МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Самарский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по учебной работе
_____ / О.В. Юсупова
"_____" _____ 20___ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.В.04.17 «Расчет тепловых схем и проектирование тепловых электростанций»

Код и направление подготовки (специальность)	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Направленность (профиль)	Технология топливно-энергетических ресурсов на объектах тепловой и электрической генерации
Квалификация	Бакалавр
Форма обучения	Очная
Год начала подготовки	2023
Институт / факультет	Теплоэнергетический факультет (ТЭФ)
Выпускающая кафедра	кафедра "Тепловые электрические станции"
Кафедра-разработчик	кафедра "Тепловые электрические станции"
Объем дисциплины, ч. / з.е.	144 / 4
Форма контроля (промежуточная аттестация)	Зачет с оценкой

Самара 2023

Б1.В.04.17 «Расчет тепловых схем и проектирование тепловых электростанций»

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) **13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от № 143 от 28.02.2018 и соответствующего учебного плана.

Разработчик РПД:

Доцент, кандидат технических наук	А.Ю Губарев
(должность, степень, ученое звание)	(ФИО)

Заведующий кафедрой	К.В. Трубицын, кандидат экономических наук, доцент
	(ФИО, степень, ученое звание)

СОГЛАСОВАНО:

Председатель методического совета факультета / института (или учебно-методической комиссии)	Н.В Маслобойникова, кандидат филологических наук, доцент
	(ФИО, степень, ученое звание)
Руководитель образовательной программы	А.А. Кудинов, доктор технических наук, профессор
	(ФИО, степень, ученое звание)

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы 4
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы 5
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся 5
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий 6
4.1 Содержание лекционных занятий 6
4.2 Содержание лабораторных занятий 8
4.3 Содержание практических занятий 8
4.4. Содержание самостоятельной работы 10
5. Перечень учебной литературы и учебно-методического обеспечения по дисциплине (модулю) 11
6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения 12
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», профессиональных баз данных, информационно-справочных систем 12
8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю) 12
9. Методические материалы 13
10. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) 15

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (знать, уметь, владеть, соотнесенные с индикаторами достижения компетенции)
Профессиональные компетенции			
Не предусмотрено	ПК-4 Способен участвовать в сборе и анализе исходных данных для проектирования элементов оборудования и объектов деятельности в целом с использованием нормативной документации и современных методов поиска и обработки информации	ПК-4.1 Знать основные законы естествознания, методы теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	Знать основные законы естествознания, методы теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности
		ПК-4.2 Уметь выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, осуществлять сбор и анализ исходных данных для проектирования оборудования	Уметь выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, осуществлять сбор и анализ исходных данных для проектирования оборудования
		ПК-4.3 Владеть навыками применения основных законов естествознания, методов теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	Владеть навыками применения основных законов естествознания, методов теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности

	ПК-9 Способен проводить расчеты по типовым методикам, проектировать теплоэнергетическое оборудование с использованием стандартных средств автоматизации проектирования в соответствии с техническим заданием	ПК-9.1 Знать принципиальные тепловые схемы тепловых электростанций; современные методы расчета принципиальных тепловых схем ТЭС	Знать принципиальные тепловые схемы тепловых электростанций; современные методы расчета принципиальных тепловых схем ТЭС
		ПК-9.2 Уметь выполнять расчеты оборудования, входящего в состав тепловой электростанций	Уметь выполнять расчеты оборудования, входящего в состав тепловой электростанций
		ПК-9.3 Владеть современными методами расчета оборудования и тепловых схем электростанций	Владеть современными методами расчета оборудования и тепловых схем электростанций

2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы: **часть, формируемая участниками образовательных отношений**

Код компетенции	Предшествующие дисциплины	Параллельно осваиваемые дисциплины	Последующие дисциплины
ПК-4	Моделирование процессов теплообмена при глубоком охлаждении газов; Производственная практика: проектная практика		Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы; Физико-химические процессы в энергетике
ПК-9	Моделирование процессов теплообмена при глубоком охлаждении газов	Химический контроль теплоносителей на электростанциях; Ядерные энергетические установки	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы; Производственная практика: преддипломная практика; Физико-химические процессы в энергетике

3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Вид учебной работы	Всего часов / часов в электронной форме	7 семестр часов / часов в электронной форме

Аудиторная контактная работа (всего), в том числе:	48	48
Лекции	16	16
Практические занятия	32	32
Внеаудиторная контактная работа, КСР	4	4
Самостоятельная работа (всего), в том числе:	92	92
подготовка к зачету	10	10
подготовка к практическим занятиям	16	16
составление конспектов	66	66
Итого: час	144	144
Итого: з.е.	4	4

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

№ раздела	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы				
		ЛЗ	ЛР	ПЗ	СРС	Всего часов
1	Тепловые схемы КЭС	2	0	6	14	22
2	Тепловые схемы ТЭЦ	2	0	8	14	24
3	Перспективные технологии в энергетике	4	0	14	20	38
4	Проектирование ТЭС	4	0	0	20	24
5	Организация строительства ТЭС	2	0	0	14	16
6	Монтаж оборудования ТЭС	2	0	4	0	6
7	Подготовка к зачету	0	0	0	10	10
	КСР	0	0	0	0	4
	Итого	16	0	32	92	144

4.1 Содержание лекционных занятий

№ занятия	Наименование раздела	Тема лекции	Содержание лекции (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	Количество часов / часов в электронной форме
7 семестр				

1	Тепловые схемы КЭС	Тема 1.1. Введение. Тепловые схемы ТЭС	1.1.1. Характерные тепловые схемы паротурбинных установок. 1.1.2. Основы проектирования принципиальной тепловой схемы паротурбинных установок (для самостоятельного изучения).	2
2	Тепловые схемы ТЭЦ	Тема 2.1. Тепловые схемы ТЭС. Тема 2.2. Поверочные расчеты тепловых схем паротурбинных установок (для самостоятельного изучения).	2.1.1. Характерные тепловые схемы теплофикационных паротурбинных установок. 2.2.1. Методы анализа принципиальных тепловых схем (для самостоятельного изучения).	2
3	Перспективные технологии в энергетике	Тема 3.1. Парогазовые установки. Тема 3.2. Совершенствование тепловой схемы паротурбинной установки (для самостоятельного изучения)	3.1.1. ПГУ сбросного типа. 3.1.2. ПГУ с высоконапорным парогенератором. 3.1.3. ПГУ с «вытеснением» регенерации. 3.1.4. ПГУ утилизационного типа 3.2.1. Совершенствование паровой турбины (для самостоятельного изучения). 3.2.2. Переход на суперсверхкритические параметры пара (для самостоятельного изучения).	2
4	Перспективные технологии в энергетике	Тема 3.3. Котлы с циркулирующим кипящим слоем. Тема 3.4. ПГУ с внутрицикловой газификацией твердого топлива (для самостоятельного изучения).	3.3.1. Создание энергоблоков на суперсверхкритические параметры пара. 3.4.1. Газификация в стационарном слое (для самостоятельного изучения). 3.4.2. Газификация в потоке с пылеугольным топливом (для самостоятельного изучения). 3.4.3. Газификация в кипящем слое (для самостоятельного изучения).	2
5	Проектирование ТЭС	Тема 4.1. Проектирование новых и расширение действующих ТЭС. Тема 4.2. Генеральный план ТЭС (для самостоятельного изучения).	4.1.1. Основы проектирования электростанций в энергетике. 4.1.2. Состав проектной документации для ТЭС. 4.2.1. Ситуационный план ТЭС (для самостоятельного изучения). 4.2.2. Генеральный план ТЭС (для самостоятельного изучения).	2

