

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "УДМУРТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"**

Рег. № 000009258



Ижевск, 2024

Проректор по образовательной
деятельности и молодежной политике

С. Л. Воробьева

20 24

Кафедра энергетики и электротехнологии

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины (модуля): Техническая термодинамика

Уровень образования: Бакалавриат

Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки: Энергообеспечение предприятий

Очная, заочная

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника (приказ № 143 от 28.02.2018 г.)

Разработчики:

Артамонова Л. П., кандидат экономических наук, доцент

Программа рассмотрена на заседании кафедры, протокол № 01 от 30.08.2024 года

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Цель изучения дисциплины - вооружение студентов знаниями фундаментальных законов, являющихся основой функционирования тепловых машин и аппаратов, представлениями о рабочих процессах, протекающих в тепловых машинах и их эффективности, о свойствах рабочих тел и теплоносителей.

Задачи дисциплины:

- Овладение студентами основными понятиями технической термодинамики, терминологией, законами;;
- Овладение студентами основными процессами, протекающими в тепловых машинах;;
- Овладение студентами методами расчета термодинамических процессов;;
- Овладение студентами методами расчета и экспериментального определения свойств рабочих тел и теплоносителей;;
- Овладение студентами основными требованиями, характеризующими профессиональную деятельность бакалавров.

2. Место дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина «Техническая термодинамика» относится к базовой части учебного плана.

Дисциплина изучается на 2 курсе, в 3, 4 семестрах.

Изучению дисциплины «Техническая термодинамика» предшествует освоение дисциплин (практик):

Физика;
Математика;
Инженерная экология;
Химия.

Освоение дисциплины «Техническая термодинамика» является необходимой основой для последующего изучения дисциплин (практик):

Гидрогазодинамика;
Инженерные прикладные программы в теплоэнергетике;
Котельные установки и парогенераторы;
Тепломассообмен;
Тепловые двигатели и нагнетатели;
Технология ремонта и эксплуатации энергооборудования;
Технологические энергосистемы предприятий;
Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях;
Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы.

В процессе изучения дисциплины студент готовится к видам профессиональной деятельности и решению профессиональных задач, предусмотренных ФГОС ВО и учебным планом.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенций:

- ОПК-2 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

Знания, умения, навыки, формируемые по компетенции в рамках дисциплины, и индикаторы освоения компетенций

Студент должен знать:

Математический аппарат исследования функций, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, рядов, дифференциальных уравнений, теории функций комплексного переменного, численных методов. Физические явления, законы механики, термодинамики, электричества и магнетизма, оптики. Основы автоматического управления и регулирования.

Студент должен уметь:

Применять физико-математический математический аппарат при исследовании и решении профессиональных задач. Выполнять моделирование систем автоматического регулирования

Студент должен владеть навыками:

Физико-математическим аппаратом, законами механики, термодинамики, электричества и магнетизма, оптики, химии при решении профессиональных задач. Основами автоматического управления и регулирования. Методами моделирование систем автоматического регулирования

- ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

Знания, умения, навыки, формируемые по компетенции в рамках дисциплины, и индикаторы освоения компетенций

Студент должен знать:

Основные законы движения жидкости и газа, основы гидрогазодинамики, теплофизических свойств рабочих тел, основных законов термодинамики и термодинамических соотношений, основных законов и способов переноса теплоты и массы.

Студент должен уметь:

Применять основные законы движения жидкости и газа, основы гидрогазодинамики, теплофизических свойств рабочих тел, основных законов термодинамики и термодинамических соотношений, основных законов и способов переноса теплоты и массы для расчетов теплотехнических установок и систем.

Студент должен владеть навыками:

Основными способами получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

4. Объем дисциплины и виды учебной работы (очная форма обучения)

Вид учебной работы	Всего часов	Третий семестр	Четвертый семестр
Контактная работа (всего)	124	52	72
Практические занятия	46	14	32
Лекционные занятия	46	24	22
Лабораторные занятия	32	14	18
Самостоятельная работа (всего)	209	128	81
Виды промежуточной аттестации	27		27
Зачет		+	
Экзамен	27		27
Общая трудоемкость часы	360	180	180
Общая трудоемкость зачетные единицы	10	5	5

Объем дисциплины и виды учебной работы (заочная форма обучения)

Вид учебной работы	Всего часов	Третий семестр	Четвертый семестр	Пятый семестр
Контактная работа (всего)	36	14	16	6
Практические занятия	16	4	6	6

Лекционные занятия	8	4	4	
Лабораторные занятия	12	6	6	
Самостоятельная работа (всего)	311	94	88	129
Виды промежуточной аттестации	13		4	9
Зачет	4		4	
Экзамен	9			9
Общая трудоемкость часы	360	108	108	144
Общая трудоемкость зачетные единицы	10	3	3	4

5. Содержание дисциплины

Тематическое планирование (очное обучение)

Номер темы/раздела	Наименование темы/раздела	Всего часов	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
	Третий семестр, Всего	180	24	14	14	128
Раздел 1	Техническая термодинамика и ее законы	45	6	4	4	31
Тема 1	Предмет технической термодинамики. Термодинамика и ее метод. Термодинамическая система. Термодинамический процесс.	9	1	1		7
Тема 2	Параметры состояния. Уравнение состояния идеального газа Смеси идеальных газов	11	1	1		9
Тема 3	Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия и работа изменения объема. Внешняя работа. Теплоота.	11	2	2		7
Тема 4	Энтальпия. Уравнение первого закона термодинамики через энтальпию. Теплоемкость газов	14	2		4	8
Раздел 2	Круговые процессы. Второй закон термодинамики.	54	8	4	2	40
Тема 5	Термодинамические циклы. Термический КПД. Формулировки второго закона термодинамики	10	2			8
Тема 6	Энтропия. Изменение энтропии в необратимых процессах.	9	1	1		7
Тема 7	Круговые процессы (циклы). Прямой и обратный циклы Карно. Теорема Карно.	11	1	1		9
Тема 8	Эксергия теплоты. Эксергия потока рабочего тела.	11	2			9
Тема 9	Основные термодинамические процессы идеальных газов и их исследование	13	2	2	2	7
Раздел 3	Дифференциальные уравнения термодинамики	18	2			16

Тема 10	Характеристические функции и термодинамические потенциалы.	9	1			8
Тема 11	Основные дифференциальные уравнения термодинамики. Соотношения Максвелла. Уравнения Гиббса-Гельмгольца.	9	1			8
Раздел 4	Основные термодинамические процессы реальных газов	37	4	4	4	25
Тема 12	Фазовые переходы. Устойчивость фаз. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса	10	1	1		8
Тема 13	Термические и калорические свойства реальных газов. Уравнение состояния реальных газов	11	1	1		9
Тема 14	Процесс парообразования. Основные параметры водяного пара. Термодинамические процессы водяного пара.	16	2	2	4	8
Раздел 5	Влажный воздух	26	4	2	4	16
Тема 15	Характеристики влажного воздуха. Расчет параметров влажного воздуха.	12	2	2		8
Тема 16	Термодинамические процессы с влажным воздухом (охлаждение, нагрев, смешение, сушка воздухом).	14	2		4	8
	Четвертый семестр, Всего	153	22	32	18	81
Раздел 6	Истечение газов и паров	31	6	6	4	15
Тема 17	Первый закон термодинамики для потока	5	1	1		3
Тема 18	Связь изменения скорости и параметров состояния в потоке. Скорость звука	5	1	1		3
Тема 19	Соотношение между статическими параметрами и параметрами торможения.	6	1	2		3
Тема 20	Истечение из суживающихся сопел и сопла Лавалья	8	1		4	3
Тема 21	Дросселирование газов и паров. Эффект Джоуля-Томпсона.	7	2	2		3
Раздел 7	Циклы компрессоров	20	4	4	4	8
Тема 22	Одноступенчатое сжатие	7	2	2		3
Тема 23	Многоступенчатое сжатие	4	1			3
Тема 24	Оценка эффективности работы компрессоров	9	1	2	4	2
Раздел 8	Циклы двигателей внутреннего сгорания	19	2	4	4	9
Тема 25	Методы термодинамического анализа циклов	9		2	4	3
Тема 26	Циклы ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме, при постоянном давлении, со смешанным подводом теплоты	5	1	1		3
Тема 27	Циклы газотурбинных установок со сгоранием топлива при постоянном давлении, при постоянном объеме	5	1	1		3
Раздел 9	Циклы паротурбинных установок.	34	4	8		22
Тема 28	Цикл Карно для водяного пара. Цикл Ренкина без перегрева пара.	7	1	2		4
Тема 29	Цикл Ренкина с промежуточным перегревом пара.	8	1	2		5
Тема 30	Регенеративный цикл паротурбинной установки. Комбинированные циклы	7	1	2		4
Тема 31	Теплофикационные паротурбинные установки	5	1			4

Тема 32	Эксергетический анализ ПТУ	7		2		5
Раздел 10	Циклы холодильных машин и тепловых насосов	32	4	6	4	18
Тема 33	Схема и цикл газовой (воздушной) холодильной установки	6		2		4
Тема 34	Схема и цикл парокомпрессионной холодильной установки	10	1		4	5
Тема 35	Циклы парожеткторных и адсорбционных холодильных машин	8	1	2		5
Тема 36	Цикл теплового насоса	8	2	2		4
Раздел 11	Основы химической термодинамики	17	2	4	2	9
Тема 37	Основные законы химической термодинамики	8	1	2	2	3
Тема 38	Термодинамические потенциалы	4	1			3
Тема 39	Химическое равновесие термодинамической системы	5		2		3

На промежуточную аттестацию отводится 27 часов.

