

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ВШТЭ

## Рабочая программа дисциплины

**Б1.В.02**

Парогазовые энергетические установки в производстве электрической и тепловой энергии

Учебный план: ФГОС3++zm130401-2\_20-13.plx

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

Направление подготовки:  
(специальность) 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки: Технология производства электрической и тепловой энергии  
(специализация)

Уровень образования: магистратура

Форма обучения: заочная

### План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)		Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоёмкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
		Лекции	Практ. занятия				
2	УП	12	16	98	18	4	Экзамен, Курсовой проект
	РПД	12	16	98	18	4	
Итого	УП	12	16	98	18	4	
	РПД	12	16	98	18	4	

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, утверждённым приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.2018 г. № 146

Составитель (и):

Доктор технических наук, профессор

Барановский В.В.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой теплосиловых установок и тепловых двигателей

Злобин В.Г.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Злобин В.Г.

Методический отдел:

Смирнова В.Г.

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** Сформировать компетенции обучающегося в области теплоэнергетики и теплотехники, связанные с разработкой проектных решений по модернизации, улучшению эксплуатационных характеристик парогазовых энергетических установок (ПГУ); с техническими расчетами по оценке эффективности принятых проектных решений, по определению технико-экономических характеристик ПГУ, с использованием прикладного программного обеспечения, параметров парогазовых установок с целью выбора наиболее предпочтительных вариантов серийных и для создания новых ПГУ.

### 1.2 Задачи дисциплины:

- Рассмотреть мероприятия по улучшению эксплуатационных характеристик ПГУ.
- Усвоить основные направления разработки проектных решений по модернизации существующих и созданию перспективных ПГУ.
- Продемонстрировать алгоритм теплового расчета ПГУ, с использованием прикладного программного обеспечения, для определения её параметров, выбора серийной установки и разработки новой.
- Привить способности к самостоятельному приобретению и использованию в практической деятельности новые знания и умения.

### 1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

Спецглавы термодинамики

Тепломассообменное оборудование ТЭС и АЭС

Проблемы энерго- и ресурсосбережения в теплоэнергетике и основные направления развития теплоэнергетики

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### **ПКп-4.2: Готов к обеспечению бесперебойной работы, правильной эксплуатации, ремонту и модернизации оборудования при производстве тепловой и электрической энергии**

**Знать:** особенности рабочего процесса в парогазовых энергетических установках различных схем для выработки электрической и тепловой энергии.

**Уметь:** определять эксплуатационные характеристики парогазовых установок для выработки тепловой и электрической энергии.

**Владеть:** навыками работы с нормативно-технической документацией.

### **ПКп-5.2: Способен к проведению технических расчетов, технико-экономического и стоимостного анализа проектных решений оборудования и технологических процессов производства тепловой и электрической энергии**

**Знать:** методики выполнения расчетов парогазовых установок; конструкции и основные технические показатели оборудования особенности рабочего процесса в парогазовых энергетических установках различных схем для выработки электрической и тепловой энергии.

**Уметь:** производить тепловой расчет парогазовых установок по заданным методикам.

**Владеть:** методами построения современных тепловых схем парогазовых установок.

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа		СР (часы)	Инновац. формы занятий
		Лек. (часы)	Пр. (часы)		
Раздел 1. Газотурбинные установки ПГУ.	2				
Тема 1. Газотурбинные установки современных ПГУ. Классификация газотурбинных установок. Принципиальные тепловые схемы ГТУ. Коэффициент полезного действия газотурбинной установки.		1	1	9	
Тема 2. Эксплуатация энергетических газотурбинных установок. Эксплуатация энергетических газотурбинных установок. Характеристики отечественных и зарубежных энергетических ГТУ.		2	2	11	
Раздел 2. Камеры сгорания газотурбинных установок.					
Тема 3. Камеры сгорания газотурбинных установок. Характеристики топлив, сжигаемых в камерах сгорания ГТУ. Требования к работе камер сгорания ГТУ. Типы камер сгорания энергетических ГТУ. Особенности сжигания топлива в камерах сгорания ГТУ. Одноступенчатые КС энергетических ГТУ. Двухступенчатые камеры сгорания. Каталитические камеры сгорания.		1	2	9	
Тема 4. Горелки для сжигания топлива в камерах сгорания ГТУ. Газодожимные компрессоры топливного газа. Дожигание топлива в среде выходных газов ГТУ.		1	2	11	
Раздел 3. Парогазовые энергетические установки.					
Тема 5. Парогазовые установки. Общие положения. Классификация ПГУ, их преимущества и недостатки. Монарные ПГУ. Бинарные ПГУ. ПГУ со сбросом выходных газов ГТУ в энергетический котел. Цикл ПГУ с газовым регенеративным подогревателем. Цикл ПГУ с котлом-утилизатором (ПГУ-У).		1	2	9	