6	Проектирование ТЭС	Тема 4.3. Компоновка генеральных планов. Тема 4.4. Компоновка главных корпусов ТЭС. Тема 4.5. Компоновка вспомогательных объектов ТЭС (для самостоятельного изучения).	4.3.1. Компоновка генерального плана КЭС. 4.3.2. Компоновка генерального плана ТЭЦ. 4.3.3. Компоновка генерального плана парогазовой ТЭС. 4.4.1. Типовые проекты главных корпусов пылеугольных КЭС. 4.4.2. Типовые проекты главных корпусов пылеугольных ТЭЦ. 4.4.3. Типовые проекты главных корпусов газотурбинных ТЭС. 4.4.4. Типовые проекты главных корпусов парогазовых установок. 4.5.1. Дымовые трубы (для самостоятельного изучения). 4.5.2. Угольное топливное хозяйство (для самостоятельного изучения). 4.5.3. Мазутное хозяйство (для самостоятельного изучения). 4.5.4. Сооружения технического водоснабжения (для самостоятельного изучения).	2
7	Организация строительства ТЭС	Тема 5.1. Организация строительного производства. Тема 5.2. Подготовительный период строительства ТЭС (для самостоятельного изучения). Тема 5.3. Основной период строительства ТЭС	5.1.1. Общие вопросы организации строительного производства. 5.1.2. Технологическая продолжительность строительства ТЭС. 5.2.1. Создание дирекции строящейся ТЭС (для самостоятельного изучения). 5.2.2. Создание производственно-комплектовочных и строительных баз (для самостоятельного изучения). 5.2.3. Строительный генеральный план (для самостоятельного изучения). 5.2.4. Временные здания и сооружения (для самостоятельного изучения). 5.2.5. Временное энергоснабжение (для самостоятельного изучения). 5.3.1. Подсчет объема земляных работ. 5.3.2. Основные вопросы технического надзора при строительных работах.	2
8	Монтаж оборудования ТЭС	Тема 6.1. Монтаж оборудования ТЭС.	6.1.1. Общие вопросы организации монтажных работ при строительстве и модернизации. 6.1.2. Основные технологические вопросы монтажных работ.	2
			Итого за семестр:	**16**
			Итого:	**16**

4.2 Содержание лабораторных занятий

Учебные занятия не реализуются.

4.3 Содержание практических занятий

№ занятия	**Наименование раздела**	**Тема практического занятия**	**Содержание практического занятия** (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	**Количество часов / часов в электронной форме**
7 семестр				

1	Тепловые схемы КЭС	Определение термодинамических параметров рабочего тела	Определение параметров водяного пара с помощью таблиц теплофизических свойств воды и водяного пара, h, s – диаграмм.	2
2	Тепловые схемы КЭС	Расчет принципиальной тепловой схемы простейшей КЭС	Построение процесса расширения водяного пара в турбине. Определение параметров рабочего тела в характерных точках тепловой схемы.	2
3	Тепловые схемы КЭС	Расчет принципиальной тепловой схемы простейшей КЭС (продолжение)	Расчет системы регенерации паротурбинной установки, определение показателей эффективности работы паротурбинной установки.	2
4	Тепловые схемы ТЭЦ	Расчет принципиальной тепловой схемы простейшей ТЭЦ	Построение процесса расширения водяного пара в турбине. Определение параметров рабочего тела в характерных точках тепловой схемы.	2
5	Тепловые схемы ТЭЦ	Расчет принципиальной тепловой схемы простейшей ТЭЦ (продолжение)	Расчет системы регенерации паротурбинной установки, определение показателей эффективности работы паротурбинной установки.	2
6	Тепловые схемы ТЭЦ	Расчет системы регенерации паровой турбины	Изучение методики расчета регенеративной системы паротурбинной установки.	2
7	Тепловые схемы ТЭЦ	Расчет системы регенерации паровой турбины (продолжение)	Оценка влияния регенерации теплоты в цикле паротурбинной установки на эффективность ее работы.	2
8	Перспективные технологии в энергетике	Расчет принципиальной тепловой схемы одноконтурной ПГУ	Определение параметров газов по тракту одноконтурного котла-утилизатора. Определение расхода и параметров перегретого пара высокого давления. Построение процесса расширения пара в паровой турбине. Определение показателей работы парогазовой установки.	2
9	Перспективные технологии в энергетике	Расчет принципиальной тепловой схемы двухконтурной ПГУ	Определение параметров газов по тракту двухконтурного котла-утилизатора. Определение расходов и параметров перегретого пара высокого и низкого давления. Определение тепловой нагрузки и КПД двухконтурного котла-утилизатора.	2
10	Перспективные технологии в энергетике	Расчет принципиальной тепловой схемы двухконтурной ПГУ (продолжение)	Построение процесса расширения водяного пара в двухцилиндровой паровой турбине. Определение показателей работы парогазовой установки.	2
11	Перспективные технологии в энергетике	Расчет принципиальной тепловой схемы трехконтурной ПГУ	Определение параметров газов по тракту трехконтурного котла-утилизатора. Определение расходов и параметров перегретого пара высокого, среднего и низкого давления. Определение тепловой нагрузки и КПД трехконтурного котла-утилизатора.	2

12	Перспективные технологии в энергетике	Расчет принципиальной тепловой схемы трехконтурной ПГУ (продолжение)	Построение процесса расширения водяного пара в трехцилиндровой паровой турбине. Определение показателей работы парогазовой установки.	2
13	Перспективные технологии в энергетике	Промежуточный перегрев водяного пара	Построение процесса расширения пара в паровой турбине с промежуточным перегревом водяного пара.	2
14	Перспективные технологии в энергетике	Промежуточный перегрев водяного пара (продолжение)	Оценка влияния регенерации теплоты в цикле паротурбинной установки на эффективность ее работы.	2
15	Монтаж оборудования ТЭС	Расчет такелажной оснастки при подъеме оборудования	Графический способ определения усилий в такелажной оснастке.	2
16	Монтаж оборудования ТЭС	Расчет такелажной оснастки при подъеме оборудования (продолжение)	Определение усилий при подъеме оборудования наклонной мачтой.	2
			Итого за семестр:	**32**
			Итого:	**32**

4.4. Содержание самостоятельной работы

Наименование раздела	**Вид самостоятельной работы**	**Содержание самостоятельной работы** (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	**Количество часов**
7 семестр			
Тепловые схемы КЭС	Самостоятельное изучение материала	Самостоятельное изучение и конспектирование темы 1.1.2. Основы проектирования принципиальной тепловой схемы паротурбинных установок.	14
Тепловые схемы ТЭЦ	Самостоятельное изучение материала	Самостоятельное изучение и конспектирование темы 2.2.1. Методы анализа принципиальных тепловых схем.	14
Перспективные технологии в энергетике	Самостоятельное изучение материала	Самостоятельное изучение и конспектирование тем: 3.2.1. Совершенствование паровой турбины; 3.2.2. Переход на суперсверхкритические параметры пара; 3.4.1. Газификация в стационарном слое; 3.4.2. Газификация в потоке с пыле-угольным топливом; 3.4.3. Газификация в кипящем слое.	20

