

УТВЕРЖДАЮ
Директор ВШТЭ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.Б.14

(индекс дисциплины)

Техническая термодинамика

(Наименование дисциплины)

Кафедра: **21** Теплосиловых установок и тепловых двигателей

Код

(Наименование кафедры)

Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки: Промышленная теплоэнергетика

Уровень образования: Бакалавриат

План учебного процесса

Составляющие учебного процесса		Очное обучение	Очно-заочное* обучение	Заочное* обучение
Контактная работа обучающихся с преподавателем по видам учебных занятий и самостоятельная работа обучающихся (часы)	Всего	360		360
	Аудиторные занятия	140		40
	Лекции	53		20
	Лабораторные занятия	18		20
	Практические занятия	69		
	Самостоятельная работа	184		307
	Промежуточная аттестация	36		13
Формы контроля по семестрам (номер семестра)	Экзамен	4		5
	Зачет	3		4
	Контрольная работа			45
Общая трудоемкость дисциплины (зачетные единицы)		10		10

Форма обучения:	Распределение зачетных единиц трудоемкости по семестрам									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Очная			5	5						
Очно-заочная										
Заочная				4	6					

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

На основании учебных планов № b130301-3_20
z130301-3_20

Кафедра-разработчик: Теплосиловых установок и тепловых двигателей

Заведующий кафедрой: Злобин В.Г.

СОГЛАСОВАНИЕ:

Выпускающая кафедра: Теплосиловых установок и тепловых двигателей (ТСУ и ТД)
Промышленной теплоэнергетики (ПТЭ)

Заведующий кафедрой: ТСУ и ТД Злобин В.Г.
ПТЭ Смородин С.Н.

Методический отдел: Смирнова В.Г.

1. ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Место преподаваемой дисциплины в структуре образовательной программы

Блок 1: Базовая Обязательная Дополнительно является факультативом
Вариативная По выбору

1.2. Цель дисциплины

Сформировать компетенции обучающегося в области теплоэнергетики и теплотехники, связанной со 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.

1.3. Задачи дисциплины

- Овладеть основными понятиями технической термодинамики, терминологией, законами, основными термодинамическими процессами, протекающими в тепловых машинах.
- Уметь пользоваться методами расчета термодинамических процессов и экспериментального определения свойств рабочих тел и теплоносителей.
- Усвоить основные направления повышения эффективности тепловых машин и аппаратов.
- Продемонстрировать алгоритм расчета основных термодинамических параметров, с использованием прикладного программного обеспечения, для определения показателей эффективности.
- Привить способности к самостоятельному приобретению и использованию в практической деятельности новых знаний и умений.

1.4. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код компетенции	Формулировка компетенции	Этап формирования
ОПК-1	Способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий.	2
Планируемые результаты обучения Знать: 1) Схемы, конструкции, характеристики, технико-экономические показатели и особенности эксплуатации при нормальных, аварийных, послеаварийных и ремонтных режимах работы теплоэнергетического оборудования и устройств; 2) Тепловые, электрические и другие технологические схемы обслуживаемых объектов. Уметь: 1) Читать и разрабатывать технологические схемы; 2) Оценивать техническое состояние, распознавать причины нарушений в работе теплоэнергетического оборудования; 3) Разрабатывать регламентирующие документы; 4) Работать с персональным компьютером и используемым на ТЭС программным обеспечением. Владеть: 1) Контролем режимов работы и технического состояния тепломеханического оборудования, выявлением и учетом неисправностей и дефектов узлов, деталей, конструкций оборудования при обходе, по показаниям приборов на щите дистанционного управления, по записям о выявленных нарушениях в работе оборудования в оперативной документации; 2) Учетом и анализом технико-экономических показателей работы тепломеханического оборудования.		
ОПК-2	Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и	2

Код компетенции	Формулировка компетенции	Этап формирования
	моделирования, теоретического и экспериментального исследования	
Планируемые результаты обучения		
Знать:		
1) Тенденции развития теплоэнергетики, новые виды оборудования, передовой производственный опыт по вопросам повышения эффективности и надежности тепломеханического оборудования, реконструкции и модернизации объектов теплоэнергетики;		
2) Назначение и принцип работы тепломеханического оборудования;		
3) Правила технической эксплуатации, действующие организационно-распорядительные, нормативные, методические документы по вопросам эксплуатации тепломеханического оборудования.		
Уметь:		
1) Определять последовательность необходимых действий при выполнении работ по эксплуатации теплоэнергетического оборудования;		
2) Излагать техническую информацию, нормы и правила в письменной форме		
Владеть:		
1) Подготовкой предложений по оптимизации режимов работы, повышению уровня технической эксплуатации, экономичности работы и безопасности обслуживания оборудования;		
2) Разработкой технических условий и технических решений на технологические изменения, реконструкцию, техническое перевооружение и модернизацию тепломеханического оборудования;		
3) Подготовкой и внесением изменений в тепловые, электрические и другие технологические схемы обслуживаемых объектов;		
4) Разработкой указаний и рекомендаций по режимам эксплуатации тепломеханического оборудования.		