Тема 6. Парогазовые установки утилизационного типа ПГУ с двухконтурным котлом-утилизатором. Парогазовый блок мощностью 450 МВт Северо-западной ТЭЦ г. Санкт-Петербурга. Парогазовый блок мощностью 325 МВт Ивановские ПГУ. ПГУ с трехконтурным котлом-утилизатором. Принципиальная схема одновальной ПГУ.		1	1	11	
Раздел 4. Расчет парогазовых энергетических установок.					
Тема 7. Расчет тепловой схемы парогазовой установки утилизационного типа. Исходные данные для расчета тепловой схемы парогазовой установки. Типовая схема двухконтурной парогазовой установки. Выбор опорных значений расчетной схемы. Тепловой расчет котла-утилизатора. Выбор типа паровой турбины и расчет процесса расширения пара в ней. Выбор параметров последней ступени и числа цилиндров. Размещение камеры смешения. Расчет процесса расширения пара в паровой турбине.		1	1	9	
Тема 8. Расчет двухконтурной парогазовой установки. Исходные данные. Определение теплофизических характеристик уходящих газов. Расчет котла-утилизатора. Приближенный расчет паровой турбины. Расчет котла-утилизатора при впрыске водяного пара в камеру сгорания		2	2	11	
Раздел 5. Определение экономических показателей парогазовых энергетических установок.					
Тема 9. Расчет экономических показателей паротурбинной, паросиловой и парогазовой установок. Техно-экономические показатели блока для фактического состава работающего оборудования.		1	2	8	
Тема 10. Экономические показатели ПГУ-200 Юго-Западной ТЭЦ Санкт-Петербурга.		1	1	10	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		12	16	98	
Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен, Курсовой проект)		5		13	
<b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>		33		111	

**4.1 Цели и задачи курсовой работы (проекта):** Целью курсового проекта является формирование у студентов навыков проведения расчетов параметров рабочих тел в ГТУ, КУ и ПТ, расхода топлива в КС ГТУ, а также показателей тепловой экономичности ГТУ, ПТУ и ПГУ.

Задача курсового проекта научить студентов составлению уравнений тепловых и материальных балансов элементов тепловой схемы при заданных параметрах окружающей среды, виде и составе топлива, для заданной нагрузки ГТУ провести расчет параметров рабочих тел, расхода топлива, а также показателей тепловой экономичности парогазовой установки.

**4.2 Тематика курсовой работы (проекта):** Тепловой расчет парогазовой установки мощностью 325 МВт.

**4.3 Требования к выполнению и представлению результатов курсовой работы (проекта):**

Проект выполняется индивидуально, с использованием методических указаний и основной и дополнительной литературы по курсу.

Результаты представляются в виде пояснительной записки, объемом 40-50 стр, содержащей следующие обязательные элементы:

1. Тепловой расчет ГТУ.
2. Тепловой расчет камеры сгорания.
3. Тепловой расчет газовой турбины.
4. Расчет мощности ГТУ.
5. Тепловой расчет котла-утилизатора.
6. Тепловой расчет паровой турбины.
7. Расчет технико-экономических показателей ПГУ.

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 5.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения

#### 5.1.1 Показатели оценивания

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения	Наименование оценочного средства
ПКп-4.2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Осуществляет поиск и анализирует современную научно-техническую документацию по вопросам, связанным с разработками и исследованиями в области парогазовых технологий, схемы, конструкции оборудования, технико-экономические показатели ТЭС с парогазовыми блоками.</li> <li>2. Способен вести дискуссию по профессиональной тематике, предложить решения по повышению эффективности ТЭС.</li> <li>3. Демонстрирует навыки расчета эксплуатационных характеристик ПГУ ТЭС по заданной методике.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вопросы устного собеседования.</li> <li>2. Практико-ориентированные задания.</li> <li>3. Курсовой проект.</li> </ol>
ПКп-5.2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поясняет особенности рабочего процесса в парогазовых энергетических установках.</li> <li>2. Способен читать и анализировать технологические схемы ТЭС, провести теплотехнический расчет тепловой схемы ТЭС по заданной методике.</li> <li>3. Демонстрирует навыки расчета парогазовых установок; конструкций и основных технических показателей оборудования.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вопросы устного собеседования.</li> <li>2. Практико-ориентированные задания.</li> <li>3. Курсовой проект.</li> </ol>

#### 5.1.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
5 (отлично)	Отлично знает принцип работы парогазовых установок, знает перечень основного оборудования ТЭС с парогазовыми блоками, знает принцип работы каждого элемента в отдельности, отлично знает сущность физических процессов, протекающих на ТЭС. Способен быстро и грамотно оценить влияние внешних условий на протекание процессов и оценить взаимное влияние процессов друг на друга. Владеет методикой теплового расчета ТЭС с ПГУ. Свободно и уверенно оперирует предоставленной информацией. Способен легко ориентироваться при видоизменении	Обучающийся демонстрирует правильное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения, знание размерностей физических 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.

	заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.	
4 (хорошо)	Хорошо знает принцип работы тепловой электрической станции с парогазовыми блоками, допускает незначительные ошибки при определении основного оборудования ТЭС с ПГУ. Хорошо знает сущность физических процессов, протекающих на ТЭС. Способен оценить влияние внешних условий на протекание процессов и оценить взаимное влияние процессов друг на друга с допущением незначительных ошибок. Способен логично мыслить, способен системно излагать материал, излагает его, не допуская существенных неточностей. Способен эффективно применять теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения. Допускает единичные ошибки в решении проблем.	Обучающийся демонстрирует достаточное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения, знание размерностей физических величин. Допускает незначительные погрешности при применении математического аппарата для реализации плана решения задачи. Получил правильный ответ, но испытывает затруднения с его интерпретацией.
3 (удовлетворительно)	Имеет слабое представление о принципах работы тепловой электрической станции, допускает ошибки при определении основного оборудования ТЭС с ПГУ. Имеет слабое представление о сущности физических процессов, протекающих на ТЭС. Способен применить знания только основного материала, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки. Допускает нарушения логической последовательности в изложении программного материала. Имеются затруднения с выводами. Способен к решению конкретных практических задач из числа предусмотренных рабочей программой.	Обучающийся вникает в смысл условия задачи, понимает план ее решения, однако, не может в полной мере с помощью математического аппарата реализовать ее решение. Знает размерности физических величин, может сделать рисунок или схему, поясняющую решение задачи. Практическое задание выполнено с небольшими замечаниями.
2 (неудовлетворительно)	Не знает принцип работы тепловой электрической станции с парогазовыми блоками, не знает перечень основного оборудования ТЭС с ПГУ. Не знает сущность физических процессов, протекающих на ТЭС. Не способен излагать материал последовательно, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические задания. Не способен продолжить обучение без дополнительных занятий.	Обучающийся не может проанализировать условие задачи, наметить план ее решения, выбрать физические законы и плохо ориентируется в физических величинах, не владеет математическим аппаратом. Представление чужой работы, отказ от выполнения задания.

## 5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

### 5.2.1 Перечень контрольных вопросов

№ п/п	Формулировки вопросов
Курс 2	
1	Бинарные ПГУ. Их преимущества и недостатки.
2	ПГУ со сбросом выходных газов ГТУ в энергетический котел.
3	Цикл ПГУ с газовым регенеративным подогревателем.