Проектирование ТЭС	Самостоятельное изучение материала	Самостоятельное изучение и конспектирование тем: 4.2.1. Ситуационный план ТЭС; 4.2.2. Генеральный план ТЭС; 4.5.1. Дымовые трубы; 4.5.2. Угольное топливное хозяйство; 4.5.3. Мазутное хозяйство; 4.5.4. Сооружения технического водоснабжения.	20
Организация строительства ТЭС	Самостоятельное изучение материала	Самостоятельное изучение и конспектирование тем: 5.2.1. Создание дирекции строящейся ТЭЦ; 5.2.2. Создание производственно-комплектовочных и строительных баз; 5.2.3. Строительный генеральный план; 5.2.4. Временные здания и сооружения; 5.2.5. Временное энергоснабжение	14
Подготовка к зачету	Подготовка к зачету	Подготовка к зачету	10
		Итого за семестр:	**92**
		Итого:	**92**

5. Перечень учебной литературы и учебно-методического обеспечения по дисциплине (модулю)

№ п/п	**Библиографическое описание**	**Ресурс НТБ СамГТУ** (ЭБС СамГТУ, IPRbooks и т.д.)
Основная литература		
1	Кудинов, А.А. Парогазовые установки тепловых электрических станций : учеб. пособие / А. А. Кудинов, С. К. Зиганшина; Самар.гос.техн.ун-т.- Самара, 2019.- 219 с.	Электронный ресурс
2	Кудинов, А.А. Тепловые электрические станции. Схемы и оборудование : учеб. пособие / А. А. Кудинов.- М., Инфра-М, 2013.- 324 с.	Электронный ресурс
3	Цанев, С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций : учеб. пособие / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов ;под ред. С. В. Цанева .- 3-е изд., стер..- М., ИД МЭИ, 2009.- 579 с.	Электронный ресурс
Дополнительная литература		
4	Губарев, А.Ю. Паротурбинные установки тепловых электрических станций : учебное пособие / А. Ю. Губарев; Самарский государственный технический университет, Тепловые электрические станции.- Самара, 2021.- 104 с..- Режим доступа: https://elib.samgtu.ru/getinfo?uid=els_samgtu||elib||5402	Электронный ресурс
5	Жилин, Валентин Гаврилович Проектирование тепловых электростанций большой мощности : (общ. вопр.) [Текст] / под ред. И. И. Угорца.- Москва; Ленинград, Энергия, 1964.- 376 с.	Электронный ресурс
6	Рыжкин, Вениамин Яковлевич Тепловые электрические станции : учеб. для вузов [Текст] / под ред. В. Я. Гиршфельда .- 3-е изд., перераб. и доп..- Москва, Энергоатомиздат, 1987.- 326с., ил.	Электронный ресурс

Доступ обучающихся к ЭР НТБ СамГТУ (elib.samgtu.ru) осуществляется посредством электронной информационной образовательной среды университета и сайта НТБ СамГТУ по логину и паролю.

6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения

При проведении лекционных занятий используется мультимедийное оборудование.

Организовано взаимодействие обучающегося и преподавателя с использованием электронной ин-формационной образовательной среды университета.

№ п/п	Наименование	Производитель	Способ распространения
1	Мобильное приложение "Свойства пара"	не указан (Отечественный)	Свободно распространяемое

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», профессиональных баз данных, информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование	Краткое описание	Режим доступа
1	консультационный центр Matlab и Simulink	http://matlab.exponenta.ru	Ресурсы открытого доступа

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Лекционные занятия

Очно: для проведения занятий требуется аудитория, оснащенная компьютером с доступом в интернет и проектором.

Дистанционно: наличие компьютера с доступом в интернет, организация онлайн конференций

Практические занятия

Очно: для проведения занятий требуется аудитория, оснащенная компьютерами с доступом в интернет и программным обеспечением Microsoft Office, OpneModelica и проектором.

Дистанционно: наличие компьютера с доступом в интернет, организация онлайн конференций

Самостоятельная работа

Очно: для проведения занятий требуется аудитория, оснащенная компьютерами с

доступом в интернет и программным обеспечением Microsoft Office, OpneModelica и проектором.

Дистанционно: наличие компьютера с доступом в интернет, организация онлайн конференций

9. Методические материалы

Методические рекомендации при работе на лекции

До лекции студент должен просмотреть учебно-методическую и научную литературу по теме лекции с тем, чтобы иметь представление о проблемах, которые будут разбираться в лекции.

Перед началом лекции обучающимся сообщается тема лекции, план, вопросы, подлежащие рассмотрению, доводятся основные литературные источники. Весь учебный материал, сообщаемый преподавателем, должен не просто прослушиваться. Он должен быть активно воспринят, т.е. услышан, осмыслен, понят, зафиксирован на бумаге и закреплен в памяти. Приступая к слушанию нового учебного материала, полезно мысленно установить его связь с ранее изученным. Следя за техникой чтения лекции (акцент на существенном, повышение тона, изменение ритма, пауза и т.п.), необходимо вслед за преподавателем уметь выделять основные категории, законы и определять их содержание, проблемы, предполагать их возможные решения, доказательства и выводы. Осуществляя такую работу, можно значительно облегчить себе понимание учебного материала, его конспектирование и дальнейшее изучение.

Конспектирование лекции позволяет обработать, систематизировать и лучше сохранить полученную информацию с тем, чтобы в будущем можно было восстановить в памяти основные, содержательные моменты. Типичная ошибка, совершаемая обучающимся, дословное конспектирование речи преподавателя. Как правило, при записи «слово в слово» не остается времени на обдумывание, анализ и синтез информации. Отбирая нужную информацию, главные мысли, проблемы, решения и выводы, необходимо сокращать текст, строить его таким образом, чтобы потом можно было легко в нем разобраться. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых можно будет делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. С окончанием лекции работа над конспектом не может считаться завершенной. Нужно еще восстановить отдельные места, проверить, все ли понятно, уточнить что-то на консультации и т.п. с тем, чтобы конспект мог быть использован в процессе подготовки к практическим занятиям, зачету, экзамену. Конспект лекции – незаменимый учебный документ, необходимый для самостоятельной работы.

Методические рекомендации при подготовке и работе на практическом занятии

Практические занятия по дисциплине проводятся в целях выработки практических умений и приобретения навыков в решении профессиональных задач.

Рекомендуется следующая схема подготовки к практическому занятию:

1. ознакомление с планом практического занятия, который отражает содержание предложенной темы;
2. проработка конспекта лекции;
3. чтение рекомендованной литературы;
4. подготовка ответов на вопросы плана практического занятия;
5. выполнение тестовых заданий, задач и др.

Подготовка обучающегося к практическому занятию производится по вопросам, разработанным для каждой темы практических занятий и (или) лекций. В процессе подготовки к практическим занятиям, необходимо обратить особое внимание на самостоятельное изучение рекомендованной литературы.