1.5. Дисциплины (практики) образовательной программы, в которых было начато формирование компетенций, указанных в п.1.4:

- Информатика (ОПК-1)
- Математика (ОПК-2)
- Физика (ОПК-2)
- Химия (ОПК-2)
- Инженерная графика (ОПК-2)
- Механика (ОПК-2)
- Электротехника и электроника (ОПК-2)
- Экология (ОПК-2)
- Информатика в задачах теплоэнергетики и теплотехнологии (ОПК-1)

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование и содержание учебных модулей, тем и форм контроля	Объем (часы)		
	очное обучение	очно-заочное обучение	заочное обучение
Учебный модуль 1. Основные законы термодинамики.			
Тема 1. Предмет технической термодинамики и ее задачи. Введение; основные понятия и определения; предмет и метод технической термодинамики; международная система единиц (СИ); основные термодинамические параметры состояния; термодинамическая система; термодинамический процесс; теплота и работа; термодинамическое равновесие.	8		8
Тема 2. Уравнения состояния идеальных газов. Основные законы идеального газа; уравнение состояния идеальных газов; универсальное уравнение состояния идеального газа.	15		10
Тема 3. Смесь идеальных газов. Основные свойства газовых смесей; способы задания смеси газов; газовая постоянная смеси газов; средняя молярная масса смеси газов; парциальные давления.	12		8
Текущий контроль 1. (опрос)	2		-
Учебный модуль 2. Реальные газы. Первый закон термодинамики.			

Наименование и содержание учебных модулей, тем и форм контроля	Объем (часы)		
	очное обучение	очно-заочное обучение	заочное обучение
Тема 4. Реальные газы. Свойства реальных газов; уравнение состояния Ван-дер-Ваальса; анализ уравнения Ван-дер-Ваальса; уравнение состояния для реальных газов М. П. Вукаловича и И. И. Новикова; температурные коэффициенты.	16		10
Тема 5. Первый закон термодинамики. Закон сохранения и превращения энергии; внутренняя энергия; аналитическое выражение работы процесса; обратимые и необратимые процессы; аналитическое выражение первого закона термодинамики; энтальпия.	17		15
Текущий контроль 2. (опрос)	2		-
Учебный модуль 3. Теплоемкость газов. Термодинамические процессы.			
Тема 6. Теплоемкость газов. Энтропия. Основные определения; удельная (массовая), объемная и молярная теплоемкости газов; аналитические выражения для теплоемкостей c_v и c_p ; элементы молекулярно-кинетической и квантовой теорий теплоемкости; истинная и средняя теплоемкости; отношение теплоемкостей c_p и c_v ; определение q_v и q_p для идеальных газов по таблицам теплоемкостей; теплоемкость смесей идеальных газов; приближенные значения теплоемкостей; энтропия. вычисление энтропии идеального газа для обратимых и необратимых процессов; тепловая $T-s$ диаграмма.	18		14
Тема 7. Термодинамические процессы идеальных газов. Общие вопросы исследования процессов; изохорный процесс; изобарный процесс; изотермический процесс; адиабатный процесс; политропные процессы.	16		14
Текущий контроль 3. (опрос)	2		-
Учебный модуль 4. Второй закон термодинамики.			
Тема 8. Второй закон термодинамики. Основные положения второго закона термодинамики; круговые термодинамические процессы, или циклы; термический КПД и холодильный коэффициент циклов; прямой и обратный обратимый цикл Карно; теорема Карно; свойства обратимых и необратимых циклов и математическое выражение второго закона термодинамики.	18		15
Тема 9. Энтропия термодинамических процессов. Изменения энтропии в обратимых и необратимых процессах; обобщенный (регенеративный) цикл Карно; принцип возрастания энтропии и физический смысл второго закона термодинамики; максимальная работа; эксергия.	15		12
Текущий контроль 4. (опрос)	2		-
Учебный модуль 5. Истечение и дросселирование газов и паров.			
Тема 10. Истечение газов и паров. Первый закон термодинамики в применении к потоку движущегося газа; работа проталкивания. дальнейшее развитие уравнения первого закона термодинамики для потока; располагаемая работа при истечении газа; адиабатный процесс истечения газа; истечение капельной жидкости; скорость истечения и массовый расход идеального газа из суживающегося сопла; анализ уравнения массового расхода идеального газа и критическое давление; критическая скорость и максимальный расход идеального газа; основные условия течения идеального газа по каналам переменного сечения; случаи истечения идеального газа из суживающегося сопла; истечение идеального газа из комбинированного сопла Лавалю; истечение газов с учетом трения; истечение водяного пара.	16		12
Тема 11. Дросселирование газов и паров. смешение газов. Дросселирование газа; уравнение процесса дросселирования; исследование процесса дросселирования. эффект Джоуля — Томсона; дросселирование Ван-дер-Ваальсова газа; кривая инверсии; дросселирование или мятие водяного пара; смешение газов; изменение энтропии идеальных газов при смешении.	15		12
Текущий контроль 5. (опрос)	2		-
Текущий контроль. (контрольная работа)	-		10
Промежуточная аттестация по дисциплине (зачет)	4		4
Учебный модуль 6. Водяной пар (реальный газ).			

Наименование и содержание учебных модулей, тем и форм контроля	Объем (часы)		
	очное обучение	очно-заочное обучение	заочное обучение
Тема 12. Водяной пар (реальный газ). Основные понятия и определения; диаграмма $p - t$ водяного пара; процессы подогрева жидкости, парообразования и пароперегрева; сухой насыщенный пар; влажный насыщенный водяной пар; уравнение Клапейрона-Клаузиуса; процесс перегрева пара;	9		17
Тема 13. Термодинамические процессы в парах. Диаграммы $T-s$ и $h-s$ водяного пара; термодинамические процессы в парах.	10		20
Текущий контроль 6. (опрос)	2		-
Учебный модуль 7. Циклы паросиловых установок.			
Тема 14. Циклы паросиловых установок. Основной цикл паросиловой установки (цикл Ренкина) на перегретом паре без учета работы насоса; термический КПД цикла Ренкина с учетом работы насоса; удельный расход пара и теплоты; относительный внутренний и абсолютный КПД.	21		26
Тема 15. Способы повышения термического КПД паросиловой установки. Влияние начальных и конечных параметров пара на термический КПД ПСУ; вторичный перегрев пара.	18		24
Текущий контроль 7. (опрос)	2		-
Учебный модуль 8. Основы теплофикации.			
Тема 16. Основы теплофикации. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии. Тепловой баланс конденсационной паросиловой установки; тепловой баланс теплофикационной ПСУ; теплофикационные циклы; цикл ПСУ с ухудшенным вакуумом в конденсаторе; цикл ПСУ с противодавленческими турбинами; цикл ПСУ с турбинами с двумя и одним регулируемым отборами пара.	20		24
Тема 17. Регенеративный цикл паросиловой установки. Термодинамический КПД регенеративного цикла паросиловой установки; уравнение теплового баланса питательного бака и подогревателей.	19		24
Текущий контроль 8. (опрос)	2		-
Учебный модуль 9. Циклы холодильных и теплонасосных установок.			
Тема 18. Циклы холодильных машин и установок. Цикл паровой компрессионной холодильной машины; цикл воздушной холодильной машины; абсорбционные холодильные установки; цикл парозежекторной холодильной установки.	21		28
Тема 19. Циклы теплонасосных установок. Цикл пароконденсационного теплового насоса; цикл пароконденсационного экологически чистого теплового насоса.	18		24
Текущий контроль 9. (опрос)	2		-
Текущий контроль. (контрольная работа)	-		20
Промежуточная аттестация по дисциплине (экзамен)	36		9
ВСЕГО:	360		360

3. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

3.1. Лекции

Номера изучаемых тем	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
1	3	2			4	1
2	3	2			4	1
3	3	2			4	1
4	3	4			4	1
5	3	4			4	1
6	3	4			4	1
7	3	4			4	1
8	3	3			4	0,5
9	3	3			4	0,5

Номера изучаемых тем	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
10	3	4			4	1
11	3	4			4	1
12	4	2			5	1
13	4	2			5	2
14	4	2			5	2
15	4	2			5	1
16	4	3			5	1
17	4	2			5	1
18	4	2			5	1
19	4	2			5	1
ВСЕГО:		53				20

3.2. Практические занятия

Номера изучаемых тем	Наименование и форма занятий	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
		Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
1	Определение параметров состояния идеального газа. Расчет абсолютного давления.	3	3			-	-
2	Расчет состояния газа, его параметров по основным законам идеального газа.	3	2			-	-
5	Расчетный анализ первого закона термодинамики. Определение внутренней энергии и энтальпии идеального газа.	3	2			-	-
6	Расчет массовой, мольной и объемной теплоемкости. Расчет теплоемкости в зависимости от температуры газа.	3	3			-	-
8	Расчет термодинамических процессов, анализ процессов.	3	3			-	-
9	Изображение термодинамических процессов в рабочей и тепловой диаграммах.	3	2			-	-
10	Определение скорости истечения пара и его массовый расход из сопла. Три режима работы сужающегося сопла.	3	3			-	-
12	Определение параметров пара на $T-s$ и $h-s$ диаграммах, аналитический метод расчета параметров влажного пара.	4	10			-	-
13	Термодинамические процессы и их расчеты с помощью $h-s$ диаграммы. Таблицы водяного пара.	4	10			-	-
14	Изменение тепловых схем ПТУ. Изображение основных циклов ПТУ в $T-s$ диаграмме, построение процесса расширения пара	4	10			-	-

Номера изучаемых тем	Наименование и форма занятий	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
		Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
	в hs-диаграмме.						
15	Сравнительный анализ тепловой экономичности циклов ПТУ.	4	6			-	-
18	Расчет двух тепловых схем холодильных установок, определение эффективности установок.	4	15			-	-
ВСЕГО:			69				-

3.3. Лабораторные занятия

Номера изучаемых тем	Наименование лабораторных занятий	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
		Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
4	Определение теплоемкости воздуха при постоянном давлении.	3	4			4	3
6	Определение отношения теплоемкостей воздуха C_p/C_v .	3	4			4	3
7	Исследование термодинамических процессов	3	10			4	4
12	Диаграмма $p - t$ водяного пара; сухой насыщенный пар.	-	-			5	3
12	Влажный насыщенный водяной пар; уравнение Клапейрона-Клаузиуса; процесс перегрева пара.	-	-			5	3
13	Диаграммы $T-s$ и $h-s$ водяного пара.	-	-			5	4
ВСЕГО:			18				20

4. КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Не предусмотрено

5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

Номера учебных модулей, по которым проводится контроль	Форма контроля знаний	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
		Номер семестра	Кол-во	Номер семестра	Кол-во	Номер семестра	Кол-во
1,2,3,4,5	опрос	3	5				
1-5	контрольная работа					4	1
6,7,8,9	опрос	4	4				
6-9	контрольная работа					5	1

6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

Виды самостоятельной работы обучающегося	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
Усвоение теоретического материала	3	54			4	90
Подготовка к практическим занятиям	3	38			-	-
Подготовка к лабораторным занятиям	3	12			4	20
Выполнение контрольной работы	-	-			4	10

Виды самостоятельной работы обучающегося	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
Подготовка к зачету	3	4			4	4
Усвоение теоретического материала	4	44			5	147
Подготовка к практическим занятиям	4	32			-	-
Подготовка к лабораторным занятиям	-	-			5	20
Выполнение контрольной работы	-	-			5	20
Подготовка к экзамену	4	36			5	9
ВСЕГО:		184+36				307+13

7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

7.1. Характеристика видов и используемых инновационных форм учебных занятий

Краткая характеристика вида занятий	Используемые активные и интерактивные формы	Объем занятий в интерактивных формах (часы)		
		очное обучение	очно-заочное обучение	заочное обучение
Лекции	Проблемная лекция, разбор конкретных ситуаций	30		12
ВСЕГО:		30		8

7.2. Система оценивания успеваемости и достижений обучающихся для промежуточной аттестации

традиционная

балльно-рейтинговая

8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1. Учебная литература

а) основная учебная литература

1. Кудинов И.В. Теоретические основы теплотехники. Часть I. Термодинамика [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Кудинов И.В., Стефанюк Е.В.— Электрон. текстовые данные.— Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2013.— 172 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22626>.— ЭБС «IPRbooks».
2. Злобин В.Г. Исследование термодинамических процессов [Электронный ресурс]: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Техническая термодинамика» для студентов институтов энергетики и автоматизации и безотрывных форм обучения/сост. В.Г. Злобин, С.В. Горбай, Э.Р.Алиев.— Электрон. текстовые данные.— СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2016.— 24 с.— Режим доступа: <http://nizrp.narod.ru/metod/tsuid//2.pdf>.— ЭБ ВШТЭ.

б) дополнительная учебная литература

3. Ефремов Ю.С. Статистическая физика и термодинамика [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ Ю.С.Ефремов.— Электрон. текстовые данные.— М.:Директ-Медиа, 2015.-208 с.— Режим доступа: <http://www.knigafund.ru/books/184145>.— ЭБС «КнигаФонд».
4. Лисейкина Т.А. Курс физики. Раздел шестой. Статистическая физика и термодинамика [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Лисейкина Т.А., Пинегина Т.Ю., Черевко А.Г.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2013.— 122 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45476>.— ЭБС «IPRbooks».
5. Цирлин А.М. Методы и результаты оптимизационной термодинамики [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ А.М.Цирлин.— Электрон. текстовые данные.— М.:Директ-Медиа, 2015.-278 с. Режим доступа: <http://www.knigafund.ru/books/183167>.— ЭБС «КнигаФонд».

8.2. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Не предусмотрено

8.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины

1. Электронная библиотека СПб ГУПТД - <http://www.iprbookshop.ru>.
2. Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД - http://nizrp.narod.ru/ebmu_m.htm.
3. Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД - <http://www.knigafund.ru>.

8.4. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

1. Microsoft Windows 8.1.
2. Microsoft Office Professional 2013.
3. PTC Mathcad 15.

8.5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

1. Стандартно оборудованная аудитория.
2. Компьютерный класс с мультимедийным комплексом и выходом в интернет.
3. Видеопроектор с экраном.
4. Учебная лаборатория тепловых двигателей.
5. Лабораторная установка по определению коэффициента адиабаты воздуха.
6. Лабораторная установка по исследованию термодинамических процессов.

8.6. Иные сведения и (или) материалы

1. Демонстрационные, раздаточные материалы.
2. Каталоги энергетического оборудования.
3. Комплект плакатов.
4. Наборы слайдов на электронном носителе.
5. Макеты элементов тепловых двигателей и холодильных машин.
6. Натурные образцы элементов проточных частей турбин.