Содержание дисциплины (очное обучение)

Номер темы	Содержание темы
Тема 1	Предмет и метод термодинамики. Техническая термодинамика как теоретическая база специальных теплотехнических дисциплин. Термодинамическое равновесие. Неравновесные состояния и процессы. Термодинамическая система: основные определения и классификации. Термодинамический процесс. Обратимые и необратимые процессы.
Тема 2	Параметры состояния. Термодинамические параметры простой системы: температура, давление, объем. Уравнение состояния идеального газа. Универсальная газовая постоянная. Нормальные физические условия. Смеси идеальных газов. Способы задания состава смеси. Ка-жущаяся молекулярная масса смеси. Газовая постоянная смеси. Закон Дальтона для смеси. Парциальное давление.
Тема 3	Виды энергии. Внутренняя энергия как функция состояния. Работа, связанная с изменением объема. Внешняя работа. Определение работы и теплоты через термодинамические параметры состояния. PV - диаграмма. Частные случаи. Закон сохранения и превращения энергии. Первое начало термодинамики. Сущность закона. Различные формулировки закона. Аналитическое выражение закона для закрытых систем. Энтальпия.
Тема 4	Сумма внутренней энергии системы и произведения давления на объем. Уравнение Первого закона термодинамики через энтальпию. Теплоемкость системы. Массовая, объемная и молярная теплоемкость. Теплоемкость при постоянном объеме и давлении. Уравнение Майера.
Тема 5	Обратимые и необратимые процессы. Основные причины необратимости процессов. Термодинамические циклы: прямые и обратные, обратимые и необратимые. Термический коэффициент полезного действия цикла теплового двигателя. Термодинамические процессы и циклы в $T-s$ -диаграмме. Циклические процессы преобразование теплоты в работу. Второе начало термодинамики. Основные формулировки закона. Аналитическое выражение закона. Вечный двигатель первого и второго рода. Аналитическое выражение второго закона термодинамики для необратимых процессов. Второе начало термодинамики для неравновесных систем. Философское и статистическое толкования второго закона термодинамики.

Тема 6	Доказательство существования энтропии. Возрастание энтропии при необратимых процессах. Изменение энтропии в неравновесных процессах. Необратимая адиабата. Теплообмен с конечной разностью температур. Возрастание энтропии изолированной системы. Статистический смысл второго закона термодинамики. Энтропия и термодинамическая вероятность состояния. Энтропийный метод расчета потерь энергии необратимых процессов.
Тема 7	Прямой цикл Карно и его КПД. Обратный цикл Карно и его холодильный коэффициент. Теорема Карно. Максимальная работа цикла. Среднеинтегральная температура подвода (отвода) теплоты и эквивалентный цикл Карно.
Тема 8	Понятие эксергии. Уравнение Гюи-Стодолы. Эксергический анализ. Эксергия как мера работоспособности системы. Эксергия массы вещества в объеме, потока тепла и потока вещества. Потеря эксергии при необратимых процессах. Эксергетический КПД.
Тема 9	Термодинамические процессы изменения состояния идеальных газов. Общие вопросы исследования процессов изменения состояния идеального газа: изохорного, изобарного, изотермического, адиабатного. Политропные процессы. Основные термодинамические процессы как частный случай политропного процесса. Определение показателя политропы и теплоемкости политропного процесса. Определение теплоты и работы процесса. Изображение процессов в p - v - и T - s -диаграммах.
Тема 10	Термодинамические потенциалы и их смысл. Внутренняя энергия. Энтальпия. Свободная энергия. Термодинамический потенциал Гиббса. Собственные координаты термодинамических потенциалов. Соотношения Максвелла. Уравнения Гиббса-Гельмгольца
Тема 11	Основные дифференциальные уравнения термодинамики. Связь между термическими и калорическими величинами в переменных v , T и p , T . Энергии Гиббса и Гельмгольца и их свойства. Зависимость теплоемкостей c_p и c_v от объема и давления. Уравнения Максвелла.
Тема 12	Реальные газы. Качественные особенности реальных газов. Фазовые переходы. Теплота фазового перехода. Условие равновесия фаз. Плавление. Парообразование. Сублимация. Тройная точка. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса.
Тема 13	Термодинамические свойства реальных веществ, p - v - и T - s -диаграммы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Критическое состояние. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса. Критические параметры. Изотермы реального газа. Опыт Эндрюса
Тема 14	Пары. Характерные состояния воды и водяного пара. Получение пара. Характерные состояния воды и водяного пара. TS - диаграмма состояний воды и водяного пара. Термодинамические свойства воды и водяного пара. HS - диаграмма состояний воды и водяного пара. Термодинамические свойства жидкостей. Термодинамические свойства паров. Теплота парообразования. Изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный процессы с водяным паром. Определение параметров состояния и процессов с помощью термодинамических таблиц и TS -диаграммы.
Тема 15	Основные определения. Абсолютная и относительная влажность. Температура точки росы. Влажосодержание. Газовая постоянная и плотность влажного воздуха. h - d -диаграмма влажного воздуха.

Тема 16	Термодинамические процессы с влажным воздухом (охлаждение, нагрев, испарение, увлажнение) и др. Определение параметров процессов с помощью $h-d$ -диаграмма. Смещение потоков воздуха. Параметры смеси. Сушка нагретым воздухом. Изменение параметров воздуха при сушке.
Тема 17	Истечение и дросселирование газов и паров. Уравнение первого закона термодинамики для потока и его анализ. Уравнение неразрывности. Уравнение импульсов. Работа проталкивания. Располагаемая работа при истечении газа.
Тема 18	Адиабатное истечение газа. Истечение капельной жидкости. Скорость адиабатного истечения. Максимальная и критическая скорости потока. Условия перехода потока из дозвукового течения в сверхзвуковое. Сопла и диффузоры. Массовый расход газа при истечении.
Тема 19	Параметры полного адиабатного торможения потока. Соотношение между статической температурой и температурой торможения, статическим давлением и давлением торможения. Критическое отношение давлений
Тема 20	Сопло и диффузор. Скорость истечения газа из суживающегося сопла. Максимальный расход и критическая скорость. Критическое отношение давлений и температур. Зависимость скорости и расхода от отношения начального к конечному давлению. Комбинированное сопло Лавалья. Адиабатное течение с трением. Коэффициенты скорости и потери энергии.
Тема 21	Сущность процесса дросселирования. Дросселирование идеального газа. Изображение процесса дросселирования в $h-s$ -диаграмме. Потеря эксергии потока при дросселировании. Дифференциальный и интегральный температурный эффект адиабатного дросселирования реальных газов. Температура инверсии. Кривая инверсии.
Тема 22	Термодинамический анализ процессов в компрессорах. Классификация компрессоров и принцип действия. Полная работа, затраченная на привод компрессора. Изотермическое, адиабатное и политропное сжатие. Определение эффективной мощности, затрачиваемой на привод компрессора и отводимой при охлаждении теплоты.
Тема 23	Многоступенчатый компрессор. Оптимальное распределение давлений по ступеням. Изображение в $p-v$ - и $T-s$ -диаграммах процессов в компрессорах для многоступенчатого сжатия.
Тема 24	Необратимое сжатие. Понятия эксергетического, внутреннего относительного, изотермического КПД компрессора. Расчет потерь энергии и эксергетический КПД компрессора.
Тема 25	Теоретический и действительный циклы двигателей. Параметры характерных точек цикла. Подведенная и отведенная теплота в цикле. Работа цикла. Термический КПД обратимого цикла. Методы анализа циклов. Обратимые и необратимые циклы. Относительный внутренний КПД цикла. Термодинамические и эксергетические КПД циклов двигателей внутреннего сгорания. Сравнительный анализ термодинамических циклов.
Тема 26	Циклы двигателей внутреннего сгорания. Циклы с подводом тепла при постоянном давлении, при постоянном объеме, со смешанным подводом тепла. Сравнение циклов по термическому КПД. Зависимость термического КПД от средних температур подвода и отвода тепла. Изображение циклов в $p-v$ - и $T-s$ - диаграммах.

Тема 27	Циклы газотурбинных двигателей и установок. Схема и цикл газотурбинной установки с подводом тепла при постоянном давлении, при постоянном объеме. Действительный цикл газотурбинной установки и система КПД для оценки потерь в ней. Методы повышения КПД: применение регенерации тепла, многоступенчатого сжатия воздуха в компрессоре и ступенчатого расширения продуктов сгорания в турбине. Замкнутые циклы газотурбинных установок.
Тема 28	Циклы паротурбинных установок. Принципиальная схема и теоретический цикл ПТУ, цикл Карно, цикл Ренкина. Влияние начальных и конечных параметров пара на термический КПД. Система КПД для оценки потерь в паротурбинной установке.
Тема 29	Промежуточный перегрев пара и причины его применения. Принципиальная схема паросиловой установки. Схема ПТУ с промежуточным перегревом. Изображение цикла в $p-v$ - Ts - и $h-s$ - диаграммах. Термический КПД обратимого цикла. Влияние начальных и конечных параметров на термический КПД цикла Ренкина.
Тема 30	Регенеративные циклы. Схема и цикл ПТУ в Ts -диаграмме с регенеративным подогревом питательной воды. Термический КПД регенеративного цикла. Действительный цикл ПТУ. Комбинированные циклы. Преимущества и недостатки водяно-го пара как рабочего тела. Бинарный цикл и его КПД. Парогазовый цикл и его КПД.
Тема 31	Схемы и циклы теплофикационных паротурбинных установок. Использование теплоты отработанного пара в системах отопления. Отбор пара на технологические нужды. Одноконтурные и двухконтурные системы.
Тема 32	Уравнение теплового и эксергетического балансов, основные элементы балансов. Эксергетический анализ циклов паросило-вых установок. Термодинамический анализ циклов. Пути повышения экономичности паросиловых установок.
Тема 33	Обратный цикл Карно. Холодильный коэффициент. Требования, предъявляемые к рабочим телам холодильных установок. Схема и теоретический цикл газовой холодильной установки. Цикл Лоренца. Холодопроизводительность, работа и мощность воздушной холодильной машины. Способы увеличения холодопроизводительности.
Тема 34	Принципиальная схема и цикл пароконденсационной холодильной установки. Рабочие тела. Холодильный коэффициент и холодопроизводительность. Способы увеличения холодопроизводительности. Принципиальные схемы и изображение циклов в $p-v$, и Ts -диаграммах. Работа и мощность пароконденсационной холодильной машины.
Тема 35	Пароэжекторная холодильная установка. Абсорбционная холодильная установка. Принципиальные схемы и изображение циклов в $p-v$ - и Ts -диаграммах.
Тема 36	Принципиальная схема теплового насоса. Понятие о коэффициенте теплоиспользования. Коэффициент использования энергии. Область применения тепловых насосов. Техническая и экономическая эффективность насосов. Использование вторичных энергоресурсов.
Тема 37	Первый закон термодинамики в термохимии. Тепловой эффект реакции. Эндотермические и экзотермические реакции. Закон Гесса и его следствия. Зависимость теплового эффекта реакции от температуры. Закон Кирхгофа. Стандартный тепловой эффект.
Тема 38	Второй закон термодинамики в термохимии. Объединенное уравнение первого и второго законов термодинамики. Изохорно-изотермический потенциал (энергия Гельмгольца), изобарно-изотермический потенциал (энергия Гиббса). Уравнение Гиббса-Гельмгольца.

Тема 39	Закон действующих масс и константы равновесия химических процессов. Степень диссоциации. Термодинамические свойства диссоциирующих газов. Константа равновесия и максимальная работа реакции. Зависимость константы равновесия от давления и температуры. Тепловая теорема Нернста.
---------	---

Тематическое планирование (заочное обучение)

Номер темы/раздела	Наименование темы/раздела	Всего часов	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
	Всего	347	8	16	12	311
Раздел 1	Техническая термодинамика и ее законы	38	1	2	2	33
Тема 1	Предмет технической термодинамики. Термодинамика и ее метод. Термодинамическая система. Термодинамический процесс.	8				8
Тема 2	Параметры состояния. Уравнение состояния идеального газа Смеси идеальных газов	10		1		9
Тема 3	Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия и работа изменения объема. Внешняя работа. Теплота.	10	1	1		8
Тема 4	Энтальпия. Уравнение первого закона термодинамики через энтальпию. Теплоемкость газов	10			2	8
Раздел 2	Круговые процессы. Второй закон термодинамики.	45	1	2		42
Тема 5	Термодинамические циклы. Термический КПД. Формулировки второго закона термодинамики	8				8
Тема 6	Энтропия. Изменение энтропии в необратимых процессах.	10		1		9
Тема 7	Круговые процессы (циклы). Прямой и обратный циклы Карно. Теорема Карно.	9				9
Тема 8	Эксергия теплоты. Эксергия потока рабочего тела.	9				9
Тема 9	Основные термодинамические процессы идеальных газов и их исследование	9	1	1		7
Раздел 3	Дифференциальные уравнения термодинамики	18				18
Тема 10	Характеристические функции и термодинамические потенциалы.	9				9

Тема 11	Основные дифференциальные уравнения термодинамики. Соотношения Максвелла. Уравнения Гиббса-Гельмгольца.	9				9
Раздел 4	Основные термодинамические процессы реальных газов	33	1	2	2	28
Тема 12	Фазовые переходы. Устойчивость фаз. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса	10				10
Тема 13	Термические и калорические свойства реальных газов. Уравнение состояния реальных газов	9				9
Тема 14	Процесс парообразования. Основные параметры водяного пара. Термодинамические процессы водяного пара.	14	1	2	2	9
Раздел 5	Влажный воздух	25	1	2	2	20
Тема 15	Характеристики влажного воздуха. Расчет параметров влажного воздуха.	12	1	1		10
Тема 16	Термодинамические процессы с влажным воздухом (охлаждение, нагрев, смешение, сушка воздухом).	13		1	2	10
Раздел 6	Истечение газов и паров	36	1	1	2	32
Тема 17	Первый закон термодинамики для потока	6				6
Тема 18	Связь изменения скорости и параметров состояния в потоке. Скорость звука	8				8
Тема 19	Соотношение между статическими параметрами и параметрами торможения.	6				6
Тема 20	Истечение из суживающихся сопел и сопла Лавалья	10	1	1	2	6
Тема 21	Дросселирование газов и паров. Эффект Джоуля-Томпсона.	6				6
Раздел 7	Циклы компрессоров	21		1	2	18
Тема 22	Одноступенчатое сжатие	7		1		6
Тема 23	Многоступенчатое сжатие	8			2	6
Тема 24	Оценка эффективности работы компрессоров	6				6
Раздел 8	Циклы двигателей внутреннего сгорания	29	1	2	2	24
Тема 25	Методы термодинамического анализа циклов	10			2	8
Тема 26	Циклы ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме, при постоянном давлении, со смешанным подводом теплоты	9		1		8
Тема 27	Циклы газотурбинных установок со сгоранием топлива при постоянном давлении, при постоянном объеме	10	1	1		8
Раздел 9	Циклы паротурбинных установок.	42	1	3		38
Тема 28	Цикл Карно для водяного пара. Цикл Ренкина без перегрева пара.	11	1	2		8
Тема 29	Цикл Ренкина с промежуточным перегревом пара.	8		1		7
Тема 30	Регенеративный цикл паротурбинной установки. Комбинированные циклы	8				8
Тема 31	Теплофикационные паротурбинные установки	8				8
Тема 32	Эксергетический анализ ПТУ	7				7
Раздел 10	Циклы холодильных машин и тепловых насосов	33	1	1		31

Тема 33	Схема и цикл газовой (воздушной) холодильной установки	8				8
Тема 34	Схема и цикл парокомпрессионной холодильной установки	10	1	1		8
Тема 35	Циклы парожетторных и адсорбционных холодильных машин	7				7
Тема 36	Цикл теплового насоса	8				8
Раздел 11	Основы химической термодинамики	27				27
Тема 37	Основные законы химической термодинамики	9				9
Тема 38	Термодинамические потенциалы	9				9
Тема 39	Химическое равновесие термодинамической системы	9				9

На промежуточную аттестацию отводится 13 часов.

Содержание дисциплины (заочное обучение)

Номер темы	Содержание темы
Тема 1	Предмет и метод термодинамики. Техническая термодинамика как теоретическая база специальных теплотехнических дисциплин. Термодинамическое равновесие. Неравновесные состояния и процессы. Термодинамическая система: основные определения и классификации. Термодинамический процесс. Обратимые и необратимые процессы.
Тема 2	Параметры состояния. Термодинамические параметры простой системы: температура, давление, объем. Уравнение состояния идеального газа. Универсальная газовая постоянная. Нормальные физические условия. Смеси идеальных газов. Способы задания состава смеси. Кажущаяся молекулярная масса смеси. Газовая постоянная смеси. Закон Дальтона для смеси. Парциальное давление.
Тема 3	Виды энергии. Внутренняя энергия как функция состояния. Работа, связанная с изменением объема. Внешняя работа. Определение работы и теплоты через термодинамические параметры состояния. PV -диаграмма. Частные случаи. Закон сохранения и превращения энергии. Первое начало термодинамики. Сущность закона. Различные формулировки закона. Аналитическое выражение закона для закрытых систем. Энтальпия.
Тема 4	Сумма внутренней энергии системы и произведения давления на объем. Уравнение Первого закона термодинамики через энтальпию. Теплоемкость системы. Массовая, объемная и молярная теплоемкость. Теплоемкость при постоянном объеме и давлении. Уравнение Майера.
Тема 5	Обратимые и необратимые процессы. Основные причины необратимости процессов. Термодинамические циклы: прямые и обратные, обратимые и необратимые. Термический коэффициент полезного действия цикла теплового двигателя. Термодинамические процессы и циклы в $T-s$ -диаграмме. Циклические процессы преобразование теплоты в работу. Второе начало термодинамики. Основные формулировки закона. Аналитическое выражение закона. Вечный двигатель первого и второго рода. Аналитическое выражение второго закона термодинамики для необратимых процессов. Второе начало термодинамики для неравновесных систем. Философское и статистическое толкования второго закона термодинамики.

Тема 6	Доказательство существования энтропии. Возрастание энтропии при необратимых процессах. Изменение энтропии в неравновесных процессах. Необратимая адиабата. Теплообмен с конечной разностью температур. Возрастание энтропии изолированной системы. Статистический смысл второго закона термодинамики. Энтропия и термодинамическая вероятность состояния. Энтропийный метод расчета потерь энергии необратимых процессов.
Тема 7	Прямой цикл Карно и его КПД. Обратный цикл Карно и его холодильный коэффициент. Теорема Карно. Максимальная работа цикла. Среднеинтегральная температура подвода (отвода) теплоты и эквивалентный цикл Карно.
Тема 8	Понятие эксергии. Уравнение Гюи-Стодолы. Эксергический анализ. Эксергия как мера работоспособности системы. Эксергия массы вещества в объеме, потока тепла и потока вещества. Потеря эксергии при необратимых процессах. Эксергетический КПД.
Тема 9	Термодинамические процессы изменения состояния идеальных газов. Общие вопросы исследования процессов изменения состояния идеального газа: изохорного, изобарного, изотермического, адиабатного. Политропные процессы. Основные термодинамические процессы как частный случай политропного процесса. Определение показателя политропы и теплоемкости политропного процесса. Определение теплоты и работы процесса. Изображение процессов в p - v - и T - s -диаграммах.
Тема 10	Термодинамические потенциалы и их смысл. Внутренняя энергия. Энтальпия. Свободная энергия. Термодинамический потенциал Гиббса. Собственные координаты термодинамических потенциалов. Соотношения Максвелла. Уравнения Гиббса-Гельмгольца
Тема 11	Основные дифференциальные уравнения термодинамики. Связь между термическими и калорическими величинами в переменных v , T и p , T . Энергии Гиббса и Гельмгольца и их свойства. Зависимость теплоемкостей c_p и c_v от объема и давления. Уравнения Максвелла.
Тема 12	Реальные газы. Качественные особенности реальных газов. Фазовые переходы. Теплота фазового перехода. Условие равновесия фаз. Плавление. Парообразование. Сублимация. Тройная точка. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса.
Тема 13	Термодинамические свойства реальных веществ, p - v - и T - s -диаграммы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Критическое состояние. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса. Критические параметры. Изотермы реального газа. Опыт Эндрюса
Тема 14	Пары. Характерные состояния воды и водяного пара. Получение пара. Характерные состояния воды и водяного пара. TS - диаграмма состояний воды и водяного пара. Термодинамические свойства воды и водяного пара. HS - диаграмма состояний воды и водяного пара. Термодинамические свойства жидкостей. Термодинамические свойства паров. Теплота парообразования. Изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный процессы с водяным паром. Определение параметров состояния и процессов с помощью термодинамических таблиц и TS -диаграммы.
Тема 15	Основные определения. Абсолютная и относительная влажность. Температура точки росы. Влажосодержание. Газовая постоянная и плотность влажного воздуха. h - d -диаграмма влажного воздуха.

Тема 16	Термодинамические процессы с влажным воздухом (охлаждение, нагрев, испарение, увлажнение) и др. Определение параметров процессов с помощью $h-d$ -диаграмма. Смещение потоков воздуха. Параметры смеси. Сушка нагретым воздухом. Изменение параметров воздуха при сушке.
Тема 17	Истечение и дросселирование газов и паров. Уравнение первого закона термодинамики для потока и его анализ. Уравнение неразрывности. Уравнение импульсов. Работа проталкивания. Располагаемая работа при истечении газа.
Тема 18	Адиабатное истечение газа. Истечение капельной жидкости. Скорость адиабатного истечения. Максимальная и критическая скорости потока. Условия перехода потока из дозвукового течения в сверхзвуковое. Сопла и диффузоры. Массовый расход газа при истечении.
Тема 19	Параметры полного адиабатного торможения потока. Соотношение между статической температурой и температурой торможения, статическим давлением и давлением торможения. Критическое отношение давлений
Тема 20	Сопло и диффузор. Скорость истечения газа из суживающегося сопла. Максимальный расход и критическая скорость. Критическое отношение давлений и температур. Зависимость скорости и расхода от отношения начального к конечному давлению. Комбинированное сопло Лавалья. Адиабатное течение с трением. Коэффициенты скорости и потери энергии.
Тема 21	Сущность процесса дросселирования. Дросселирование идеального газа. Изображение процесса дросселирования в $h-s$ -диаграмме. Потеря эксергии потока при дросселировании. Дифференциальный и интегральный температурный эффект адиабатного дросселирования реальных газов. Температура инверсии. Кривая инверсии.
Тема 22	Термодинамический анализ процессов в компрессорах. Классификация компрессоров и принцип действия. Полная работа, затраченная на привод компрессора. Изотермическое, адиабатное и политропное сжатие. Определение эффективной мощности, затрачиваемой на привод компрессора и отводимой при охлаждении теплоты.
Тема 23	Многоступенчатый компрессор. Оптимальное распределение давлений по ступеням. Изображение в $p-v$ - и $T-s$ -диаграммах процессов в компрессорах для многоступенчатого сжатия.
Тема 24	Необратимое сжатие. Понятия эксергетического, внутреннего относительного, изотермического КПД компрессора. Расчет потерь энергии и эксергетический КПД компрессора.
Тема 25	Теоретический и действительный циклы двигателей. Параметры характерных точек цикла. Подведенная и отведенная теплота в цикле. Работа цикла. Термический КПД обратимого цикла. Методы анализа циклов. Обратимые и необратимые циклы. Относительный внутренний КПД цикла. Термодинамические и эксергетические КПД циклов двигателей внутреннего сгорания. Сравнительный анализ термодинамических циклов.
Тема 26	Циклы двигателей внутреннего сгорания. Циклы с подводом тепла при постоянном давлении, при постоянном объеме, со смешанным подводом тепла. Сравнение циклов по термическому КПД. Зависимость термического КПД от средних температур подвода и отвода тепла. Изображение циклов в $p-v$ - и $T-s$ - диаграммах.

Тема 27	Циклы газотурбинных двигателей и установок. Схема и цикл газотурбинной установки с подводом тепла при постоянном давлении, при постоянном объеме. Действительный цикл газотурбинной установки и система КПД для оценки потерь в ней. Методы повышения КПД: применение регенерации тепла, многоступенчатого сжатия воздуха в компрессоре и ступенчатого расширения продуктов сгорания в турбине. Замкнутые циклы газотурбинных установок.
Тема 28	Циклы паротурбинных установок. Принципиальная схема и теоретический цикл ПТУ, цикл Карно, цикл Ренкина. Влияние начальных и конечных параметров пара на термический КПД. Система КПД для оценки потерь в паротурбинной установке.
Тема 29	Промежуточный перегрев пара и причины его применения. Принципиальная схема паросиловой установки. Схема ПТУ с промежуточным перегревом. Изображение цикла в $p-v$ - Ts - и $h-s$ - диаграммах. Термический КПД обратимого цикла. Влияние начальных и конечных параметров на термический КПД цикла Ренкина.
Тема 30	Регенеративные циклы. Схема и цикл ПТУ в Ts -диаграмме с регенеративным подогревом питательной воды. Термический КПД регенеративного цикла. Действительный цикл ПТУ. Комбинированные циклы. Преимущества и недостатки водяно-го пара как рабочего тела. Бинарный цикл и его КПД. Парогазовый цикл и его КПД.
Тема 31	Схемы и циклы теплофикационных паротурбинных установок. Использование теплоты отработанного пара в системах отопления. Отбор пара на технологические нужды. Одноконтурные и двухконтурные системы.
Тема 32	Уравнение теплового и эксергетического балансов, основные элементы балансов. Эксергетический анализ циклов паросило-вых установок. Термодинамический анализ циклов. Пути повышения экономичности паросиловых установок.
Тема 33	Обратный цикл Карно. Холодильный коэффициент. Требования, предъявляемые к рабочим телам холодильных установок. Схема и теоретический цикл газовой холодильной установки. Цикл Лоренца. Холодопроизводительность, работа и мощность воздушной холодильной машины. Способы увеличения холодопроизводительности.
Тема 34	Принципиальная схема и цикл парокompрессионной холодильной установки. Рабочие тела. Холодильный коэффициент и холодопроизводительность. Способы увеличения холодопроизводительности. Принципиальные схемы и изображение циклов в $p-v$, и Ts -диаграммах. Работа и мощность парокompрессионной холодильной машины.
Тема 35	Пароэжекторная холодильная установка. Абсорбционная холодильная установка. Принципиальные схемы и изображение циклов в $p-v$ - и Ts -диаграммах.
Тема 36	Принципиальная схема теплового насоса. Понятие о коэффициенте теплоиспользования. Коэффициент использования энергии. Область применения тепловых насосов. Техническая и экономическая эффективность насосов. Использование вторичных энергоресурсов.
Тема 37	Первый закон термодинамики в термохимии. Тепловой эффект реакции. Эндотермические и экзотермические реакции. Закон Гесса и его следствия. Зависимость теплового эффекта реакции от температуры. Закон Кирхгофа. Стандартный тепловой эффект.
Тема 38	Второй закон термодинамики в термохимии. Объединенное уравнение первого и второго законов термодинамики. Изохорно-изотермический потенциал (энергия Гельмгольца), изобарно-изотермический потенциал (энергия Гиббса). Уравнение Гиббса-Гельмгольца.

Тема 39	Закон действующих масс и константы равновесия химических процессов. Степень диссоциации. Термодинамические свойства диссоциирующих газов. Константа равновесия и максимальная работа реакции. Зависимость константы равновесия от давления и температуры. Тепловая теорема Нернста.
---------	---

6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Литература для самостоятельной работы студентов

1. Теплотехника [Электронный ресурс]: методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов, обучающихся по направлению «Агроинженерия», сост. Лекомцев П. Л., Артамонова Л. П., Дресвянникова Е. В. - Ижевск: РИО Ижевская ГСХА, 2016. - 100 с. - Режим доступа: <http://portal.udsau.ru/index.php?q=docs&download=1&id=13913>

2. Техническая термодинамика - методические указания к выполнению расчетно-графической работы для студентов, обучающихся по направлению «Теплоэнергетика и теплотехника», очной и заочной форм обучения : в 2 частях. Ч. 1. Расчет газового цикла [Электронный ресурс]: - Ижевск: РИО Ижевская ГСХА, 2020. - 36 с. - Режим доступа: <http://portal.udsau.ru/index.php?q=docs&download=1&id=42630>; <https://lib.rucont.ru/efd/783543/info>

3. Техническая термодинамика - методические указания к выполнению расчетно-графической работы для студентов, обучающихся по направлению «Теплоэнергетика и теплотехника», очной и заочной форм обучения : в 2 частях. Ч. 2. Анализ эффективности циклов паросиловых установок [Электронный ресурс]: - Ижевск: РИО Ижевская ГСХА, 2020. - 30 с. - Режим доступа: <http://portal.udsau.ru/index.php?q=docs&download=1&id=42629>; <https://lib.rucont.ru/efd/783544/info>

Вопросы и задания для самостоятельной работы (очная форма обучения)

Третий семестр (128 ч.)

Вид СРС: Тест (подготовка) (20 ч.)

Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.

Вид СРС: Лабораторная работа (подготовка) (30 ч.)

Вид учебного занятия, направленный на углубление и закрепление знаний, практических навыков, овладение методикой и техникой эксперимента. При подготовке осуществляется изучение теоретического материала, изучение методики эксперимента, выполнение конспекта к лабораторной работе.

Вид СРС: Работа с рекомендуемой литературы (30 ч.)

Самостоятельное изучение вопроса, согласно рекомендуемой преподавателем основной и дополнительной литературы.

Вид СРС: Творческое задание (выполнение) (15 ч.)

Частично регламентированное задание, имеющее нестандартное решение и позволяющее диагностировать умения, интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения. Может выполняться в индивидуальном порядке или группой обучающихся.

Вид СРС: Расчетно-графические работы (выполнение) (25 ч.)

Средство проверки умений применять полученные знания по заранее определенной методике для решения задач или заданий по модулю или дисциплине в целом.

Вид СРС: Задача (практическое задание) (8 ч.)

Средство оценки умения применять полученные теоретические знания в практической ситуации. Задача (задание) должна быть направлена на оценивание тех компетенций, которые подлежат освоению в данной дисциплине, должна содержать четкую инструкцию по выполнению или алгоритм действий.

Четвертый семестр (81 ч.)

Вид СРС: Работа с рекомендуемой литературы (20 ч.)

Самостоятельное изучение вопроса, согласно рекомендуемой преподавателем основной и дополнительной литературы.

Вид СРС: Доклад, сообщение (подготовка) (16 ч.)

Продукт самостоятельной работы студента, представляющий собой публичное выступление по представлению полученных результатов решения определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной темы.

Вид СРС: Расчетно-графические работы (выполнение) (25 ч.)

Средство проверки умений применять полученные знания по заранее определенной методике для решения задач или заданий по модулю или дисциплине в целом.

Вид СРС: Лабораторная работа (подготовка) (20 ч.)

Вид учебного занятия, направленный на углубление и закрепление знаний, практических навыков, овладение методикой и техникой эксперимента. При подготовке осуществляется изучение теоретического материала, изучение методики эксперимента, выполнение конспекта к лабораторной работе.

Вопросы и задания для самостоятельной работы (заочная форма обучения)

Всего часов самостоятельной работы (311 ч.)

Вид СРС: Лабораторная работа (подготовка) (48 ч.)

Вид учебного занятия, направленный на углубление и закрепление знаний, практических навыков, овладение методикой и техникой эксперимента. При подготовке осуществляется изучение теоретического материала, изучение методики эксперимента, выполнение конспекта к лабораторной работе.

Вид СРС: Работа с рекомендуемой литературы (108 ч.)

Самостоятельное изучение вопроса, согласно рекомендуемой преподавателем основной и дополнительной литературы.

Вид СРС: Тест (подготовка) (65 ч.)

Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.

Вид СРС: Реферат (выполнение) (40 ч.)

Продукт самостоятельной работы студента, представляющий собой краткое изложение в письменном виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной (учебно-исследовательской) темы, где автор раскрывает суть исследуемой проблемы, приводит различные точки зрения, а также собственные взгляды на нее.

Вид СРС: Контрольная работа (выполнение) (50 ч.)

Средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу.

7. Тематика курсовых работ(проектов)

Курсовые работы (проекты) по дисциплине не предусмотрены.

8. Фонд оценочных средств для текущего контроля и промежуточной аттестации

8.1. Компетенции и этапы формирования

Коды компетенций	Этапы формирования		
	Курс, семестр	Форма контроля	Разделы дисциплины

ОПК-2 ОПК-3	2 курс, Третий семестр	Зачет	Раздел 1: Техническая термодинамика и ее законы .
ОПК-2 ОПК-3	2 курс, Третий семестр	Зачет	Раздел 2: Круговые процессы. Второй закон термодинамики..
ОПК-2 ОПК-3	2 курс, Третий семестр	Зачет	Раздел 3: Дифференциальные уравнения термодинамики .
ОПК-2 ОПК-3	2 курс, Третий семестр	Зачет	Раздел 4: Основные термодинамические процессы реальных газов .
ОПК-2 ОПК-3	2 курс, Третий семестр	Зачет	Раздел 5: Влажный воздух.
ОПК-2 ОПК-3	2 курс, Четвертый семестр	Экзамен	Раздел 6: Истечение газов и паров .
ОПК-2 ОПК-3	2 курс, Четвертый семестр	Экзамен	Раздел 7: Циклы компрессоров.
ОПК-2 ОПК-3	2 курс, Четвертый семестр	Экзамен	Раздел 8: Циклы двигателей внутреннего сгорания.
ОПК-2 ОПК-3	2 курс, Четвертый семестр	Экзамен	Раздел 9: Циклы паротурбинных установок..
ОПК-2 ОПК-3	2 курс, Четвертый семестр	Экзамен	Раздел 10: Циклы холодильных машин и тепловых насосов.

ОПК-2 ОПК-3	2 курс, Четвертый семестр	Экзамен	Раздел 11: Основы химической термодинамики.
-------------	------------------------------	---------	--

8.2. Показатели и критерии оценивания компетенций, шкалы оценивания

В рамках изучаемой дисциплины студент демонстрирует уровни овладения компетенциями:

Повышенный уровень:

Достигнутый уровень оценки результатов обучения является основой для формирования компетенций, соответствующих требованиям ФГОС. Обучающиеся способны использовать сведения из различных источников для успешного исследования и поиска решения в нестандартных практико-ориентированных ситуациях.

Базовый уровень:

Обучающиеся продемонстрировали результаты на уровне осознанного владения знаниями, умениями, навыками. Обучающиеся способны анализировать, проводить сравнение и обоснование выбора методов решения заданий в практико-ориентированных ситуациях.

Пороговый уровень:

Достигнутый уровень оценки результатов обучения показывает, что обучающиеся обладают необходимой системой знаний и владеют некоторыми умениями по дисциплине. Обучающиеся способны понимать и интерпретировать освоенную информацию, что является основой успешного формирования умений и навыков для решения практико-ориентированных задач.

Уровень ниже порогового:

Результаты обучения свидетельствуют об усвоении ими некоторых элементарных знаний основных вопросов по дисциплине. Допущенные ошибки и неточности показывают, что студенты не овладели необходимой системой знаний по дисциплине.

Уровень сформированности компетенции	Шкала оценивания для промежуточной аттестации	
	Экзамен (дифференцированный зачет)	Зачет
Повышенный	5 (отлично)	зачтено
Базовый	4 (хорошо)	зачтено
Пороговый	3 (удовлетворительно)	зачтено
Ниже порогового	2 (неудовлетворительно)	не зачтено

Критерии оценки знаний студентов по дисциплине

Оценка Хорошо:

Полнота знаний: уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, допущено несколько негрубых ошибок.

Наличие умений: продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с негрубыми ошибками, выполнены все задания в полном объеме, некоторые с недочетами.

Наличие навыков (владение опытом): продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.

Характеристика сформированности компетенций:

- сформированность компетенции в целом соответствует требованиям;

- имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения стандартных практических (профессиональных) задач.

Уровень сформированности компетенций: средний.

Оценка Удовлетворительно:

Полнота знаний: минимально допустимый уровень знаний, допущено много негрубых ошибок.
Наличие умений: продемонстрированы основные умения, решены типовые задачи с негрубыми ошибками, выполнены все задания, но не в полном объеме.

Наличие навыков (владение опытом): имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.

Характеристика сформированности компетенций:

- сформированность компетенции соответствует минимальным требованиям;
- имеющихся знаний, умений, навыков в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по большинству практических задач.

Уровень сформированности компетенций: ниже среднего.

Оценка Неудовлетворительно:

Полнота знаний: уровень знаний ниже минимальных требований, имели место грубые ошибки.

Наличие умений: при решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения, имели место грубые ошибки.

Наличие навыков (владение опытом): при решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки, имели место грубые ошибки.

Характеристика сформированности компетенций:

- компетенция в полной мере не сформирована;
- имеющихся знаний, умений, навыков недостаточно для решения практических (профессиональных) задач.

Уровень сформированности компетенций: низкий.

Оценка Не зачтено:

Полнота знаний: уровень знаний ниже минимальных требований, имели место грубые ошибки.

Наличие умений: при решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения, имели место грубые ошибки.

Наличие навыков (владение опытом): при решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки, имели место грубые ошибки.

Характеристика сформированности компетенций:

- компетенция в полной мере не сформирована;
- имеющихся знаний, умений, навыков недостаточно для решения практических (профессиональных) задач.

Уровень сформированности компетенций: низкий.

Оценка Зачтено:

Полнота знаний: не ниже минимально допустимого уровня знаний, возможен допуск множества негрубых ошибок.

Наличие умений: умения сформированы не ниже демонстрации основных умений, решения типовых задач с негрубыми ошибками, выполнены все задания, но не в полном объеме.

Наличие навыков (владение опытом): как минимум имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.

Характеристика сформированности компетенций:

- сформированность компетенции не ниже минимальных требований;
- имеющихся знаний, умений, навыков как минимум достаточно для решения практических (профессиональных) задач, возможно требуется дополнительная практика по большинству практических задач.

Уровень сформированности компетенций: минимальный уровень ниже среднего.

Оценка Отлично:

Полнота знаний: уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.

Наличие умений: продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.

Наличие навыков (владение опытом): продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.

Характеристика сформированности компетенций:

- сформированность компетенции полностью соответствует требованиям;

- имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в полной мере достаточно для решения сложных практических (профессиональных) задач.

Уровень сформированности компетенций: высокий.

8.3. Типовые вопросы, задания текущего контроля

Раздел 1: Техническая термодинамика и ее законы

ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

1. Баллон с гелием при давлении $P_1=6,5 \cdot 10^6$ Па и температуре $t_1=-3$ °С имеет массу $m_1=21$ кг, а при давлении $P_2=2 \cdot 10^6$ Па и той же температуре массу $m_2=20$ кг. Какую массу гелия содержит баллон при давлении $P=1,5 \cdot 10^7$ Па и температуре $t=27$ °С?

2. В цилиндре под поршнем площади $S=100$ см² находится $m=28$ г азота при температуре $T_1=273$ К. Цилиндр нагревается до температуры $T_2=373$ К. На какую высоту Δh поднимется поршень массы $M=100$ кг? Атмосферное давление $P_0=105$ Па.

3. Воздух (приблизительно считая, что он является смесью только азота и кислорода) имеет следующий объемный состав: $\gamma_{N_2} = 79,0\%$, $\gamma_{O_2} = 21,0\%$. Определить весовые доли азота и кислорода в воздухе; вычислить газовую постоянную и кажущийся молекулярный вес воздуха.

ОПК-2 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

1. Применение уравнения состояния идеального газа для расчета параметров состояния.

2. Параметры состояния термодинамической системы. Основное уравнение состояния идеального газа.

3. Определение кажущейся молекулярной массы смеси, газовой постоянной смеси.

4. Определение работы и теплоты через термодинамические параметры состояния.

5. Применение уравнения Майера для расчета теплоемкостей в различных процессах.

Анализ термодинамических процессов и циклов в PV - диаграмме.

6. Анализ термодинамических процессов и циклов в PV - диаграмме.

Раздел 2: Круговые процессы. Второй закон термодинамики.

ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

1. Найти приращение энтропии 3 кг воздуха; а) при нагревании его по изобаре от 0 до 4000С; б) при нагревании его изохорой от 0 до 8800С; в) при изотермическом расширении с увеличением объема в 16 раз. Теплоемкость считать постоянной.

2. В процессе политропного расширения воздуха температура его уменьшилась от $t_1=250$ С до $t_2=-370$ С. Начальное давление воздуха $p_1=0,4$ МПа, количество его $M=2$ кг. Определить изменение энтропии в этом процессе, если известно, что количество подведенной теплоты составляет 89,2 кДж.

3. 1 кг воздуха совершает цикл Карно между температурами $t_1=3270$ С и $t_2=270$ С; наивысшее давление при этом составляет 2 МПа, а наинизшее – 0,12 МПа. Определить параметры состояния воздуха в характерных точках, работу, термический КПД цикла и количество подведенной и отведенной теплоты.

ОПК-2 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

1. Анализ термодинамических процессов и циклов в T-s-диаграмме.
2. Расчет термического коэффициента полезного действия.
3. Использование энтропийный метод расчета потерь энергии необратимых процессов.
4. Анализ идеального цикла тепловой установки, расчет максимального КПД.
5. Эксергический анализ тепловых установок.

Раздел 3: Дифференциальные уравнения термодинамики

ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

1. Определить работу, теплоту, изменение энтальпии, изменение внутренней энергии, изменение энтропии, изменение изохорно-изотермического потенциала, изменение изохорного потенциала при изотермическом расширении 1 моля идеального газа от $p_1 = 0,1$ МПа до $p_2 = 0,05$ МПа при температуре 1000 К.

2. Определить максимальную работу 1 м³ воздуха при давлении $p = 10$ МПа и температуре $T_1 = 300$ К, давление внешней среды $p_0 = 0,1$ МПа и температура $T = 300$ К.

3. Доказать, что для идеального газа частная производная энергии Гельмгольца по температуре при постоянном давлении равна сумме энтропии и газовой постоянной с отрицательными знаками, а частная производная энергии Гельмгольца по давлению при постоянной температуре равно объему со знаком минус

ОПК-2 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

1. Использование термодинамических потенциалов для расчета параметров состояния.
2. Расчет теплоемкости с помощью соотношений Максвелла.
3. Связь между термическими и калорическими величинами в переменных v , T и p , T .
4. Решение основных дифференциальных уравнений термодинамики.
5. Применение фазовых pT - и pV - диаграмм.

Раздел 4: Основные термодинамические процессы реальных газов

ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

1. Водяной пар с начальным давлением $p_1 = 5$ МПа и начальной температурой $t_1 = 350$ °C расширяется адиабатно до давления $p_2 = 0,01$ МПа. Определить параметры пара в начальном и конечном состоянии, количество отведенной теплоты от пара, изменение внутренней энергии и работу расширения. Изобразить тепловой процесс в is -диаграмме.

2. Перегретый водяной пар с начальным давлением $P_1 = 0,1$ МПа и начальной температурой $t_1 = 230$ °C сжимается изотермически до степени сухости $x_2 = 0,85$. Определить параметры пара в начальном и конечном состояниях, количество отведенной теплоты от пара, изменение внутренней энергии и работу сжатия. Изобразить процесс в is -диаграмме.

3. Влажный пар с начальным давлением $p_1 = 6$ МПа и степенью сухости $x = 0,9$ расширяется изотермически до давления $p_2 = 0,5$ МПа. Определить параметры пара в начальном и конечном состояниях, изменение внутренней энергии, количество переданной теплоты пару и работу расширения. Изобразить тепловой процесс в is -диаграмме.

ОПК-2 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

1. Применение уравнения Клапейрона – Клаузиуса для расчета процессов фазового перехода.

2. Применение уравнения Ван-дер-Ваальса для расчета параметров состояния реальных газов.
3. Определение параметров состояния и процессов с помощью термодинамических таблиц и HS-диаграммы.
4. Расчет термодинамических свойств паров, определение теплоты парообразования.
5. Анализ термодинамических процессов водяного пара. Изображение ТДП в PV-, TS-, HS- диа-граммах.

Раздел 5: Влажный воздух

ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

1. Воздух, имеющий параметры: $j = 40\%$, $t = 220\text{C}$ и расход 1000 кг/час нагревается в поверхностном теплообменнике до $t = 380\text{C}$. Определить энтальпию и относительную влажность воздуха после нагрева и полный расход теплоты. Изобразить процесс в id – диаграмме влажного воздуха.

2. Воздух с параметрами: $j = 40\%$, $t = 220\text{C}$ охлаждается в поверхностном теплообменнике до $t = 50\text{C}$. Определить количество отведенной теплоты и отведенной влаги, если расход воздуха составляет 1000 кг/час . Изобразить процесс в id – диаграмме влажного воздуха.

3. 1 кг воздуха потока А с параметрами: $j = 50\%$, $d = 5\text{ г/кг}$ смешивается с 4 кг воздуха потока В с параметрами: $i = 48\text{ кДж/кг}$, $t = 200\text{C}$. Определить параметры смешанного воздуха. Изобразить процесс в id - диаграмме

ОПК-2 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

1. Определение параметров процессов с помощью H-d-диаграмма.
2. Расчет статики процесса сушки влажных материалов воздухом.
3. Расчет процессов смешивания потоков воздуха.
4. Анализ термодинамических процессов влажного воздуха. Изображение ТДП в id - диаграмме.

Раздел 6: Истечение газов и паров

ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

1. Воздух из резервуара с постоянным давлением $P_1 = 1\text{ МПа}$ и температурой $t_1 = 150\text{ C}$ вытекает в атмосферу через трубку с внутренним диаметром 10 мм . Найти скорость истечения воздуха и его секундный массовый расход. Атмосферное давление принять равным $0,1\text{ МПа}$. Процесс расширения считать адиабатным.

2. В резервуаре, заполненном кислородом, поддерживается давление $P_1 = 5\text{ МПа}$. Газ вытекает через суживающее сопло в среду с давлением 4 МПа . Начальная температура кислорода 1000C . Определить скорость истечения и расход газа, если площадь выходного сечения $f = 20\text{ мм}^2$. Процесс расширения считать адиабатным.

3. В резервуаре, заполненном азотом, поддерживается давление $P_1 = 2\text{ МПа}$. Газ вытекает через суживающее сопло в атмосферу с давлением $0,1\text{ МПа}$. Начальная температура азота 800C . Определить скорость истечения и расход газа, если площадь выходного сечения $f = 10\text{ мм}^2$. Процесс расширения считать адиабатным.

ОПК-2 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

1. Расчет процессов истечения и дросселирования газов и паров.
2. Расчет максимальной и критической скорости потока, массового расхода газа при истечении.

3. Расчет комбинированного сопла Лавалея.
4. Использование соотношений между статическими параметрами и параметрами торможения для расчета процесса истечения из суживающих сопел.
5. Определение потерь эксергии потока при дросселировании.

Раздел 7: Циклы компрессоров

ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

1. Определить экономию в работе, полученную за счет перехода от одноступенчатого к двухступенчатому адиабатическому сжатию воздуха в поршневом компрессоре без вредного объема. Начальное давление $p_1 = 0,98 \cdot 10^5$ н/м², температура $t_1 = 17^\circ$ С. Конечное давление $p_2 = 9,8 \cdot 10^5$ н/м².

2. В результате уменьшения расхода воды, охлаждающей цилиндр компрессора, температура сжатого воздуха на выходе из компрессора возрастает от 100 до 150° С. Начальная температура воздуха остается постоянной и равной 17° С. Давление сжатого воздуха $p_2 = 4,5$ кг/см², начальное давление $p_1 = 1$ кг/см². Как изменится затрачиваемая мощность?

3. Поршневой компрессор должен подавать в течение часа 100 м³ воздуха при давлении 5 бар и температуре 20°С и 20 м³ при давлении 75 бар и той же температуре. Определить число ступеней компрессора, его мощность, расход воды в холодильниках при ее нагреве на 13°; показатель политропы принять $n = 1,28$; начальное состояние воздуха: давление 1 бар, температура $t = 15^\circ$ С.

ОПК-2 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

1. Термодинамический анализ процессов в компрессорах
2. Определение эффективной мощности, затрачиваемой на привод компрессора и отводимой при охлаждении теплоты.
3. Определение оптимального распределения давлений по ступеням.
4. Изображение в p - v - и T - s -диаграммах процессов в компрессорах для многоступенчатого сжатия.
5. Расчет потерь энергии и эксергетический КПД компрессора.

Раздел 8: Циклы двигателей внутреннего сгорания

ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

1. Для цикла с подводом тепла в процессе $p = \text{const}$ определить полезную работу и термический к. п. д., если $p_1 = 1$ кг/см²; $t_1 = 60^\circ$ С; $\epsilon = 14$; $k = 1,4$; $\rho = 1,67$. Рабочее тело обладает свойствами воздуха.

2. Рассчитать полезную работу, совершенную за цикл с подводом тепла в процессе $v = \text{const}$, если известно, что расход топлива составляет 44 г на 1 кг воздуха, $\epsilon = 6$, теплота сгорания топлива $Q_{PH} = 29\,260 \cdot 10^3$ дж/кг, $k = 1,37$.

3. Цикл ГТУ с подводом теплоты при $p = \text{const}$ характеризуется температурами $t_a = 37^\circ$ С и $t_z = 950^\circ$ С; степень сжатия $\pi = 5$, а начальное давление равно 1 ат. Сжатие воздуха производится осевым компрессором по адиабате. Определить работу компрессора, полную и полезную работу (работу цикла) турбины и термический к. п. д.

ОПК-2 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

1. Расчет термодинамических эксергетических КПД циклов двигателей внутреннего сгорания.
2. Сравнительный анализ термодинамических циклов.
3. Изображение циклов в PV и TS диаграммах.

4. Методы повышения КПД циклов газотурбинных установок.

5. Определение параметров в характерных точках циклов, теплоты, работы цикла.

Раздел 9: Циклы паротурбинных установок.

ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

1. Паротурбинная установка работает по циклу Ренкина при следующих параметрах пара: перед турбиной $p_1 = 90 \text{ кг/см}^2$ и $t_1 = 535^\circ \text{C}$; давление в конденсаторе $p_2 = 0,04 \text{ кг/см}^2$. Определить внешнюю работу турбины и питательного насоса, а также термический к. п. д. цикла с учетом и без учета работы насоса и относительную разность этих к. п. д.

2. Паротурбинная установка работает по циклу Ренкина с начальными параметрами $p_1 = 100 \text{ кг/см}^2$ и $t_1 = 530^\circ \text{C}$. Давление в конденсаторе $p_2 = 0,04 \text{ кг/см}^2$. Определить термический к. п. д. установки и сравнить его с термическим к. п. д. цикла Карно в том же интервале температур.

3. При одинаковой начальной температуре $t_1 = 500^\circ \text{C}$ построить кривую зависимости η_t цикла паротурбинной установки от величины начального давления p_1 приняв его равным 50, 100, 150 и 200 кг/см^2 . Давление в конденсаторе одинаково и равно $p_2 = 0,04 \text{ кг/см}^2$. Учесть работу питательного насоса. Представить циклы в T_s -диаграмме.

ОПК-2 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

1. Изображение циклов в PV , TS и HS диаграммах.

2. Эксергетический анализ циклов паросиловых установок. Термодинамический анализ циклов.

3. Определение параметров в характерных точках цикла с помощью термодинамических таблиц и HS - диаграммы.

4. Расчет бинарных циклов.

5. Определение влияния начальных и конечных параметров на термический КПД цикла Ренкина.

Раздел 10: Циклы холодильных машин и тепловых насосов

ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

1. Воздушная холодильная машина должна обеспечить температуру в охлаждаемом помещении $t_{охл} = -5^\circ \text{C}$ при температуре окружающей среды $t_0 = 20^\circ \text{C}$. Холодопроизводительность машины 200 000 ккал/ч. Давление воздуха на выходе из компрессора $p_2 = 5 \text{ кг/см}^2$; в холодильной камере $p_1 = 1 \text{ кг/см}^2$. Определить мощность двигателя для привода машины, расход воздуха, холодильный коэффициент и количество тепла, передаваемое окружающей среде. Подсчитать холодильный коэффициент машины, работающей по циклу Карно в том же интервале температур. Представить цикл в T_s -диаграмме.

2. Компрессор аммиачной холодильной установки имеет теоретическую мощность 40 кет. Из компрессора сухой насыщенный пар аммиака при температуре $t_2 = 25^\circ \text{C}$ направляется в конденсатор, после которого жидкость в дроссельном вентиле расширяется. Температура испарения аммиака в охлаждаемой среде $t_1 = -10^\circ \text{C}$. Определить холодопроизводительность установки.

3. Для отопления зданий может быть использована холодильная установка, в которой нижним источником тепла служит окружающая среда. Этот принцип положен в основу работы теплового насоса. В результате его работы тепло передается источнику тепла с более высокой температурой, чем окружающая среда. Сколько можно получить тепла в час для отопления здания при помощи теплового насоса, если температура окружающей среды $t_0 = -5^\circ \text{C}$, температура нагревательных устройств $t_H = 25^\circ \text{C}$? Мощность двигателя компрессора $N = 1 \text{ кВт}$. Принять, что установка работает по циклу, изображенному на рис. 15-1. Холодильный агент — аммиак.

ОПК-2 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

1. Расчет циклов воздушных холодильных машин.
2. Расчет циклов пароконденсационных холодильных машин.
3. Изображение циклов в p-v, и T-s-диаграммах.
4. Использование термодинамических таблиц для расчета холодильных машин.

Раздел 11: Основы химической термодинамики

ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

1. С помощью термохимического уравнения $\text{H}_2\text{S}(\text{г}) + 3/2 \text{O}_2 = \text{SO}_2(\text{г}) + \text{H}_2\text{O}(\text{ж}) + 562,8 \text{ кДж}$ определите объем сгоревшего сероводорода, если известно, что в результате реакции выделилось 281,4 кДж теплоты.

2. Рассчитайте тепловой эффект реакции горения сероводорода
3. Рассчитайте ΔH_{298} химической реакции $\text{Na}_2\text{O}(\text{т}) + \text{H}_2\text{O}(\text{ж}) \rightarrow 2\text{NaOH}(\text{т})$

ОПК-2 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

1. Расчет тепловых эффектов химических реакций.
2. Определение высшей и низшей теплоты сгорания топлива.
3. Применение закона Гесса для расчета реакций образования продуктов реакции и реакций распада

8.4. Вопросы промежуточной аттестации

Третий семестр (Зачет, ОПК-2, ОПК-3)

1. Основные понятия технической термодинамики. Термодинамическая система. Термодинамическое состояние. Термодинамический процесс.
2. Параметры состояния. Уравнение состояния.
3. Работа расширения, техническая работа, внутренняя энергия и теплота термодинамического процесса.
4. Теплоемкость. Виды теплоемкости. Связь между массовой, мольной и объемной; изобарной и изохорной, истинной и средней теплоемкостями.
5. Смеси идеальных газов. Закон Дальтона. Кажущаяся молярная масса. Газовая постоянная смеси.
6. Первый закон термодинамики. Формулировка и математическое выражение. Физическая сущность величин, входящих в уравнение 1-го начала термодинамики.
7. Уравнение Майера. Физический смысл газовой постоянной.
8. Энтропия. Физический смысл. Принцип возрастания энтропии. Формулы для вычислений.
9. Второй закон термодинамики. Основные формулировки. Математическое выражение.
10. Прямой цикл Карно. КПД цикла. Его изображение в pV и TS- координатах.
11. Обратный цикл Карно. Его изображение в pV и TS - координатах. Коэффициент преобразования энергии и холодильный коэффициент.
12. Энтальпия. Физический смысл и математическое выражение для вычисления энтальпии. Формулировка 1-го закона термодинамики через энтальпию.
13. Эксергетический метод термодинамического анализа. Эксергия рабочего тела. Эксергия теплоты.
14. Характеристические функции и их свойства. Определение параметров состояния.
15. Термодинамические потенциалы. Энергия Гельмгольца. Энергия Гиббса. Уравнение Гиббса-Геймгольца.

16. Дифференциальные уравнения состояния термодинамических систем. Уравнения Максвелла.
17. Задачи и методика исследования термодинамических процессов идеального газа.
18. Частные случаи политропных процессов ($p=\text{const}$, $v=\text{const}$, $T=\text{const}$, $s=\text{const}$).
19. Анализ политропного процесса: уравнение процесса, соотношение параметров, определение теплоты, работы процесса, графики в pV и TS - координатах.
20. Политропная теплоемкость, показатель политропы связь между ними. Определение показателя политропы по параметрам в двух точках ТДП.
21. Анализ изотермического процесса: уравнение процесса, соотношение параметров, определение теплоты, работы процесса, графики в pV и TS - координатах.
22. Анализ изобарного процесса: уравнение процесса, соотношение параметров, определение теплоты, работы процесса, графики в pV и TS - координатах.
23. Анализ изохорного процесса: уравнение процесса, соотношение параметров, определение теплоты, работы процесса, графики в pV и TS - координатах.
24. Анализ адиабатного процесса: уравнение процесса, соотношение параметров, определение теплоты, работы процесса, графики в pV и TS - координатах.
25. Реальные газы. Условия фазового равновесия. Теплота фазовых переходов.
26. Термодинамические диаграммы реальных газов. Уравнение Клапейрона_Клаузиуса.
27. Особенности поведения реальных газов. Уравнения состояния реальных газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
28. Процесс парообразования. Степень сухости пара. Параметры кипящей воды, влажного насыщенного, сухого насыщенного и перегретого пара.
29. Процесс парообразования в диаграммах p - V , T - S , I - S для воды и водяного пара.
30. Теплота парообразования. Первый закон термодинамики для парообразования. Расчет термодинамических процессов для водяного пара.
31. Влажный воздух. Термодинамические характеристики. Диаграмма состояния влажного воздуха. Определение параметров влажного воздуха с помощью диаграммы.
32. Процессы изменения состояния влажного воздуха в i - d диаграмме
33. Процессы изменения состояния влажного воздуха в i - d диаграмме. Процесс смешения. Процессы кондиционирования.

Четвертый семестр (Экзамен, ОПК-2, ОПК-3)

1. Термодинамика потока. Основные определения. Уравнения неразрывности.
2. Термодинамика потока. Основные определения. Уравнение импульсов.
3. Уравнение первого закона термодинамики для потока.
4. Уравнение энергии потока. Работа проталкивания и располагаемая работа.
5. Скорость звука, максимальная и критическая скорости потока.
6. Условия перехода потока из дозвукового течения в сверхзвуковое. Сопло и диффузор.
7. Статические параметры и параметры торможения. Соотношение между статическими параметрами и параметрами торможения
8. Соотношение между статическими параметрами и параметрами торможения. Критическое отношение давлений.
9. Истечение из сопел. Истечение из суживающихся сопел.
10. Истечение из сопел. Истечение из сопла Лавалея.
11. Дросселирование газов и паров. Эффект Джоуля- Томпсона. Температура инверсии. Кривая инверсии.
12. Циклы компрессоров. Цикл одноступенчатого компрессора.
13. Циклы компрессоров. Цикл многоступенчатого компрессора.
14. Цикл Д.В.С. с подводом теплоты при $V=\text{const}$.
15. Цикл Д.В.С. с подводом теплоты при $P=\text{const}$.
16. Цикл Д.В.С. с комбинированным подводом теплоты.
17. Циклы газотурбинных установок. Цикл ГТУ с изобарным подводом теплоты

18. Циклы газотурбинных установок. Цикл ГТУ с изохорным подводом теплоты.
19. Регенеративные циклы ГТУ.
20. Циклы паросиловых установок. Цикл Карно.
21. Цикл Ренкина. КПД цикла. Схема паросиловой установки.
22. Цикл паросиловой установки со вторичным перегревом пара.
23. Циклы паротурбинных установок. Регенеративный цикл.
24. Эксергетический анализ цикла ПТУ.
25. Циклы холодильных установок. Холодильный коэффициент и холодопроизводительность. Цикл воздушной холодильной установки.
26. Схема и цикл парокомпрессионной холодильной установки.
27. Пароэжекторные и абсорбционные холодильные машины.
28. Основы химической термодинамики. Тепловой эффект химической реакции. Закон Гесса.
29. Тепловой эффект химической реакции при $p = \text{const}$ и $V = \text{const}$. Закон Кирхгофа.
30. Химический потенциал. Физический смысл химического потенциала.

8.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Контроль знаний студентов по дисциплине проводится в устной и письменной форме, предусматривает текущий и промежуточный контроль. Методы контроля: - тестовая форма контроля; - устная форма контроля – опрос и общение с аудиторией по поставленной задаче в устной форме; - решение определенных заданий (задач) по теме практического материала в конце практического занятия, в целях эффективности усвояемости материала на практике. -

поощрение индивидуальных заданий, в которых студент проработал самостоятельно большое количество дополнительных источников литературы. Текущий контроль предусматривает устную форму опроса студентов и письменный экспресс-опрос по окончанию изучения каждой темы.

9. Перечень учебной литературы

1. Скаков С. В. Техническая термодинамика [Электронный ресурс]: курс лекций для студентов-бакалавров по направлению "Металлургия" профиль "Теплофизика, автоматизация и экология промышленных печей", - Липецк: ЛГТУ, 2014. - 113 с. - Режим доступа: <https://lib.rucont.ru/efd/336123/info>
2. Стоянов Н. И., Смирнов С. С., Смирнова А. В. Теоретические основы теплотехники (техническая термодинамика и тепломассообмен) [Электронный ресурс]: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 270800.62 - Строительство, - Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2014. - 226 с. - Режим доступа: <https://lib.rucont.ru/efd/304188/info>
3. Амирханов Д. Г. Основы технической термодинамики [Электронный ресурс]: учебное пособие для студентов всех форм обучения механических специальностей, изучающих дисциплину «Техническая термодинамика», - Казань: КГТУ, 2006. - 192 с. - Режим доступа: <https://lib.rucont.ru/efd/229710/info>

10. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет

1. <http://elib.udsau.ru/> - библиотека электронных учебных пособий Удмуртского ГАУ
2. <http://portal.udsau.ru> - Интернет-портал Удмуртского ГАУ
3. <http://ebs.rgazu.ru> - ЭБС AgriLib
4. <http://portal-energo.ru/> - Портал "Энергоэффективность и энергосбережение"
5. <http://lib.rucont.ru> - ЭБС «Руконт»
6. <http://elibrary.ru/> - Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU
7. <https://e.lanbook.com> - ЭБС «Лань»

11. Методические указания обучающимся по освоению дисциплины (модуля)

Перед изучением дисциплины студенту необходимо ознакомиться с рабочей программой дисциплины, изучить перечень рекомендуемой литературы, приведенной в рабочей программе дисциплины. Для эффективного освоения дисциплины рекомендуется посещать все виды занятий в соответствии с расписанием и выполнять все домашние задания в установленные преподавателем сроки. В случае пропуска занятий по уважительным причинам, необходимо получить у преподавателя индивидуальное задание по пропущенной теме. Полученные знания и умения в процессе освоения дисциплины студенту рекомендуется применять для решения задач, не обязательно связанных с программой дисциплины. Владение компетенциями дисциплины в полной мере будет подтверждаться Вашим умением ставить конкретные задачи, выявлять существующие проблемы, решать их и принимать на основе полученных результатов оптимальные решения. Основными видами учебных занятий для студентов по учебной дисциплине являются: занятия лекционного типа, занятия семинарского типа и самостоятельная работа студентов.