Работа студентов во время практического занятия осуществляется на основе заданий, которые

выдаются обучающимся в начале или во время занятия. На практических занятиях приветствуется активное участие в обсуждении конкретных ситуаций, способность на основе полученных знаний находить наиболее эффективные решения поставленных проблем, уметь находить полезный дополнительный материал по тематике занятий. Обучающимся необходимо обращать внимание на основные понятия, алгоритмы, определять практическую значимость рассматриваемых вопросов. На практических занятиях обучающиеся должны уметь выполнить расчет по заданным параметрам или выработать определенные решения по обозначенной проблеме. Задания могут быть групповые и индивидуальные. В зависимости от сложности предлагаемых заданий, целей занятия, общей подготовки обучающихся преподаватель может подсказать обучающимся алгоритм решения или первое действие, или указать общее направление рассуждений. Полученные результаты обсуждаются с позиций их адекватности или эффективности в рассмотренной ситуации.

Методические рекомендации при работе на лабораторном занятии

Проведение лабораторной работы делится на две условные части: теоретическую и практическую.

Необходимыми структурными элементами занятия являются проведение лабораторной работы, проверка усвоенного материала, включающая обсуждение теоретических основ выполняемой работы.

Перед лабораторной работой, как правило, проводится технико-теоретический инструктаж по использованию необходимого оборудования. Преподаватель корректирует деятельность обучающегося в процессе выполнения работы (при необходимости). После завершения лабораторной работы подводятся итоги, обсуждаются результаты деятельности.

Возможны следующие формы организации лабораторных работ: фронтальная, групповая и индивидуальная. При фронтальной форме выполняется одна и та же работа (при этом возможны различные варианты заданий). При групповой форме работа выполняется группой (командой). При индивидуальной форме обучающимися выполняются индивидуальные работы.

По каждой лабораторной работе имеются методические указания по их выполнению, включающие необходимый теоретический и практический материал, содержащие элементы и последовательную инструкцию по проведению выбранной работы, индивидуальные варианты заданий, требования и форму отчетности по данной работе.

Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы

Организация самостоятельной работы обучающихся ориентируется на активные методы овладения знаниями, развитие творческих способностей, переход от поточного к индивидуализированному обучению с учетом потребностей и возможностей обучающегося.

Самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной литературой, материалами периодических изданий и Интернета является наиболее эффективным методом получения дополнительных знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала. Все новые понятия по изучаемой теме необходимо выучить наизусть и внести в глоссарий, который целесообразно вести с самого начала изучения курса.

Самостоятельная работа реализуется:

- непосредственно в процессе аудиторных занятий;
- на лекциях, практических занятиях;
- в контакте с преподавателем вне рамок расписания;
- на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.;
- в библиотеке, дома, на кафедре при выполнении обучающимся учебных и практических задач.

Эффективным средством осуществления обучающимся самостоятельной работы является электронная информационно-образовательная среда университета, которая обеспечивает доступ к учебным планам, рабочим программам дисциплин (модулей), практик, к изданиям электронных библиотечных систем.

10. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств представлен в приложении № 1.

Приложение 1 к рабочей программе дисциплины
Б1.В.04.17 «Расчет тепловых схем и проектирование тепловых электростанций»

Фонд оценочных средств
по дисциплине
Б1.В.04.17 «Расчет тепловых схем и проектирование тепловых электростанций»

Код и направление подготовки (специальность)	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Направленность (профиль)	Технология топливно-энергетических ресурсов на объектах тепловой и электрической генерации
Квалификация	Бакалавр
Форма обучения	Очная
Год начала подготовки	2023
Институт / факультет	Теплоэнергетический факультет (ТЭФ)
Выпускающая кафедра	кафедра "Тепловые электрические станции"
Кафедра-разработчик	кафедра "Тепловые электрические станции"
Объем дисциплины, ч. / з.е.	144 / 4
Форма контроля (промежуточная аттестация)	Зачет с оценкой

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (знать, уметь, владеть, соотнесенные с индикаторами достижения компетенции)
Профессиональные компетенции			
Не предусмотрено	ПК-4 Способен участвовать в сборе и анализе исходных данных для проектирования элементов оборудования и объектов деятельности в целом с использованием нормативной документации и современных методов поиска и обработки информации	ПК-4.1 Знать основные законы естествознания, методы теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	Знать основные законы естествознания, методы теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности
		ПК-4.2 Уметь выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, осуществлять сбор и анализ исходных данных для проектирования оборудования	Уметь выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, осуществлять сбор и анализ исходных данных для проектирования оборудования
		ПК-4.3 Владеть навыками применения основных законов естествознания, методов теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	Владеть навыками применения основных законов естествознания, методов теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности

	ПК-9 Способен проводить расчеты по типовым методикам, проектировать теплоэнергетическое оборудование с использованием стандартных средств автоматизации проектирования в соответствии с техническим заданием	ПК-9.1 Знать принципиальные тепловые схемы тепловых электростанций; современные методы расчета принципиальных тепловых схем ТЭС	Знать принципиальные тепловые схемы тепловых электростанций; современные методы расчета принципиальных тепловых схем ТЭС
		ПК-9.2 Уметь выполнять расчеты оборудования, входящего в состав тепловой электростанций	Уметь выполнять расчеты оборудования, входящего в состав тепловой электростанций
		ПК-9.3 Владеть современными методами расчета оборудования и тепловых схем электростанций	Владеть современными методами расчета оборудования и тепловых схем электростанций

Матрица соответствия оценочных средств запланированным результатам обучения

Код индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства	Текущий контроль успеваемости	Промежуточная аттестация
Тепловые схемы КЭС				
ПК-4.1 Знать основные законы естествознания, методы теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	**Знать** основные законы естествознания, методы теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	Опрос	Да	Да
ПК-4.2 Уметь выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, осуществлять сбор и анализ исходных данных для проектирования оборудования	**Уметь** выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, осуществлять сбор и анализ исходных данных для проектирования оборудования	задачи	Да	Да

ПК-4.3 Владеть навыками применения основных законов естествознания, методов теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	**Владеть** навыками применения основных законов естествознания, методов теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	зачёт	Да	Да
ПК-9.1 Знать принципиальные тепловые схемы тепловых электростанций; современные методы расчета принципиальных тепловых схем ТЭС	**Знать** принципиальные тепловые схемы тепловых электростанций; современные методы расчета принципиальных тепловых схем ТЭС	Опрос	Да	Да
ПК-9.2 Уметь выполнять расчеты оборудования, входящего в состав тепловой электростанций	**Уметь** выполнять расчеты оборудования, входящего в состав тепловой электростанций	задачи	Да	Да
ПК-9.3 Владеть современными методами расчета оборудования и тепловых схем электростанций	**Владеть** современными методами расчета оборудования и тепловых схем электростанций	зачёт	Да	Да
Тепловые схемы ТЭЦ				
ПК-4.1 Знать основные законы естествознания, методы теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	**Знать** основные законы естествознания, методы теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	Опрос	Да	Да
ПК-4.2 Уметь выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, осуществлять сбор и анализ исходных данных для проектирования оборудования	**Уметь** выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, осуществлять сбор и анализ исходных данных для проектирования оборудования	задачи	Да	Да
ПК-4.3 Владеть навыками применения основных законов естествознания, методов теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	**Владеть** навыками применения основных законов естествознания, методов теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	зачёт	Да	Да

ПК-9.1 Знать принципиальные тепловые схемы тепловых электростанций; современные методы расчета принципиальных тепловых схем ТЭС	**Знать** принципиальные тепловые схемы тепловых электростанций; современные методы расчета принципиальных тепловых схем ТЭС	Опрос	Да	Да
ПК-9.2 Уметь выполнять расчеты оборудования, входящего в состав тепловой электростанций	**Уметь** выполнять расчеты оборудования, входящего в состав тепловой электростанций	задачи	Да	Да
ПК-9.3 Владеть современными методами расчета оборудования и тепловых схем электростанций	**Владеть** современными методами расчета оборудования и тепловых схем электростанций	зачёт	Да	Да
Перспективные технологии в энергетике				
ПК-4.1 Знать основные законы естествознания, методы теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	**Знать** основные законы естествознания, методы теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	Опрос	Да	Да
ПК-4.2 Уметь выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, осуществлять сбор и анализ исходных данных для проектирования оборудования	**Уметь** выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, осуществлять сбор и анализ исходных данных для проектирования оборудования	задачи	Да	Да
ПК-4.3 Владеть навыками применения основных законов естествознания, методов теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	**Владеть** навыками применения основных законов естествознания, методов теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	зачёт	Да	Да
ПК-9.1 Знать принципиальные тепловые схемы тепловых электростанций; современные методы расчета принципиальных тепловых схем ТЭС	**Знать** принципиальные тепловые схемы тепловых электростанций; современные методы расчета принципиальных тепловых схем ТЭС	Опрос	Да	Да

ПК-9.2 Уметь выполнять расчеты оборудования, входящего в состав тепловой электростанций	**Уметь** выполнять расчеты оборудования, входящего в состав тепловой электростанций	задачи	Да	Да
ПК-9.3 Владеть современными методами расчета оборудования и тепловых схем электростанций	**Владеть** современными методами расчета оборудования и тепловых схем электростанций	зачёт	Да	Да
Проектирование ТЭС				
ПК-4.1 Знать основные законы естествознания, методы теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	**Знать** основные законы естествознания, методы теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	Опрос	Да	Да
ПК-4.2 Уметь выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, осуществлять сбор и анализ исходных данных для проектирования оборудования	**Уметь** выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, осуществлять сбор и анализ исходных данных для проектирования оборудования	задачи	Да	Да
ПК-4.3 Владеть навыками применения основных законов естествознания, методов теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	**Владеть** навыками применения основных законов естествознания, методов теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	зачёт	Да	Да
ПК-9.1 Знать принципиальные тепловые схемы тепловых электростанций; современные методы расчета принципиальных тепловых схем ТЭС	**Знать** принципиальные тепловые схемы тепловых электростанций; современные методы расчета принципиальных тепловых схем ТЭС	Опрос	Да	Да
ПК-9.2 Уметь выполнять расчеты оборудования, входящего в состав тепловой электростанций	**Уметь** выполнять расчеты оборудования, входящего в состав тепловой электростанций	задачи	Да	Да
ПК-9.3 Владеть современными методами расчета оборудования и тепловых схем электростанций	**Владеть** современными методами расчета оборудования и тепловых схем электростанций	зачёт	Да	Да

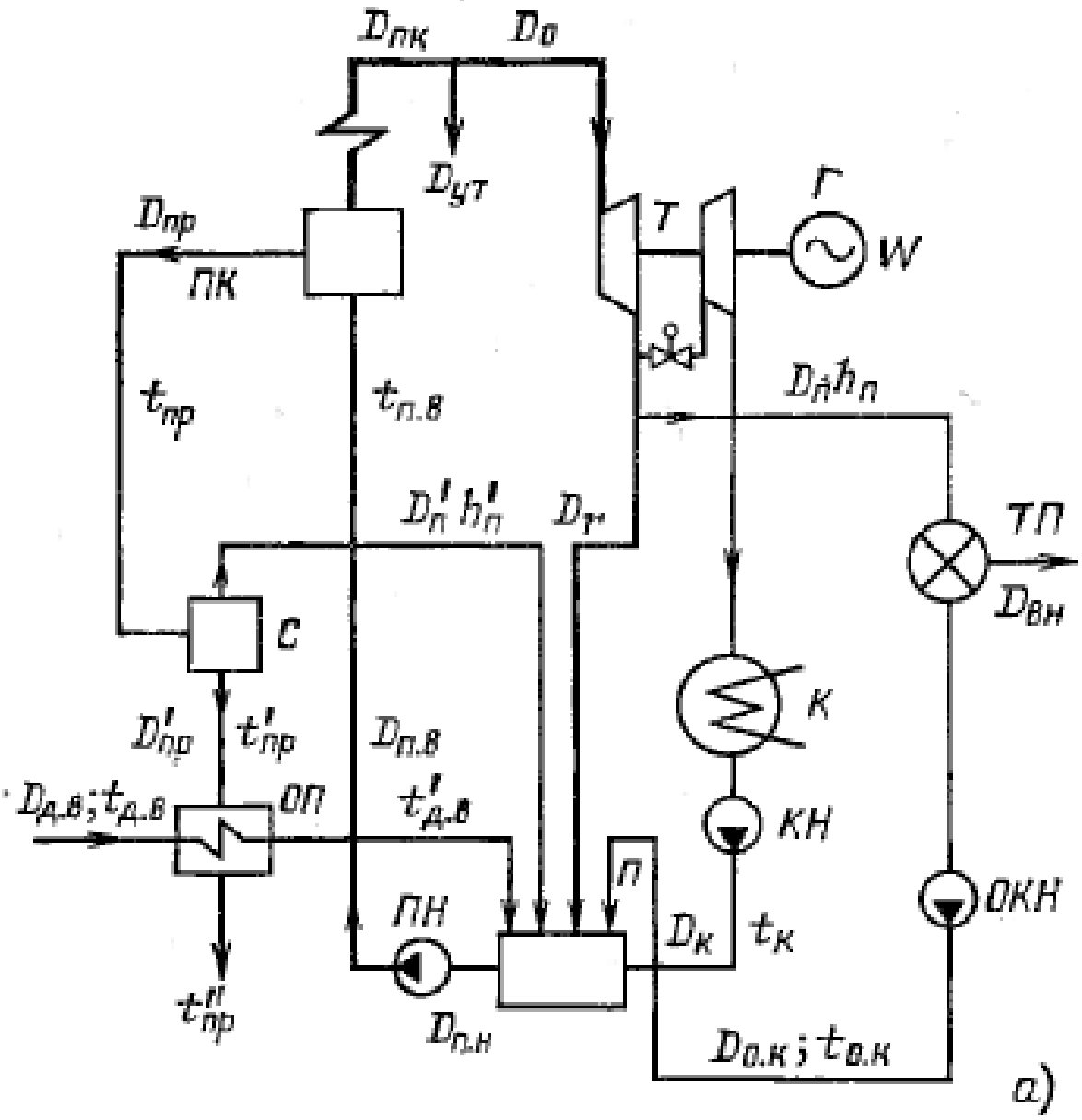
Организация строительства ТЭС				
ПК-4.1 Знать основные законы естествознания, методы теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	**Знать** основные законы естествознания, методы теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	Опрос	Да	Да
ПК-4.2 Уметь выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, осуществлять сбор и анализ исходных данных для проектирования оборудования	**Уметь** выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, осуществлять сбор и анализ исходных данных для проектирования оборудования	задачи	Да	Да
ПК-4.3 Владеть навыками применения основных законов естествознания, методов теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	**Владеть** навыками применения основных законов естествознания, методов теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	зачёт	Да	Да
ПК-9.1 Знать принципиальные тепловые схемы тепловых электростанций; современные методы расчета принципиальных тепловых схем ТЭС	**Знать** принципиальные тепловые схемы тепловых электростанций; современные методы расчета принципиальных тепловых схем ТЭС	Опрос	Да	Да
ПК-9.2 Уметь выполнять расчеты оборудования, входящего в состав тепловой электростанций	**Уметь** выполнять расчеты оборудования, входящего в состав тепловой электростанций	задачи	Да	Да
ПК-9.3 Владеть современными методами расчета оборудования и тепловых схем электростанций	**Владеть** современными методами расчета оборудования и тепловых схем электростанций	зачёт	Да	Да
Монтаж оборудования ТЭС				
ПК-4.1 Знать основные законы естествознания, методы теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	**Знать** основные законы естествознания, методы теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	Опрос	Да	Да

ПК-4.2 Уметь выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, осуществлять сбор и анализ исходных данных для проектирования оборудования	**Уметь** выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, осуществлять сбор и анализ исходных данных для проектирования оборудования	задачи	Да	Да
ПК-4.3 Владеть навыками применения основных законов естествознания, методов теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	**Владеть** навыками применения основных законов естествознания, методов теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	зачёт	Да	Да
ПК-9.1 Знать принципиальные тепловые схемы тепловых электростанций; современные методы расчета принципиальных тепловых схем ТЭС	**Знать** принципиальные тепловые схемы тепловых электростанций; современные методы расчета принципиальных тепловых схем ТЭС	Опрос	Да	Да
ПК-9.2 Уметь выполнять расчеты оборудования, входящего в состав тепловой электростанций	**Уметь** выполнять расчеты оборудования, входящего в состав тепловой электростанций	задачи	Да	Да
ПК-9.3 Владеть современными методами расчета оборудования и тепловых схем электростанций	**Владеть** современными методами расчета оборудования и тепловых схем электростанций	зачёт	Да	Да
Подготовка к зачету				
ПК-4.1 Знать основные законы естествознания, методы теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	**Знать** основные законы естествознания, методы теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	Опрос	Да	Да
ПК-4.2 Уметь выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, осуществлять сбор и анализ исходных данных для проектирования оборудования	**Уметь** выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, осуществлять сбор и анализ исходных данных для проектирования оборудования	задачи	Да	Да

ПК-4.3 Владеть навыками применения основных законов естествознания, методов теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	**Владеть** навыками применения основных законов естествознания, методов теоретического и экспериментального исследования для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	зачёт	Да	Да
ПК-9.1 Знать принципиальные тепловые схемы тепловых электростанций; современные методы расчета принципиальных тепловых схем ТЭС	**Знать** принципиальные тепловые схемы тепловых электростанций; современные методы расчета принципиальных тепловых схем ТЭС	Опрос	Да	Да
ПК-9.2 Уметь выполнять расчеты оборудования, входящего в состав тепловой электростанций	**Уметь** выполнять расчеты оборудования, входящего в состав тепловой электростанций	задачи	Да	Да
ПК-9.3 Владеть современными методами расчета оборудования и тепловых схем электростанций	**Владеть** современными методами расчета оборудования и тепловых схем электростанций	зачёт	Да	Да

Выполнить расчет тепловой схемы методом матричной формализации
Исходные данные:

1. Температура перегретого пара $t_{пе}$=555 °С.
2. Давление перегретого пара $p_{пе}$=14 МПа.
3. Давление в барабане котла $p_{пб}$=16 МПа.
4. Расход свежего пара D_0 = 70+N кг/с.
5. Расход тепла на теплового потребителя $Q_{тп}$ = 20+N МВт.
6. Давление пара на теплового потребителя $p_{тп}$=1,3 МПа.
7. Энтальпия возвращаемого конденсата $h_{ок}$ = 418,7 кДж/кг.
8. Давление в конденсаторе $p_{к}$=0,005 МПа.
9. Давление в деаэраторе $p_{д}$=0,6 МПа.
10. Давление на выходе конденсатных насосов $p_{кн}$=0,8 МПа.
11. Давление на выходе питательного насоса $p_{пн}$=18 МПа.
12. Расход продувочной воды $D_{пр}$=3% D_0.
13. Давление в сепараторе непрерывной продувки $p_{с}$=0,7 МПа.
14. Температура добавочной воды $t_{дв}$=20°С.
15. Температурный напор охладителя продувки $\Delta t_{пр}$=10 °С.
16. Относительный внутренний КПД турбины η_{oi}=0,8.
17. Доля утечек $D_{ут}$=10% D_0.


$D_{пк}$
D_0
$D_{ут}$
$D_{пр}$
ПК
$t_{пр}$
$t_{п.в}$
Т
Г
W
$D_п h_п$
$D'_п h'_п$
$D_г$
ТП
$D_{вн}$
С
$D'_{пр}$
$t'_{пр}$
$D_{п.в}$
К
$D_{д.в}; t_{д.в}$
ОП
$t'_{д.в}$
КН
П
ОКН
ПН
$D_к$
$t_к$
$t''_{пр}$
$D_{п.н}$
$D_{о.к}; t_{в.к}$

а)

Расчет тепловой схемы, представленной на рисунке выше, можно выполнить представив уравнения теплового и материального баланса в виде матрицы.

Данный подход описан в статье [] и называется методологией матричной формализации.

Суть методологии заключается в составлении замкнутой системы уравнений, описывающих балансы теплоты, мощности и расходов пара, воды и конденсата применительно к данной тепловой схеме.

В данной задачи требуется составить и решить такую систему для тепловой схемы, представленной выше.

Запишем для схемы следующие уравнения:

Уравнение для определения мощности N турбоустановки, кВт:

$$D_0 \cdot H_i^{\text{ЦВД}} + D_{\text{к}} \cdot H_i^{\text{ЦНД}} = N,$$

где $D_{\text{к}}$ – расход пара в конденсатор, кг/с,

$H_i^{\text{ЦВД}}$, $H_i^{\text{ЦНД}}$ – срабатываемые теплоперепады ЦВД и ЦНД, кДж/кг.

Уравнение теплового баланса теплового потребителя, кВт:

$$D_{\text{п}} \cdot (h_{\text{п}} - h_{\text{о.к}}) = Q_{\text{тп}},$$

где $h_{\text{п}}$ - энтальпия отбираемого пара на выходе из ЦВД, кДж/кг,

$D_{\text{п}}$ – расход пара на теплового потребителя, кг/с.

Уравнения материального и теплового баланса сепаратора непрерывной продувки:

$$D'_{\text{пр}} + D'_{\text{п}} = D_{\text{пр}},$$

$$D'_{\text{пр}} \cdot h'_{\text{пр}} + D'_{\text{п}} \cdot h'_{\text{п}} = D_{\text{пр}} \cdot h_{\text{пр}},$$

где $D'_{\text{пр}}$, $h'_{\text{пр}}$ – расход и энтальпия продувочной воды из сепаратора непрерывной продувки в теплообменник подогрева добавочной воды, кг/с, кДж/кг;

$D'_{\text{п}}$, $h'_{\text{п}}$ – расход и энтальпия пара вторичного вскипания, кг/с, кДж/кг;

Уравнение материального баланса утечек и добавочной воды:

$$D_{\text{ут}} + D'_{\text{пр}} = D_{\text{дв}}.$$

Уравнение теплового баланса теплообменника подогрева добавочной воды:

$$D_{\text{дв}} \cdot c_p \cdot \left(t'_{\text{дв}} - t_{\text{дв}}\right) = D'_{\text{пр}} \cdot (h'_{\text{пр}} - h"_{\text{пр}}),$$

где $c_p = 4{,}187$ кДж/кгК – теплоемкость воды;

$t'_{\text{дв}}$ – температура добавочной воды на выходе из теплообменника, °С;

$h"_{\text{пр}} \approx (t_{\text{дв}} + \Delta t_{\text{пр}}) \cdot c_p$ - энтальпия продувочной воды на выходе из теплообменника, кДж/кг.

Уравнения материального и теплового баланса регенеративного подогревателя смеивающего типа (деаэратора):

$$D'_{\text{п}} + D_r + D_{\text{к}} + D_{\text{п}} = D_{\text{пв}},$$

$$D'_{\text{п}} \cdot h'_{\text{п}} + D_r \cdot h_{\text{п}} + D_{\text{к}} \cdot h_{\text{к}} + D_{\text{п}} \cdot h_{\text{ок}} = D_{\text{пв}} \cdot h_{\text{пв}},$$

где D_r – расход греющего пара в регенеративный подогреватель, кг/с;

$h_{\text{к}}$ - энтальпия основного конденсата из конденсатора, кДж/кг;

$D_{\text{пв}}$, $h_{\text{пв}}$ - расход и энтальпия питательной воды, кг/с, кДж/кг.

Прежде чем составлять систему уравнений, рассмотрим способ решения в общем виде. Допустим имеется система, состоящая из трех уравнений с тремя неизвестными x_1, x_2, x_3:

$$\begin{cases} a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + a_{13} \cdot x_3 = b_1, \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + a_{23} \cdot x_3 = b_2, \\ a_{31} \cdot x_1 + a_{32} \cdot x_2 + a_{33} \cdot x_3 = b_3. \end{cases}$$

В матричном виде система может быть представлена:

$$A \cdot X = B,$$

или

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}.$$

Решение системы уравнений может быть получено методом обращения матрицы. В итоге матрица со значениями неизвестных x_1, x_2, x_3 находится по выражению:

$$X = A^{(-1)} \cdot B,$$

где $A^{(-1)}$ – обратная матрица коэффициентов A,

B – матрица заданных нагрузок или расходов.

Главным условием решения системы уравнений является ее замкнутость, т.е. количество неизвестных должно быть равно количеству уравнений. Вторым условием является необходимость преобразования всех описанных выше уравнений к уравнениям вида:

$$a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \cdots + a_n \cdot x_n = b \quad .$$

Определим из записанных балансовых уравнений неизвестные величины:

$$N, D_r, D_{\text{п}}, D_{\text{к}}, D'_{\text{пр}}, D'_{\text{п}}, D_{\text{дв}}, t'_{\text{дв}}.$$

Для упрощения и уменьшения количества уравнений в системе, отдельно определим следующие величины:

$H_i^{\text{ЦВД}} = 517$ кДж/кг, $H_i^{\text{ЦНД}} = 698$ кДж/кг - срабатываемые теплоперепады ЦВД и ЦНД определяются с в результате построения процесса расширения в турбине в hs-диаграмме;

$h_{\text{п}} = 2958$ кДж/кг - энтальпия отбираемого пара на выходе из ЦВД;

$h_{\text{пр}} = 1649$ кДж/кг -энтальпия котловой воды при давлении в барабане;

$h'_{\text{п}} = 2762$ кДж/кг - энтапльпия пара вторичного вскипания в сепараторе непрерывной продувки;

$h'_{\text{пр}} = 697$ кДж/кг – энтальпия продувочной воды из сепаратора непрерывной продувки в теплообменник подогрева добавочной воды;

$h_{\text{пв}} = 670$ кДж/кг – энтальпия питательной воды;

$h_{\text{к}} = 137$ кДж/кг - энтальпия основного конденсата из конденсатора;

$D_{\text{пр}} = 2{,}1$ кг/с – расход продувочной воды;

$D_{\text{ут}} = 7$ кг/с – утечки.

Преобразуем уравнения для последующего составления матрицы:

$$N \frac{1}{H_i^{\text{ЦВД}}} - D_{\text{к}} \cdot \frac{H_i^{\text{ЦНД}}}{H_i^{\text{ЦВД}}} = D_0,$$

$$D_{\text{п}} \cdot (h_{\text{п}} - h_{\text{о.к}}) = Q_{\text{тп}},$$

$$D'_{\text{пр}} + D'_{\text{п}} = D_{\text{пр}},$$

$$D'_{\text{пр}} \cdot \frac{h'_{\text{пр}}}{h_{\text{пр}}} + D'_{\text{п}} \cdot \frac{h'_{\text{п}}}{h_{\text{пр}}} = D_{\text{пр}},$$

$$D_{\text{дв}} - D'_{\text{пр}} = D_{\text{ут}},$$

Уравнение теплового баланса теплообменника подогрева добавочной воды преобразуем следующим образом:

Обозначим $c_p \cdot t'_{\text{дв}} \approx h'_{\text{дв}}$, и $c_p \cdot t_{\text{дв}} \approx h_{\text{дв}}$, тогда $h'_{\text{дв}} - h_{\text{дв}} = \Delta h_{\text{дв}}$. Таким образом, исключи из списка неизвестных $t'_{\text{дв}}$ и добавим $\Delta h_{\text{дв}}$ и $h'_{\text{дв}}$ для удобства составления уравнения теплового баланса теплообменника подогрева добавочной воды.

$$\left(D_{\text{ут}} - D'_{\text{пр}}\right) \cdot \Delta h_{\text{дв}} - D'_{\text{пр}} \cdot \left(h'_{\text{пр}} - h''_{\text{пр}}\right) = 0,$$

При этом из уравнения теплового баланса сепаратора непрерывной продувки следует:

$$D'_{\text{пр}} = D_{\text{пр}} \frac{h_{\text{пр}} - h'_{\text{п}}}{h'_{\text{пр}} - h'_{\text{п}}},$$

тогда, уравнение теплового баланса теплообменника подогрева добавочной воды:

$$\left(D_{\text{ут}} + D_{\text{пр}} \frac{h_{\text{пр}} - h'_{\text{п}}}{h'_{\text{пр}} - h'_{\text{п}}}\right) \cdot \Delta h_{\text{дв}} - D'_{\text{пр}} \cdot \left(h'_{\text{пр}} - h''_{\text{пр}}\right) = 0,$$

$$h'_{\text{дв}} \cdot \frac{1}{c_p} - \Delta h_{\text{дв}} \cdot \frac{1}{c_p} = t_{\text{дв}},$$

$$D'_{\text{п}} + D_r + D_{\text{к}} + D_{\text{п}} + D_{\text{дв}} = D_{\text{пв}},$$

$$D'_{\text{п}} \cdot \frac{h'_{\text{п}}}{h_{\text{пв}}} + D_r \cdot \frac{h_{\text{п}}}{h_{\text{пв}}} + D_{\text{к}} \cdot \frac{h_{\text{к}}}{h_{\text{пв}}} + D_{\text{п}} \cdot \frac{h_{\text{ок}}}{h_{\text{пв}}} + D_{\text{дв}} \cdot \frac{h'_{\text{дв}}}{h_{\text{пв}}} = D_{\text{пв}},$$

Таким образом, получаем замкнутую систему из 9 уравнений необходимого вида в состав которых входит 9 неизвестных N, D_r, $D_{\text{п}}$, $D_{\text{к}}$, $D'_{\text{пр}}$, $D'_{\text{п}}$, $D_{\text{дв}}$, $\Delta h_{\text{дв}}$, $h'_{\text{дв}}$.

Из полученных уравнений составляется матрица коэффициентов A и матрица заданных нагрузок или расходов B.

Матрица коэффициентов A:

$$A = \begin{bmatrix} N & D_r & D_{\text{п}} & D_{\text{к}} & D'_{\text{пр}} & D'_{\text{п}} & D_{\text{дв}} & \Delta h_{\text{дв}} & h'_{\text{дв}} \\ \frac{1}{H_i^{\text{ЦВД}}} & 0 & 0 & -\frac{H_i^{\text{ЦНД}}}{H_i^{\text{ЦВД}}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_{\text{п}} - h_{\text{о.к}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{h'_{\text{пр}}}{h_{\text{пр}}} & \frac{h'_{\text{п}}}{h_{\text{пр}}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -h'_{\text{пр}} + h''_{\text{пр}} & 0 & 0 & D_{\text{ут}} + D_{\text{пр}} \frac{h_{\text{пр}} - h'_{\text{п}}}{h'_{\text{пр}} - h'_{\text{п}}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{c_p} & \frac{1}{c_p} \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{h_{\text{ок}}}{h_{\text{пв}}} & \frac{h_{\text{п}}}{h_{\text{пв}}} & \frac{h_{\text{к}}}{h_{\text{пв}}} & 0 & \frac{h'_{\text{п}}}{h_{\text{пв}}} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} N & D_r & D_{\text{п}} & D_{\text{к}} & D'_{\text{пр}} & D'_{\text{п}} & D_{\text{дв}} & \Delta h_{\text{дв}} & h'_{\text{дв}} \\ 0{,}002 & 0 & 0 & -1{,}35 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2539 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0{,}423 & 1{,}675 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -571 & 0 & 0 & 8{,}132 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0{,}24 & 0{,}24 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 4{,}415 & 4{,}122 & 0{,}204 & 0 & 0{,}625 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Матрица заданных нагрузок или расходов B:

$$B = \begin{bmatrix} D_0 & 70 \\ Q_{\text{тп}} & 20 \cdot 10^3 \\ D_{\text{пр}} & 2{,}1 \\ D_{\text{пр}} & 2{,}1 \\ D_{\text{ут}} & 7 \\ 0 & 0 \\ t_{\text{дв}} & 20 \\ D_{\text{пв}} & 79{,}1 \\ D_{\text{пв}} & 79{,}1 \end{bmatrix}$$

Получение обратной матрицы $A^{(-1)}$ следует выполнять в специализированных программных продуктах или с помощью функции МОБР() Microsoft Excel, произведение матриц $A^{(-1)} \cdot B$ с помощью функции МУМНОЖ().

В итоге получаем матрицу результатов расчета X:

$$X = \begin{bmatrix} N & 74028 \\ D_r & 7{,}91 \\ D_{\text{п}} & 7{,}87 \\ D_{\text{к}} & 54{,}2 \\ D'_{\text{пр}} & 1{,}13 \\ D'_{\text{п}} & 0{,}97 \\ D_{\text{дв}} & 8{,}13 \\ \Delta h_{\text{дв}} & 79{,}5 \\ h'_{\text{дв}} & 163{,}3 \end{bmatrix}$$

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций

На этапе промежуточной аттестации используется система оценки успеваемости обучающихся, которая позволяет преподавателю оценить уровень освоения материала обучающимися.

Форма оценки знаний: оценка - 5 «отлично»; 4 «хорошо»; 3 «удовлетворительно»; 2 «неудовлетворительно». Лабораторные работы, практические занятия оцениваются: «зачет», «незачет». Возможно использование балльно-рейтинговой оценки.

Шкала оценивания

«Зачет» – выставляется, если сформированность заявленных индикаторов достижения компетенции на 50% и более оценивается критериями не ниже «удовлетворительно». Выставляется, когда обучающийся показывает хорошие знания изученного учебного материала; самостоятельно, логично и последовательно излагает и интерпретирует материалы учебного курса; полностью раскрывает смысл предлагаемого вопроса; владеет основными терминами и понятиями изученного курса; показывает умение переложить теоретические знания на предполагаемый практический опыт.

«Отлично» – выставляется, если сформированность заявленных индикаторов достижения компетенции 80% и более оценивается критериями «хорошо» и «отлично», при условии отсутствия критериев «удовлетворительно» и «неудовлетворительно»: студент показал прочные знания основных положений фактического материала, умение самостоятельно решать конкретные практические задачи повышенной сложности, свободно использовать справочную литературу, делать обоснованные выводы из результатов анализа конкретных ситуаций.

«Хорошо» – выставляется, если сформированность заявленных индикаторов достижения компетенции на 60% и более оценивается критериями «хорошо» и «отлично», при условии отсутствия критерия «неудовлетворительно», допускается критерий «удовлетворительно»: обучающийся показал прочные знания основных положений фактического материала, умение самостоятельно решать конкретные практические задачи, предусмотренные рабочей программой, ориентироваться в рекомендованной справочной литературе, умеет правильно оценить полученные результаты анализа конкретных ситуаций.

«Удовлетворительно» – выставляется, если сформированность заявленных индикаторов достижения компетенции 40% и более оценивается критериями «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично»: обучающийся показал знание основных положений фактического материала, умение получить с помощью преподавателя правильное решение конкретной практической задачи из числа предусмотренных рабочей программой, знакомство с рекомендованной справочной литературой.

«Неудовлетворительно», «незачет» – выставляется, если сформированность заявленных индикаторов достижения компетенции менее чем 40% оценивается критериями «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично»: при ответе обучающегося выявились существенные пробелы в знаниях основных положений фактического материала, неумение с помощью преподавателя получить правильное решение конкретной практической задачи из числа предусмотренных рабочей программой учебной дисциплины.

Соответствие критериев оценивания сформированности планируемых результатов обучения выставляемым оценкам представлено в табл. П1.

Таблица П1

Интегральная оценка

Критерии	Традиционная оценка	Балльно-рейтинговая оценка
5	5	86-100
4	4	61-85
3	3	51-60
2 и 1	2, незачет	0-50
5, 4, 3	Зачет	51-100

Обучающиеся обязаны сдавать все задания в сроки, установленные преподавателем.