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Виды учебных занятий и самостоятельная работа обучающихся	Организация деятельности обучающегося
Лекция	Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины. Конспект лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы и формулировки; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий: осуществлять с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Работа с теоретическим материалом: найти ответ на вопросы в рекомендуемой литературе, если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации или на практическом занятии и др.
Практические занятия	Работа с теоретическими положениями курса, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Анализ заданий на практических занятиях, решение задач по алгоритмам указанных работ, анализ полученных результатов, формулировка выводов и др.
Лабораторная работа	Работа с конспектом лекций, изучение методических указаний по выполнению лабораторных работ, знакомство с лабораторным оборудованием, порядком его использования, техникой безопасности при выполнении лабораторных работ, анализ полученных результатов, формулирование выводов.
Самостоятельная работа	Расширение и закрепление знаний, умений и навыков, усвоенных на практических занятиях путем самостоятельной проработки учебно-методических материалов по дисциплине и другим источникам информации. Решение практических задач; проработка конкретных ситуаций; использование интернет-ресурса. Для выполнения контрольной работы и подготовке к зачету и экзамену необходимо проработать, рекомендуемую литературу, каталоги энергетического оборудования, составить алгоритмы ответов на вопросы по зачету и экзамену, продумать ответы на возможные дополнительные вопросы преподавателя.

10. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

10.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

10.1.1. Показатели оценивания компетенций на этапах их формирования

Код компетенции (этап освоения)	Показатели оценивания компетенций	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
ОПК-1 (2)	<p>1. Излагает знание тепловых схем, конструкций, характеристик, технико-экономических показателей и особенностей эксплуатации при различных режимах теплоэнергетического оборудования и устройств.</p> <p>2. Демонстрирует умение читать и разрабатывать технологические схемы, оценивать параметры технического состояния, распознавать причины нарушений в работе теплоэнергетического оборудования.</p> <p>3. Использует способы расчета параметров работы и технического состояния теплоэнергетического оборудования и устройств.</p>	<p>1. Устное собеседование.</p> <p>2. Типовое практическое задание.</p>	<p>1. Перечень вопросов к зачету и экзамену (94 вопроса).</p> <p>2. Перечень типовых заданий (10 задач).</p>
ОПК-2 (2)	<p>1. Излагает знание назначения, особенностей конструкции и принципов работы теплоэнергетического оборудования</p> <p>2. Демонстрирует умение определять последовательность необходимых действий при выполнении работ по эксплуатации и рассчитывать параметры эксплуатации теплоэнергетического оборудования.</p> <p>3. Использует предложения по оптимизации режимов работы, повышению уровня технической эксплуатации, экономичности работы и безопасности обслуживания и оценкой условий эксплуатации теплоэнергетического оборудования.</p>	<p>1. Устное собеседование.</p> <p>2. Типовое практическое задание.</p>	<p>1. Перечень вопросов к зачету и экзамену (94 вопроса).</p> <p>2. Перечень типовых заданий (10 задач).</p>

10.1.2. Описание шкал и критериев оценивания сформированности компетенций

Критерии оценивания сформированности компетенций

Оценка по традиционной шкале	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Практическое задание
отлично	Обучающийся показывает всестороннее и глубокое знание основных термодинамических законов, свободно ориентируется в основных понятиях, терминах и определениях при ответе; усвоил основную и знаком с дополнительной литературой; может объяснить взаимосвязь термодинамических процессов для последующей профессиональной деятельности; проявляет творческие способности и широкую эрудицию в использовании учебного материала.	Обучающийся демонстрирует правильное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения, знание размерностей термодинамических величин. Умеет применять математический аппарат для реализации плана решения задачи и, если это необходимо, может представить его графически. Получил правильный ответ и может его интерпретировать.
хорошо	Обучающийся показывает достаточный	Обучающийся демонстрирует

	уровень знаний основных термодинамических законов, ориентируется в основных понятиях и определениях термодинамических процессов; усвоил основную литературу; допускает незначительные погрешности при ответах на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы преподавателя.	достаточное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения, знание размерностей термодинамических величин. Допускает незначительные погрешности при применении математического аппарата для реализации плана решения задачи. Получил правильный ответ и может его интерпретировать.
удовлетворительно	Обучающийся показывает знания учебного материала в минимальном объеме; может сформулировать термодинамические законы, понятия и определения термодинамических процессов, но при этом, допуская большое количество непринципиальных ошибок; знаком с основной литературой; допускает существенные ошибки в ответе на экзамене, но может устранить их под руководством преподавателя.	Обучающийся демонстрирует достаточное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения, знание размерностей термодинамических величин. Допускает незначительные погрешности при применении математического аппарата для реализации плана решения задачи. Получил правильный ответ, но испытывает затруднения с его интерпретацией.
неудовлетворительно	Обучающийся не имеет достаточного уровня знания дисциплины; не может сформулировать основные термодинамические законы; плохо ориентируется в основных понятиях и определениях; плохо знаком с основной литературой; допускает при ответе на экзамене существенные ошибки и не может устранить их даже под руководством преподавателя.	Обучающийся вникает в смысл условия задачи, понимает план ее решения, однако, не может в полной мере с помощью математического аппарата реализовать ее решение. Не знает размерности термодинамических величин, не может сделать рисунок или схему, поясняющую решение задачи.
Зачтено	Обучающийся показывает всестороннее и глубокое знание основных термодинамических законов, свободно ориентируется в основных понятиях, терминах и определениях; усвоил основную и знаком с дополнительной литературой; может объяснить взаимосвязь основных физических законов и их значение для последующей профессиональной деятельности; проявляет творческие способности в использовании учебного материала. Обучающийся демонстрирует правильное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения. Умеет применять математический аппарат для реализации плана решения задачи и, если это необходимо. Получил правильный ответ и может его интерпретировать.	
Не зачтено	Обучающийся не имеет достаточного уровня знания дисциплины; не может сформулировать основные термодинамические законы; плохо ориентируется в основных понятиях и определениях; плохо знаком с основной литературой; допускает при ответе на зачете существенные ошибки и не может устранить их даже под руководством преподавателя. Обучающийся вникает в смысл условия задачи, понимает план ее решения, однако, не может в полной мере с помощью математического аппарата реализовать ее решение.	

10.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций

10.2.1. Перечень вопросов к зачету и экзамену, разработанный в соответствии с установленными этапами формирования компетенций

№ п/п	Формулировка вопросов	№ темы
1	Основные термодинамические параметры состояния. Единицы измерения в системе СИ.	1
2	Определения и свойства термодинамических систем	1
3	Термодинамический процесс. Наименование и определяющие признаки	1
4	Теплота и работа, как разные формы передачи энергии	1
5	Термодинамическое равновесие. Равновесные и неравновесные Термодинамическое равновесие. Равновесные и неравновесные	1
6	Понятие об идеальном газе. Основные законы идеальных газов	2
7	Уравнение состояния идеальных газов. Удельная газовая постоянная	2
8	Универсальное уравнение состояния идеального газа. Универсальная газовая	2

№ п/п	Формулировка вопросов	№ темы
	постоянная	
9	Основные свойства газовых смесей	3
10	Способы задания смеси газов. Закон Дальтона	3
11	Газовая постоянная смеси газов	3
12	Средняя молярная масса смеси газов. Парциальные давления	3
13	Термодинамические свойства реальных газов	4
14	Уравнение состояния Ван-дер-Ваальса	4
15	Анализ уравнения Ван-дер-Ваальса	4
16	Pv -диаграмма при фазовых переходах жидкости и газа (диаграмма Эндрюса)	4
17	Уравнение Ван-дер-Ваальса в приведенных параметрах состояния. Критические параметры вещества	4
18	Уравнение состояния для реальных газов М. П. Вукаловича и И. И. Новикова	4
19	Закон сохранения и превращения энергии. Внутренняя энергия	5
20	Аналитическое выражение работы процесса	5
21	Обратимые и необратимые термодинамические процессы	5
22	Общее аналитическое выражение первого закона термодинамики	5
23	Внутренняя энергия и энтальпия как энергетические функции состояния идеального газа	5
24	Определения удельной (массовой), объемной и молярной теплоемкости газов. Их взаимосвязь	6
25	Аналитические выражения для теплоемкостей c_v и c_p . Зависимость теплоемкости от температуры	6
26	Элементы молекулярно-кинетической и квантовой теорий теплоемкости	6
27	Истинная и средняя теплоемкости. Отношение теплоемкостей c_p и c_v	6
28	Определение q_v и q_p для идеальных газов по таблицам теплоемкостей	6
29	Теплоемкость смесей идеальных газов. Приближенные значения теплоемкостей	6
30	Энтропия. Вычисление энтропии идеального газа для обратимых и необратимых процессов.	6
31	Изображение и сопоставление тепловых процессов в pv и Ts – диаграмма	6
32	Общие вопросы исследования термодинамических процессов идеальных газов. Изохорный процесс	7
33	Изобарный и изотермический процессы	7
34	Адиабатный и политропные процессы	7
35	Основные положения второго закона термодинамики. Круговые термодинамические процессы и циклы	8
36	Термический КПД и холодильный коэффициент циклов	8
37	Прямой обратимый цикл Карно	8
38	Обратный обратимый цикл Карно и его термический КПД	8
39	Теорема Карно	8
40	Свойства обратимых и необратимых циклов. Математическое выражение второго закона термодинамики	9
41	Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах	9
42	Обобщенный (регенеративный) цикл Карно	9
43	Формулировка и физическая сущность второго закона термодинамики	9
44	Максимальная работа. Понятие эксергии, потери работоспособности в необратимых процессах и эксергетический КПД	9
45	Первый закон термодинамики в применении к потоку движущегося газа	10
46	Работа проталкивания. Дальнейшее развитие уравнения первого закона термодинамики для потока	10
47	Располагаемая работа при истечении газа, ее расчет	10
48	Адиабатный процесс истечения газа. Истечение капельной жидкости	10
49	Скорость истечения и массовый расход идеального газа из сужающегося сопла	10
50	Анализ уравнения массового расхода идеального газа и критическое давление	10
51	Критическая скорость и максимальный расход идеального газа	10
52	Основные условия течения идеального газа по каналам переменного сечения	10
53	Случаи истечения идеального газа из сужающегося сопла	10
54	Истечение идеального газа из комбинированного сопла Лавалья	10
55	Истечение газов с учетом трения. Истечение водяного пара.	10
56	Дросселирование газа. Уравнение процесса дросселирования.	11
57	Исследование процесса дросселирования. Эффект Джоуля-Томпсона.	11

№ п/п	Формулировка вопросов	№ темы
58	Дросселирование Ван-дер-Ваальсова газа. Кривая инверсии.	11
59	Дросселирование водяного пара.	11
60	Смешение газов. Изменение энтропии идеальных газов при смешении.	11
61	$T-p$ – диаграмма фазовых переходов вещества. Основные понятия и определения процессов фазовых переходов.	12
62	$p-V$ – диаграмма водяного пара.	12
63	Процесс подогрева жидкости. График подогрева жидкости в $T-S$ координатах.	12
64	Процесс парообразования. Внешняя и внутренняя теплоты парообразования.	12
65	Сухой насыщенный пар. Полная теплота сухого насыщенного пара. Таблицы сухого насыщенного пара.	12
66	Влажный насыщенный водяной пар. Параметры влажного насыщенного пара.	12
67	Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.	12
68	Процесс перегрева пара. Параметры перегретого пара.	12
69	Диаграмма $T-S$ водяного пара.	13
70	Диаграмма $h-S$ водяного пара.	13
71	Изохорный и изобарный термодинамические процессы водяного пара.	13
72	Изотермический и адиабатный термодинамические процессы водяного пара.	13
73	Основной цикл паросиловой установки (цикл Ренкина) на перегретом паре без учета работы насоса.	14
74	Термический КПД цикла Ренкина с учетом работы насоса.	14
75	Удельные расходы пара и теплоты. Относительный внутренний и абсолютный КПД цикла Ренкина.	14
76	Влияние начального давления p_1 на термический КПД ПСУ.	15
77	Влияние начальной температуры пара t_1 на термический КПД ПСУ.	15
78	Влияние конечного давления p_2 на термический КПД ПСУ.	15
79	Пути повышения термического КПД паросиловых установок. Вторичный перегрев пара.	15
80	Тепловой баланс конденсационной паросиловой установки.	16
81	Тепловой баланс теплофикационной паросиловой установки.	16
82	Теплофикационные циклы. Цикл ПСУ с ухудшенным вакуумом в конденсаторе.	16
83	Цикл ПСУ с противодавленческими турбинами (турбины типа «Р»).	16
84	Цикл ПСУ с турбинами с двумя и одним регулируемым отборами пара (с одним производственным или теплофикационным или двумя одновременно).	16
85	Термодинамический КПД регенеративного цикла паросиловой установки.	17
86	Схема реального регенеративного цикла ПСУ и его изображение в диаграмме $T-S$.	17
87	Уравнения теплового баланса питательного бака и подогревателей регенеративного цикла ПСУ.	17
88	Холодильная установка, работающая по циклу Карно. Холодильный коэффициент.	18
89	Цикл паровой компрессионной холодильной машины.	18
90	Цикл воздушной холодильной машины.	18
91	Абсорбционные холодильные установки.	18
92	Цикл парожеторной холодильной установки.	18
93	Цикл парокompрессионного теплового насоса.	19
94	Цикл парокompрессионного экологически чистого теплового насоса.	19

10.2.2. Вариант типовых заданий, разработанных в соответствии с установленными этапами формирования компетенций

№ п/п	Условия типовых заданий	Ответ
1	Для идеального газа температурный коэффициент объемного расширения $\beta_p = 1/273,15$ был получен при изобарном нагреве от 0 до 1°C . Определить числовые значения β_p при 200 и 400°C .	Из формулы (4.9) имеем, что температурный коэффициент объемного расширения идеального газа $\beta_p = (1/V)(\partial V / \partial T)_p$. Но из уравнения Клапейрона нашли, что частная производная $(\partial V / \partial T)_p = R/p$, поэтому $\beta_p = (1/V)(\partial V / \partial T)_p = (1/V)(R/p) = 1/T$, т. е. при любой абсолютной температуре β_p равен обратной величине этой температуры и не зависит от давления. Следовательно,