4	Цикл ПГУ с котлом-утилизатором (ПГУ-У).
5	Состояние и перспективы развития современных парогазовых установок на ТЭС.
6	Котлы-утилизаторы в схеме ПГУ, предназначение, типы, конструктивные особенности.
7	Особенности компоновки поверхностей нагрева.
8	Особенности конструктивного исполнения и характеристики ПГУ-325.
9	Принципиальная тепловая схема ПГУ-325.
10	Основные термодинамические процессы, протекающие в ПГУ-325 в «Т-S» диаграмме.
11	Котел-утилизатор П-88 для ПГУ-325. Пароводяной тракт котла-утилизатора.
12	Тепловая схема паросиловой части ПГУ-325.
13	Общестанционное оборудование ПГУ-325.
14	Принципиальная схема, основные параметры и технико-экономические показатели ПГУ-450.
15	Особенности тепловой схемы ПГУ-450Т.
16	Общее описание ГТУ ПГУ-450Т. Котельная установка ПГУ-450Т.
17	Цикл ПГУ с двухконтурным котлом-утилизатором.
18	Цикл ПГУ трехконтурным котлом-утилизатором.
19	Цель расчета тепловой схемы парогазовой установки утилизационного типа. Исходные данные для расчета.
20	Цель расчета тепловой схемы парогазовой установки утилизационного типа. Последовательность расчета.
21	Тепловой расчет котла-утилизатора. Цель, исходные данные, последовательность расчета.
22	Выбор типа паровой турбины. Построение и расчет процесса расширения пара в паровой турбине.
23	Приближенный расчет паровой турбины.
24	Тепловой расчет двухконтурной парогазовой установки. Цель расчета. Исходные данные.
25	Расчет котла-утилизатора при впрыске водяного пара в камеру сгорания.
26	Состав природного газа, сжигаемого в камере сгорания ГТУ.
27	Расчет потерь давления в воздухозаборном тракте.
28	Расчет параметров воздуха компрессора.
29	Расчет характеристик теплового состояния камеры сгорания.
30	Расчет характеристик продуктов сгорания и воздуха в процессе адиабатного расширения в газовой турбине.
31	Расчет мощности ГТУ.
32	Технико-экономические показатели утилизационной ПГУ.
33	Классификация газотурбинных установок.
34	Принципиальные тепловые схемы ГТУ.
35	Конструктивные особенности и технические характеристики энергетических ГТУ фирмы Siemens.
36	Конструктивные особенности и технические характеристики энергетических ГТУ фирмы АВВ (Швейцария, Германия, Швеция).
37	Конструктивные особенности и технические характеристики энергетических ГТУ фирмы GeneralElectric (США).
38	Конструктивные особенности и технические характеристики энергетических ГТУ фирмы Westinghouse (США).
39	Конструктивные особенности и технические характеристики энергетических ГТУ фирмы Alston (Великобритания).
40	Конструктивные особенности и технические характеристики энергетических ГТУ фирмы Mitsubishi (Япония).
41	Охлаждение деталей газовых турбин. Типы систем охлаждения деталей газовых турбин.
42	Охлаждение деталей газовых турбин. Влияние системы охлаждения газовой турбины цикловым воздухом компрессора на цикл Брайтона.
43	Устройство современной стационарной высокотемпературной ГТУ. Основные типы камер сгорания, используемых в стационарных ГТУ.
44	Типы камер сгорания, их конструктивные особенности, особенности сжигания топлива. Двухступенчатые камеры сгорания.
45	Котлы-утилизаторы в схеме ПГУ, предназначение, типы, конструктивные особенности.
46	Особенности компоновки поверхностей нагрева.
47	Классификация ПГУ. Их преимущества и недостатки.
48	Монарные ПГУ. Их преимущества и недостатки.



## 5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено.

## 5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

Задача 1.

Определить параметры воздуха при сжатии в компрессоре.

Дано: Воздух, всасывается в компрессор при давлении  $p_1=0,1$  МПа и температуре  $t_1 = 20$  С, сжимается до давления  $p_2=0,4$  МПа. Внутренний относительный КПД компрессора  $\eta_{\text{кoi}} = 0,85$ .

Определить: 1) теоретическую работу изэнтропийного сжатия; 2) действительную работу сжатия; 3) параметры воздуха в начале сжатия.

Задача 2.

Определить параметры воздуха при сжатии в компрессоре.

Дано: Воздух, всасывается в компрессор при давлении  $p_1=0,1$  МПа и температуре  $t_1 = 20$  С, сжимается до давления  $p_2=0,4$  МПа. Внутренний относительный КПД компрессора  $\eta_{\text{кoi}} = 0,85$ .

Определить: 1) параметры воздуха в конце сжатия; 2) изменение энтропии в процессе; 3) степень повышения давления.

## 5.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

### 5.3.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

### 5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная

Письменная

Компьютерное тестирование

Иная

### 5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

В течение семестра выполняются контрольные работы;

Возможность пользоваться справочными материалами, калькулятором;

Время на подготовку ответа по билету 45.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
<b>6.1.1 Основная учебная литература</b>				
Русина А. Г., Филиппова Т. А.	Режимы электрических станций и электроэнергетических систем	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет	2014	<a href="http://www.iprbookshop.ru/45157.html">http://www.iprbookshop.ru/45157.html</a>
Губарев А. В.	Паротеплогенерирующие установки промышленных предприятий	Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ	2013	<a href="http://www.iprbookshop.ru/28379.html">http://www.iprbookshop.ru/28379.html</a>
<b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>				
	Правила техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей РД 34.03.201-97	Москва: Издательский дом ЭНЕРГИЯ	2013	<a href="http://www.iprbookshop.ru/22728.html">http://www.iprbookshop.ru/22728.html</a>

### 6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>
2. Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД [Электронный ресурс]. URL: <http://nizrp.narod.ru>
3. База данных большой технической библиотеки "Сайт теплотехника" [Электронный ресурс]. URL:<http://teplokot.ru/>

### 6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

MicrosoftWindows 8

MicrosoftOfficeProfessional 2013

### 6.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория	Оснащение
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска
Учебная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска