Москва: МЭИ, 2004	15	
Л2. 2	Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е.	Техническая термодинамика: Учебник	Москва: Энергоатомизда т, 1983	36	
Л2. 3	Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е.	Техническая термодинамика: учебник	Москва: Энергия, 1974	36	
Л2. 4	Зубарев В.Н., Александров А.А., Охотин В.С.	Практикум по технической термодинамике: Учебное пособие для вузов	Москва: Энергоатомизда т, 1986	19	
Л2. 5	Ривкин С.И., Александров А.А.	Термодинамические свойства воды и водяного пара: Справочник	Москва: Энергоатомизда т, 1984	11	
Л2. 6	Александров А.А., Григорьев Б.А.	Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник	Москва: МЭИ, 2003	58	
Л2. 7	Федяев А.А., Федяева В.Н., Видин Ю.В.	Термодинамика: лабораторный практикум	Братск: БрГУ, 2002	19	
Л2. 8	Федяев А.А., Федяева В.Н., Видин Ю.В.	Термодинамика: лабораторный практикум	Братск: БрГУ, 2002	1	<a href="http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебно-методические%20пособия/Энергетика%20-%20Автоматика/Федяев%20А.А.%20Термодинамика.2002.pdf">http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебно-методические%20пособия/Энергетика%20-%20Автоматика/Федяев%20А.А.%20Термодинамика.2002.pdf</a>
<b>7.1.3. Методические разработки</b>					
	Авторы,	Заглавие	Издательство,	Кол-во	Эл. адрес
Л3. 1	Федяев А.А., Федяева В.Н.	Теоретические основы теплотехники. Термодинамика.: Методические указания	Братск: БрГУ, 2009	148	
Л3. 2	Федяева В.Н., Федяев А.А.	Термодинамика. Исследование процессов во влажном воздухе: Методические указания к выполнению лабораторной работы	Братск: БрГУ, 2009	31	
Л3. 3	Латушкина С.В.	Теплотехника. Определение теплоемкости воздуха: методические указания к выполнению лабораторной работы	Братск: БрГУ, 2012	93	
Л3. 4	Федяев А.А., Федяева В.Н.	Техническая термодинамика. Изучение основных методов и средств измерения характеристик термодинамических систем: методические указания по выполнению лабораторной работы	Братск: БрГУ, 2013	51	
Л3. 5	Федяева В.Н., Федяев А.А.	Техническая термодинамика. Изучение процесса адиабатного истечения газа суживающее сопло: методические указания по выполнению лабораторной работы	Братск: БрГУ, 2013	69	

<b>7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"</b>			
Э1	Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"		
<b>7.3.1 Перечень программного обеспечения</b>			
7.3.1.1	Microsoft Windows Professional 7 Russian Upgrade Academic OPEN No Level		
7.3.1.2	Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level		
7.3.1.3	Adobe Acrobat Reader DC		
7.3.1.4	Microsoft Windows (Win Pro 10)		
<b>7.3.2 Перечень информационных справочных систем</b>			
7.3.2.1	ИСС "Кодекс". Информационно-справочная система		
7.3.2.2	Справочно-правовая система «Консультант Плюс»		
7.3.2.3	Издательство "Лань" электронно-библиотечная система		
7.3.2.4	«Университетская библиотека online»		
7.3.2.5	Электронный каталог библиотеки БрГУ		
7.3.2.6	Электронная библиотека БрГУ		
7.3.2.7	Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"		
7.3.2.8	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU		
7.3.2.9	Национальная электронная библиотека НЭБ		
7.3.2.10	Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ)		
<b>8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)</b>			
Аудитория	Назначение	Оснащение аудитории	Вид занятия
1223	Лаборатория общей теплотехники	Основное оборудование: Автоматизированный стенд-тренажёр «Автономная система отопления», Лабораторная установка для изучения процессов во влажном воздухе, Лабораторная установка для изучения теплообмена при различных режимах кипения жидкости, Лабораторная установка для изучения теплообмена излучением, Лабораторная установка для исследования теплопередачи «труба в трубе», Стенд «Определение удельной теплоемкости воздуха при постоянном давлении методом протока», Автоматизированный компьютеры Intel(P) Celer CPU 240 GHz/228 MB –3 шт.; Intel 2.6 GHz/RAM-512Mb, Лабораторная установка для определения коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции, Лабораторная установка для определения теплоёмкости (P=const), Учебный стенд «Определение коэффициента теплопроводности металла», Стенд лабораторный, Учебно-демонстрационный комплекс «Техническая термодинамика. Тепломассообмен». Дополнительно: Маркерная доска - 1 шт. Учебная мебель: Комплект мебели (посадочных мест) - 14 шт. Комплект мебели (посадочных мест) для преподавателя – 1 шт.	Лаб
2201	читальный зал №1	Комплект мебели (посадочных мест) Стеллажи Комплект мебели (посадочных мест) для библиотекаря Выставочные шкафы ПК i5-2500/H67/4Gb (монитор TFT19 Samsung) (10шт.); принтер HP Laser Jet P2055D (1шт.)	Ср
1104	Лаборатория гидрогазодинамики	Основное оборудование: Стенд гидравлический ТМЖ-2, Лабораторная установка для «определение коэффициента внутреннего трения воздуха при разных температурах», Стенд «Турбина», Стенд «Насосная установка». Дополнительно: Маркерная доска - 1 шт. Учебная мебель: Комплект мебели (посадочных мест) - 12 шт. Комплект мебели (посадочных мест) для преподавателя – 1 шт.	Лаб
1103	Лаборатория тепломассообменных процессов и установок	Основное оборудование: Учебный стенд «Изучение холодильного оборудования», Дистиллятор ДЭ-4-2, Шкаф сушильный СНОЛ-2,4 2 шт, Печь муфельная ПМ-8, Сушильный шкаф СНОЛ 67/350 2 шт, Дополнительно:	Лаб

		Маркерная доска - 1 шт. Учебная мебель: Комплект мебели (посадочных мест) - 12 шт. Комплект мебели (посадочных мест) для преподавателя – 1 шт.	
0001*	аудитория для практических занятий	Учебная мебель	Пр
0002*	лекционная аудитория	Учебная мебель	Лек

### 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Дисциплина техническая термодинамика направлена на получение знаний о фундаментальных законах осуществления тепловых процессов, термодинамических методах анализа замкнутых и разомкнутых теплотехнических процессов разного назначения и выработать практические навыки определения термодинамических характеристик процессов с одно- и двухфазными рабочими телами и теплоносителями постоянного и переменного состава.

Изучение дисциплины техническая термодинамика предусматривает:

- лекции,
- лабораторные работы,
- практические работы,
- контрольную работу,
- самостоятельную работу, зачет,
- экзамен.

В ходе освоения раздела 1 «Первый и второй закон термодинамики» студенты должны уяснить: понятия технической термодинамики как теоретической основы теплоэнергетики и предмета, термодинамической системы, теплового равновесия, окружающей среды, полного и неполного дифференциалов, энтальпии, идеального газа, теплоты, работы, теплоемкости, вечного двигателя первого рода; разобрать методы термодинамики, параметры состояния и уравнение состояния, первый закон термодинамики, аналитическое выражение первого закона термодинамики через энтальпию, термическое уравнение состояния идеального газа и ознакомиться формулировкой первого закона термодинамики и основными термодинамическими процессами идеальных газов; понятия обратимых и необратимых процессов, термического КПД и холодильного коэффициента, прямых и обратных циклов, энтропии; разобрать формулировку второго закона, тер-модинамические циклы, цикл Карно и его термический КПД, теорему Карно и изучить термодинамические циклы в  $T,S$  – диаграмме, обратимость и производство работы, энтропийный метод, метод КПД.

В ходе освоения раздела 2 «Реальные газы. Дросселирование. Истечение» студенты должны уяснить следующие понятия: гомогенные и гетерогенные системы, стабильное, лабильное и метастабильное состояния, закрытые и открытые системы; изучить термодинамические условия равновесия, характеристические функции и их взаимосвязь между ними и разобрать химический потенциал и его свойства для характеристики открытых систем; парообразование, испарение, кипение, конденсация, сублимация, десублимация, насыщенная жидкость, влажный пар, сухой насыщенный пар, перегретый пар, степень сухости; изучить закон Дальтона и способы задания состава смеси, уравнение состояния смеси идеальных газов; разобрать основные понятия влажного воздуха, процессы во влажном воздухе и работу с  $h, d$  - диаграммой; условия термодинамической устойчивости, устойчивость фаз, условия фазового равновесия, правило фаз Гиббса, фазовые переходы первого и второго рода, фазовые  $P, T$  – диаграммы, уравнение Клапейрона-Клаузиуса, фазовые переходы, изображение кривых фазовых равновесий двух и трехфазных областей в  $P-V$ ;  $T-V$ ;  $T-S$  диаграммах, понятие двухфазной системы и изучить уравнение Ван-дер-Ваальса,  $P, V, P$  - зависимости реальных газов; особенности  $P-V$  - диаграммы водяного пара, понятия удельного объема, энтальпии, энтропии воды, влажного, сухого, насыщенного и перегретого пара; изучить таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара,  $T-S$ ;  $h-S$ -диаграммы воды и водяного пара, понятие дросселирования и процессы дросселирования, понятие эксергии и потери эксергии в процессе адиабатного расширения и при дросселировании, расчет процесса дросселирования водяного пара в  $h,S$  – диаграмме и основные уравнения истечения.

В ходе освоения раздела 3 «Теплосиловые и холодильные циклы» студенты должны уяснить: цикл Ренкина, цикл с насыщенным паром, представление цикла в  $P, V$  и  $T, S$  - диаграммах, цикл с перегретым паром, представленный в  $P, V$  и  $T, S$  – диаграммах, анализ циклов с насыщенным и перегретым паром; анализ цикла Ренкина с учетом необратимых потерь, КПД паротурбинной установки, регенеративные циклы, схему регенеративного подогрева с отводом пара, изображение цикла в  $T, S$  – диаграмме, понятие термического КПД регенеративного цикла, основы теплофикации, бинарный цикл и его КПД, схему бинарной ПТУ, парогазовые циклы и их термический КПД, циклы АЭС; понятие газотурбинной установки и общие принципы действия, изучить все основные циклы ГТУ; прямые и обратные циклы, понятие горячего и холодного источника, принцип применения многоступенчатого компрессора и изображение в  $P, V$  и  $T, S$  - диаграммах процессов в компрессоре, понятия центробежного компрессора, поршневого двигателя внутреннего сгорания и его общие принципы действия, термодинамические свойства рабочих тел пароконденсационных холодильных установок, схему, цикл и холодильный коэффициент пароконденсационной установки, схему и принцип работы абсорбционной установки, цикл теплового насоса термотрансформатора; эксергию как меру работоспособности, потока и тепла и неподвижного рабочего тела, эксергетический КПД, эксергетический метод расчета потерь, формулу Гюи-Стодолы, понятия эксергии и анергии.

В ходе освоения раздела 4 «Основы химической термодинамики; Основы термодинамики необратимых процессов» студенты должны уяснить: два способа расчета термодинамических свойств гомогенных бинарных растворов, понятие растворимости и зоны несмесимости; изучить объемные и тепловые эффекты растворения, правило смешения и прямую смешения, фазовые диаграммы  $T-N$ ,  $P-N$  и  $P, T$ , понятие азеотропных растворов; ознакомиться с понятием коэффициентов активности компонентов и исследовать построение  $h-N$  и  $S-N$  - диаграмм раствора, а также термодинамические и комбинированные процессы и рассмотреть первый и второй закон термодинамики в термохимии.

При подготовке к экзамену рекомендуется особое внимание уделить следующим вопросам: техническая термодинамика, термодинамическая система, понятие теплоты, понятие работы, понятие теплоемкости, вечный двигатель первого рода, параметры состояния и уравнение состояния, первый закон термодинамики, термическое уравнение состояния идеального газа, основные термодинамические процессы идеальных газов; обратимые и необратимые процессы, термический КПД и



холодильный коэффициент, понятие энтропии, цикл Карно и его термический КПД, термодинамические циклы в  $T,S$  – диаграмме; гомогенные и гетерогенные системы, закрытые и открытые системы; понятия парообразования, испарения, кипения, конденсации, сублимации, десублимации, насыщенной жидкости влажного пара, сухого насыщенного пара, перегретого пара, степень сухости, уравнение состояния смеси идеальных газов,  $H, d$  – диаграмма и построение процессов; условия термодинамической устойчивости, устойчивость фаз, условия фазового равновесия, изображение кривых фазовых равновесий двух и трехфазных областей в  $P-V$ ;  $T-V$ ;  $T-S$  диаграммах, особенности  $P-V$  - диаграммы водяного пара, понятие удельного объема,  $T-S$ ;  $h-S$  -диаграммы воды и водяного пара; понятие дросселирования и процессы дросселирования, понятие эксергии; цикл Ренкина, схема регенеративного подогрева с отводом пара, бинарный цикл и его КПД, схема бинарной ПТУ, понятие газотурбинной установки и общие принципы действия, прямые и обратные циклы; принцип применения многоступенчатого компрессора и изображение в  $P,V$  и  $T,S$  - диаграммах процессов в компрессоре, термодинамические свойства рабочих тел пароконденсационных холодильных установок, цикл и холодильный коэффициент пароконденсационной установки, схема и принцип работы абсорбционной установки, понятия эксергии и анергии, понятие растворимости и зоны несмесимости; термодинамические и комбинированные процессы, первый и второй закон термодинамики в термодинамике.

В процессе проведения практических занятий происходит закрепление знаний о системах единиц измерения, переводных соотношениях, свойствах воды и водяного пара. Закрепление понятий о параметрах состояния, теплоемкости, энтальпии и внутренней энергии газов, первом законе термодинамики, теплоты, работы, изменения внутренней энергии, термодинамических процессах, втором законе термодинамики, цикле Карно и его термическом КПД, реальных газах, влажного воздуха, дросселировании газов и паров, циклах паротурбинных установок, комбинированных паропаровых и парогазовых циклах, циклах газотурбинных установок, сжатия газа в компрессоре и циклах двигателей внутреннего сгорания. Получение знаний построение процессов изменения состояния водяного пара и воды в  $H-S$  и  $T-S$  - диаграммах и построение процессов во влажном воздухе в  $H-d$  – диаграмме.

В процессе проведения лабораторных работ происходит формирование умений и навыков реализации представления об экспериментальном определении газовой постоянной влажного воздуха; основных методах и средствах измерения характеристик термодинамических систем; экспериментальном определении теплоемкости воздуха; процессах и определении основных параметров во влажном воздухе и работы с  $H-d$  диаграммой; определении основных параметров циклов паротурбинных установок и представлении цикла в  $P,V$  и  $T,S$  – диаграммах; исследования процессов сжатия воздуха в поршневом компрессоре и о составлении теплового баланса фреоновой холодильной машины/

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературой. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и Интернете.