№ п/п	Условия типовых заданий	Ответ
		$\beta_{p200} = 1/(200 + 273,15) = 1/T = 0,002151 / K;$ $\beta_{p400} = 1/(400 + 273,15) = 1/T = 0,0014851 / K$ <p>Температурный коэффициент давления идеального газа $\beta_v = (1/p)(\partial p / \partial T)_v$ при заданных температурах равен β_p, поэтому числовые значения:</p> $\beta_{p200} = 1/T = 0,002151 / K = \beta_{v200};$ $\beta_{p400} = 1/T = 0,0014851 / K = \beta_{v400}$ <p>Это равенство получается при подстановке значения частной производной $(\partial p / \partial T)_v = R/V$ в уравнение (4.10), а из него и следует, что $\beta_v = 1/T = \beta_p$.</p>
2	<p>Из комбинированного сопла газовой турбины вытекают продукты сгорания при давлении $p_2 = 1,3 \cdot 10^5$ Па. При входе в сопло давление газов равно $p_1 = 10,0 \cdot 10^5$ Па при температуре 1200 К (927°С). Массовый расход, газов $m = 0,8$ кг/с. Истечение считать адиабатным, а показатель $k = c_p/c_v = 1,35$. Продукты сгорания обладают свойствами воздуха. Трением в канале сопла и входной скоростью пренебречь. Определить минимальное и выходное сечения сопла, а также температуру газов при выходе из сопла.</p>	<p>Определим критическое отношение давлений по данным задачи:</p> $\beta_k = p_k / p_1 = (2/k + 1)^{k/(k-1)} = (2/1,35 + 1)^{1,35/(1,35-1)} = 0,537.$ <p>Для нашей задачи отношение давлений $\beta = p_2 / p_1 = 1,3/10 = 0,13 < \beta_k = 0,537$. Следовательно, обязательно надо применить комбинированное сопло <i>Лавала</i>. Определим скорость газов и критическом сечении сопла:</p> $w_k = \sqrt{2k/(k+1)p_1 v_1} = \sqrt{2k/(k+1)RT_1} = \text{м/с.}$ $\sqrt{2[1,35/(1,35+1)]287 \cdot 1200} = 629$ <p>Зная критическую скорость и массовый расход газов, можно определить площадь критического сечения сопла (минимальное) —</p> $a_{\text{мин}} = mv_k / w_k = 0,8 \cdot 0,546 / 629 = 0,000694 \text{ м}^2 = 694 \text{ мм}^2$ <p>где $v_k = v_1 / \beta_k^{1/k} = 0,3444 / 0,537^{1/1,35} = 0,546$ м³/кг, а $v_1 = 0,3444$</p> <p>определено по формуле Клапейрона:</p> $v_1 = RT_1 / p_1 = 287 \cdot 1200 / 10,0 \cdot 10^5 = 0,3444 \text{ м}^3/\text{кг.}$ <p>Диаметр критического сечения сопла</p> $d_k = \sqrt{a_{\text{мин}} / 0,785} = \sqrt{694 / 0,785} = 29,8 \text{ мм.}$ <p>Длину суживающейся части сопла берем равной диаметру критического сечения (из конструктивных соображений) $l_1 = 30$ мм. Определим скорость газов и выходном сечении сопла:</p> $w_b = \sqrt{2[k/(k-1)]p_1 v_1 (p_2 / p_1)^{(k-1)/k}} = \text{м/с.}$ $\sqrt{2[k/(k-1)]RT_1 (1 - \beta^{(k-1)/k})} = 782$ <p>Зная выходную скорость газов, можно определить площадь выходного сечения сопла:</p> $a_e = mv_2 / w_b = 0,8 \cdot 1,524 / 782 = 0,001559 \text{ м}^2 = 1559 \text{ мм}^2,$ <p>где $v_2 = v_1 / \beta^{1/k} = 0,3444 / 0,13^{1/1,35} = 1,524$ м³/кг.</p> <p>Диаметр выходного сечения сопла</p> $D = \sqrt{a_e / 0,785} = \sqrt{1559 / 0,785} = 44,6 \text{ мм.}$ <p>Длину расширяющейся части сопла l_2 определим по уравнению $l_2 = (D - d_k) / (2 \text{tg} \Omega / 2)$. Угол конусности насадка принимаем равным 10°, $\text{tg} 10^\circ = 0,17633$; $l_2 = (44,6 - 29,8) / 0,17498 = 85$ мм.</p> <p>Длина сопла газовой турбины</p> $l = l_1 + l_2 = 30 + 85 = 115 \text{ мм.}$ <p>Температуру газов при выходе из сопла T_2 определим из уравнения Клапейрона:</p> $T_2 = p_2 v_2 / R = 1,3 \cdot 10^5 \cdot 1,524 / 287 = 693 \text{ К} = 420^\circ \text{С.}$

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

10.3.1. Условия допуска обучающегося к сдаче зачета и экзамена и порядок ликвидации академической задолженности

Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся

10.3.2. Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

устная письменная компьютерное тестирование иная

10.3.3. Особенности проведения зачета и экзамена

- Возможность пользоваться справочными таблицами, разрешенными слайдами схем и рисунков, калькулятором;
- Время на подготовку ответа на зачете 30 минут, по билету на экзамене 45 минут.