Формы работы	Методические указания для обучающихся
Лекционные занятия	<p>Работа на лекции является очень важным видом деятельности для изучения дисциплины, т.к. на лекции происходит не только сообщение новых знаний, но и систематизация и обобщение накопленных знаний, формирование на их основе идейных взглядов, убеждений, мировоззрения, развитие познавательных и профессиональных интересов.</p> <p>Краткие записи лекций (конспектирование) помогает усвоить материал. Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Конспект лучше подразделять на пункты, параграфы, соблюдая красную строку. Принципиальные места, определения, формулы следует сопровождать замечаниями: «важно», «особо важно», «хорошо запомнить» и т.п. Прослушивание и запись лекции можно производить при помощи современных устройств (диктофон, ноутбук, нетбук и т.п.).</p> <p>Работая над конспектом лекций, всегда следует использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор, в том числе нормативно-правовые акты соответствующей направленности. По результатам работы с конспектом лекции следует обозначить вопросы, термины, материал, который вызывают трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на занятии семинарского типа.</p> <p>Лекционный материал является базовым, с которого необходимо начать освоение соответствующего раздела или темы.</p>
Лабораторные занятия	<p>При подготовке к занятиям и выполнении заданий студентам следует использовать литературу из рекомендованного списка, а также руководствоваться указаниями и рекомендациями преподавателя.</p> <p>Перед каждым занятием студент изучает план занятия с перечнем тем и вопросов, списком литературы и домашним заданием по вынесенному на занятие материалу.</p> <p>Студенту рекомендуется следующая схема подготовки к занятию и выполнению домашних заданий:</p> <ul style="list-style-type: none">- проработать конспект лекций;

	<ul style="list-style-type: none"> - проанализировать литературу, рекомендованную по изучаемому разделу (модулю); - изучить решения типовых задач (при наличии); - решить заданные домашние задания; - при затруднениях сформулировать вопросы к преподавателю. <p>В конце каждого занятия типа студенты получают «домашнее задание» для закрепления пройденного материала. Домашние задания необходимо выполнять к каждому занятию. Сложные вопросы можно вынести на обсуждение на занятии семинарского типа или на индивидуальные консультации.</p>
<p>Самостоятельная работа</p>	<p>Самостоятельная работа студентов является составной частью их учебной работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний, умений и навыков, поиск и приобретение новых знаний.</p> <p>Самостоятельная работа студентов включает в себя освоение теоретического материала на основе лекций, рекомендуемой литературы; подготовку к занятиям семинарского типа в индивидуальном и групповом режиме. Советы по самостоятельной работе с точки зрения использования литературы, времени, глубины проработки темы и др., а также контроль за деятельностью студента осуществляется во время занятий.</p> <p>Целью преподавателя является стимулирование самостоятельного, углублённого изучения материала курса, хорошо структурированное, последовательное изложение теории на занятиях лекционного типа, отработка навыков решения задач и системного анализа ситуаций на занятиях семинарского типа, контроль знаний студентов.</p> <p>Если самостоятельно не удалось разобраться в материале, сформулируйте вопросы и обратитесь на текущей консультации или на ближайшей лекции за помощью к преподавателю.</p> <p>Помимо самостоятельного изучения материалов по темам к самостоятельной работе обучающихся относится подготовка к практическим занятиям, по результатам которой представляется отчет преподавателю и проходит собеседование.</p> <p>При самостоятельной подготовке к практическому занятию обучающийся:</p> <ul style="list-style-type: none"> - организует свою деятельность в соответствии с методическим руководством по выполнению практических работ; - изучает информационные материалы; - подготавливает и оформляет материалы практических работ в соответствии с требованиями. <p>В результате выполнения видов самостоятельной работы происходит формирование компетенций, указанных в рабочей программы дисциплины (модуля).</p>

<p>Практические занятия</p>	<p>Формы организации практических занятий определяются в соответствии со специфическими особенностями учебной дисциплины и целями обучения. Ими могут быть: выполнение упражнений, решение типовых задач, решение ситуационных задач, занятия по моделированию реальных условий, деловые игры, игровое проектирование, имитационные занятия, выездные занятия в организации (предприятия), занятия-конкурсы и т.д. При устном выступлении по контрольным вопросам семинарского занятия студент должен излагать (не читать) материал выступления свободно. Необходимо концентрировать свое внимание на том, что выступление должно быть обращено к аудитории, а не к преподавателю, т.к. это значимый аспект формируемых компетенций.</p> <p>По окончании семинарского занятия обучающемуся следует повторить выводы, полученные на семинаре, проследив логику их построения, отметив положения, лежащие в их основе. Для этого обучающемуся в течение семинара следует делать пометки. Более того, в случае неточностей и (или) непонимания какого-либо вопроса пройденного материала обучающемуся следует обратиться к преподавателю для получения необходимой консультации и разъяснения возникшей ситуации.</p> <p>При подготовке к занятиям студентам следует использовать литературу из рекомендованного списка, а также руководствоваться указаниями и рекомендациями преподавателя.</p> <p>Перед каждым занятием студент изучает план занятия с перечнем тем и вопросов, списком литературы и домашним заданием по вынесенному на занятие материалу.</p> <p>Студенту рекомендуется следующая схема подготовки к занятию и выполнению домашних заданий:</p> <ul style="list-style-type: none"> - проработать конспект лекций; - проанализировать литературу, рекомендованную по изучаемому разделу (модулю); - изучить решения типовых задач (при наличии); - решить заданные домашние задания; - при затруднениях сформулировать вопросы к преподавателю. <p>В конце каждого занятия студенты получают «домашнее задание» для закрепления пройденного материала. Домашние задания необходимо выполнять к каждому занятию. Сложные вопросы можно вынести на обсуждение на занятии или на индивидуальные консультации.</p>
-----------------------------	--

Описание возможностей изучения дисциплины лицами с ОВЗ и инвалидами

Обучающимся с ограниченными возможностями здоровья предоставляются специальные учебники, учебные пособия и дидактические материалы, специальные технические средства обучения коллективного и индивидуального пользования, услуги ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь, а также услуги сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Освоение дисциплины (модуля) обучающимися с ограниченными возможностями здоровья может быть организовано совместно с другими обучающимися, а так же в отдельных группах.

Освоение дисциплины (модуля) обучающимися с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья.

В целях доступности получения высшего образования по образовательной программе лицами с ограниченными возможностями здоровья при освоении дисциплины (модуля) обеспечивается:

1) для лиц с ограниченными возможностями здоровья по зрению:

- присутствие ассистента, оказывающий студенту необходимую техническую помощь с учетом индивидуальных особенностей (помогает занять рабочее место, передвигаться, прочитать и оформить задание, в том числе, записывая под диктовку),
 - письменные задания, а также инструкции о порядке их выполнения оформляются увеличенным шрифтом,
 - специальные учебники, учебные пособия и дидактические материалы (имеющие крупный шрифт или аудиофайлы),
 - индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс,
 - при необходимости студенту для выполнения задания предоставляется увеличивающее устройство;
- 2) для лиц с ограниченными возможностями здоровья по слуху:
- присутствие ассистента, оказывающий студенту необходимую техническую помощь с учетом индивидуальных особенностей (помогает занять рабочее место, передвигаться, прочитать и оформить задание, в том числе, записывая под диктовку),
 - обеспечивается наличие звукоусиливающей аппаратуры коллективного пользования, при необходимости обучающемуся предоставляется звукоусиливающая аппаратура индивидуального пользования;
 - обеспечивается надлежащими звуковыми средствами воспроизведения информации;
- 3) для лиц с ограниченными возможностями здоровья, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата (в том числе с тяжелыми нарушениями двигательных функций верхних конечностей или отсутствием верхних конечностей):
- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением или надиктовываются ассистенту;
 - по желанию обучающегося задания могут выполняться в устной форме.

12. Перечень информационных технологий

Информационные технологии реализации дисциплины включают

12.1 Программное обеспечение

1. Операционная система: Microsoft Windows 10 Professional. По подписке для учебного процесса. Последняя доступная версия программы. Astra Linux Common Edition. Договор №173-ГК/19 от 12.11.2019 г.
2. Базовый пакет программ Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint). Microsoft Office Standard 2016. Бессрочная лицензия. Договор №79-ГК/16 от 11.05.2016. Microsoft Office Standard 2013. Бессрочная лицензия. Договор №0313100010014000038-0010456-01 от 11.08.2014. Microsoft Office Standard 2013. Бессрочная лицензия. Договор №26 от 19.12.2013. Microsoft Office Professional Plus 2010. Бессрочная лицензия. Договор №106-ГК от 21.11.2011. Р7-Офис. Договор №173-ГК/19 от 12.11.2019 г.

12.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Информационно-справочная система (справочно-правовая система) «Консультант плюс». Соглашение № ИКП2016/ЛСВ 003 от 11.01.2016 для использования в учебных целях бессрочное. Обновляется регулярно. Лицензия на все компьютеры, используемые в учебном процессе.
2. Профессиональные базы данных на платформе 1С: Предприятие с доступными конфигурациями (1С: ERP Агропромышленный комплекс 2, 1С: ERP Энергетика, 1С: Бухгалтерия молокозавода, 1С: Бухгалтерия птицефабрики, 1С: Бухгалтерия элеватора и комбикормового завода, 1С: Общепит, 1С: Ресторан. Фронт-офис). Лицензионный договор № Н8775 от 17.11.2020 г.

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Оснащение аудиторий

1. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Аудитория, укомплектованная специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории
2. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (практических занятий). Аудитория, укомплектованная специализированной мебелью
3. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (лабораторных занятий). Аудитория, укомплектованная специализированной мебелью, компьютерами с необходимым программным обеспечением, выходом в «Интернет» и корпоративную сеть университета, Лабораторные стенды
4. Помещение для самостоятельной работы. Помещение оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.
5. Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования.