

**ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ**



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**СОГЛАСОВАНО**

**УТВЕРЖДАЮ**

---

**Руководитель ОПОП ВО**  
профессор В.А. Лебедев

---

**Проректор по образовательной дея-**  
**тельности доцент Д.Г. Петраков**

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

# **ПАРОГАЗОВЫЕ И ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ ТЕП- ЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

<b>Уровень высшего образования:</b>	Магистратура
<b>Направление подготовки:</b>	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
<b>Направленность (профиль):</b>	Технологии производства электрической и тепло- вой энергии
<b>Квалификация выпускника</b>	магистр
<b>Форма обучения:</b>	очная
<b>Составитель:</b>	доц. Андреев В.В.

Санкт-Петербург

**Рабочая программа дисциплины «Парогазовые и газотурбинные установки тепловых электростанций» разработана:**

- в соответствии с требованиями ФГОС ВО – магистратура по направлению 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.2018 г. № 146.
- на основании учебного плана магистратуры по направлению подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, направленность (профиль) «Технологии производства электрической и тепловой энергии».

Составитель \_\_\_\_\_ к.т.н. В.В. Андреев

**Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Теплотехники и теплоэнергетики от 20.01.2021 г., протокол № 6**

Заведующий кафедрой Теплотехники и теплоэнергетики \_\_\_\_\_ к.т.н., проф В.А. Лебедев

**Рабочая программа согласована:**

Начальник отдела лицензирования, аккредитации и контроля качества образования \_\_\_\_\_ к.п.н. Дубровская Ю.А.

Начальник отдела методического обеспечения учебного процесса \_\_\_\_\_ к.т.н. Романчиков А.Ю.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ:

### Цель дисциплины:

- изучение технологии производства электроэнергии и тепла на современных энергетических газотурбинных и парогазовых установках тепловых электростанций.;
- изучение конструкции и особенностей эксплуатации энергетических газотурбинных и парогазовых установках тепловых электростанций;
- получение представлений о рабочих процессах, протекающих в парогазовых и газотурбинных установках и показателях эффективности и экономичности их работы;
- приобретение знаний и умений т исследования процессов и циклов парогазовых и газотурбинных установок.

### Основные задачи дисциплины:

- предоставить информацию о применяемом на ТЭС оборудовании ГТУ и ПГУ, методах его расчета и проектирования;
- научить студентов обосновывать конкретные технические решения при проектировании и эксплуатации оборудования ГТУ и ПГУ;
- дать информацию о надежности и экономичности газотурбинных и парогазовых установок.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Парогазовые и газотурбинные установки тепловых электростанций» относится к дисциплинам по выбору части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» и изучается в 3 семестре.

Предшествующими курсами, на которых непосредственно базируется дисциплина «Парогазовые и газотурбинные установки тепловых электростанций» являются «Технологии производства электрической и тепловой энергии на АЭС и ТЭС», «Режимы работы и эксплуатации ТЭС и АЭС».

Знания, умения и компетенции, освоенные при изучении данной дисциплины, используются при изучении дисциплин «Основы теории эксплуатации теплоэнергетических установок и систем», в научно-исследовательской работе и при выполнении дипломного проектирования.

Обучение строится на принципе междисциплинарной интеграции, т.е. согласовании содержания разных учебных дисциплин относительно познавательных и технологических проблем с целью обеспечения целостности учебного процесса и создания единого образовательного потенциала с использованием инновационных педагогических методов, средств и форм обучения.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Процесс изучения дисциплины «Парогазовые и газотурбинные установки тепловых электростанций» направлен на формирование следующих компетенций и получение основных результатов обучения:

Формируемые компетенции		Код и наименование индикатора достижения компетенции
Содержание компетенции	Код компетенции	
Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного под-	УК-1	УК-1.1. Анализирует проблемную ситуацию и осуществляет её декомпозицию на отдельные задачи. УК-1.2. Вырабатывает стратегию решения по-

<b>Формируемые компетенции</b>		<b>Код и наименование индикатора достижения компетенции</b>
<b>Содержание компетенции</b>	<b>Код компетенции</b>	
хода, вырабатывать стратегию действий		ставленной задачи (составляет модель, определяет ограничения, вырабатывает критерии, оценивает необходимость дополнительной информации). УК-1.3. Формирует возможные варианты решения задач.
Способен к определению потребности производства в топливно-энергетических ресурсах, подготовке обоснований развития энергохозяйства, реконструкции и модернизации систем тепло- и энергоснабжения, обеспечению бесперебойной работы, правильной эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического оборудования, электрических и тепловых сетей; участию в разработке мероприятий по соблюдению технологической дисциплины,	ПКС-4	ПКС-4.1. Определяет потребности производства в топливно-энергетических ресурсах, подготавливает обоснования развития энергохозяйства, реконструкции и модернизации систем тепло- и энергоснабжения. ПКС-4.2. Обеспечивает бесперебойную работу, правильную эксплуатацию, ремонт и модернизацию энергетического, теплотехнического оборудования, электрических и тепловых сетей. ПКС-4.3. Участвует в разработке мероприятий по соблюдению технологической дисциплины, совершенствованию технологии производства продукции на объектах профессиональной деятельности.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы (108 ак. часов).

Вид учебной работы	Всего ак. часов	Ак. часы по семестрам
		3
<b>Аудиторные занятия, в том числе:</b>	<b>90</b>	<b>90</b>
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	54	54
<b>Самостоятельная работа студентов (СРС), в том числе</b>	<b>18</b>	<b>18</b>
Выполнение курсовой работы (проекта)	-	-
Подготовка к семинарским занятиям	-	-
Подготовка к практическим занятиям	18	18
<b>Вид промежуточной аттестации - дифференцированный зачет (ДЗ)</b>	<b>ДЗ</b>	<b>ДЗ</b>
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>ак. час.</b>	<b>108</b>	<b>108</b>
<b>зач. ед.</b>	<b>3</b>	<b>3</b>

## 4.2 Содержание дисциплины

Учебным планом предусмотрены: лекции, практические занятия в аудитории, самостоятельная работа с промежуточными консультациями и зачетами текущих заданий, подготовка и сдача дифференцированного зачета.

### 4.2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование разделов	Виды занятий				
		Всего ак. часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа студента
1.	Раздел 1. Тепловые и конструктивные схемы ГТУ	23	8		12	3
2.	Раздел 2. Эксплуатация и режимы работы энергетических ГТУ	15	4		8	3
3.	Раздел 3. Конструкции и характеристики отечественных и зарубежных энергетических ГТУ	9	4		2	3
4.	Раздел 4. Парогазовые установки с котлом-утилизатором	21	8		10	3
5.	Раздел 5. Парогазовые и газотурбинные тепло-электроцентрали	31	8		20	3
6.	Раздел 6. Парогазовая технология на пылеугольных электростанциях	9	4		-	3
	<b>Итого:</b>	<b>108</b>	<b>36</b>	<b>-</b>	<b>54</b>	<b>18</b>

### 4.2.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
1.	Раздел 1.	<p>Энергетические ГТУ разомкнутого цикла. Характеристики термодинамических циклов ГТУ и их анализ.</p> <p>Конструктивная схема осевого компрессора. Многоступенчатые компрессоры. Характеристики многоступенчатых осевых компрессоров. Режимы работы.</p> <p>Виды сжигаемых в камерах сгорания ГТУ топлив. Назначение и основные характеристики камер сгорания ГТУ. Типы камер сгорания и их конструктивные схемы. Особенности сжигания топлива. Тепловой расчет камеры сгорания энергетической ГТУ. Камеры дожигания топлива в среде выходных газов ГТУ.</p> <p>Конструктивные схемы энергетических ГТУ и начальные параметры газов газовых турбин. Проточная часть и элементы конструкции газовой турбины. Охлаждение газовых турбин.</p>	8
2.	Раздел 2.	<p>Основные сведения. Блочные системы энергетических ГТУ. Общестанционные системы газотурбинных электростанций. Топливное хозяйство. Техническое водоснабжение. Противопожарная система. Пуск</p>	4

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
		<p>энергетических ГТУ. Останов энергетических ГТУ. Опыт эксплуатации энергетических ГТУ. Эксплуатационные показатели. Техническое обслуживание ГТУ. Определение выбросов вредных веществ с выходными газами энергетических ГТУ.</p> <p>Статические характеристики энергетических ГТУ. Основные положения расчета тепловой схемы энергетических ГТУ. Способы регулирования нагрузки. Влияние параметров наружного воздуха на характеристики. Стабилизация температуры воздуха, поступающего в компрессор. Впрыск воды/пара. Системы автоматического регулирования и управления работой ГТУ.</p>	
3.	Раздел 3.	<p>Определение энергетических показателей ГТУ электростанций по заводским характеристикам. Типоразмеры и характеристики отечественных энергетических ГТУ. Типоразмеры и характеристики зарубежных энергетических ГТУ. Компоновка главного корпуса газотурбинной электростанции. Применение авиационных и судовых газотурбинных двигателей при создании энергетических ГТУ.</p>	4
4.	Раздел 4.	<p>Тепловые схемы и показатели ПГУ с котлом-утилизатором. Котлы-утилизаторы в тепловой схеме ПГУ. Паротурбинные установки в тепловой схеме ПГУ. Энергетические показатели ПГУ с КУ. Оптимизация показателей ПГУ с КУ. Регулирование нагрузки ПГУ с КУ. Автоматизированные системы управления тепловыми процессами ПГУ с КУ. Проектирование ПГУ с КУ. Техническое водоснабжение на электростанциях с ПГУ.</p>	8
5.	Раздел 5.	<p>Классификация тепловых схем парогазовых ТЭЦ с КУ. Показатели тепловой экономичности ПГУ-ТЭЦ с КУ. Затраты энергии на собственные нужды ПГУ-ТЭЦ. Основные положения методики расчета тепловой схемы ПГУ-ТЭЦ с КУ. Анализ режимов работы ПГУ-ТЭЦ с КУ. Годовые показатели ПГУ-ТЭЦ. Дожигание топлива в КУ ПГУ-ТЭЦ.</p> <p>Тепловые схемы и показатели экономичности ГТУ-ТЭЦ. Энергетические показатели ГТУ-ТЭЦ. Основные положения расчета тепловой схемы ГТУ-ТЭЦ. Регулирование отпуска теплоты на ГТУ-ТЭЦ. Основы построения диаграмм режимов работы энергетического модуля ГТУ-ТЭЦ. Использование ГТУ для надстройки теплофикационных систем. Энергетические установки с двигателями внутреннего сгорания.</p>	8
6.	Раздел 6.	<p>Тепловые схемы ПГУ. Показатели тепловой экономичности ПГУ с параллельной схемой работы. Оптимизация тепловой схемы ПГУ с параллельной схемой работы. Эксплуатация ПГУ с параллельной схе-</p>	4

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоёмкость в ак. часах
		мой работы. ПГУ с полузависимой схемой работы. ПГУ сбросного типа. Особенности тепловых схем ПГУ сбросного типа. Показатели тепловой экономичности ПГУ сбросного типа. Тепловые схемы пылеугольных ПГУ сбросного типа. Газомазутные ПГУ сбросного типа. ПГУ с газификацией угля. ПГУ со сжиганием угля в кипящем слое.	
		<b>Итого:</b>	<b>36</b>

#### 4.2.3. Практические занятия

№ п/п	Раздел	Наименование практических занятий	Трудоёмкость (час.)
1	Раздел 1.	Исследование характеристик термодинамических циклов ГТУ. Тепловой расчет камеры сгорания ГТУ	12
2	Раздел 2.	Исследование влияния параметров наружного воздуха на характеристики энергетических ГТУ. Расчет выбросов вредных веществ с выходными газами ГТУ	8
3	Раздел 3.	Определение энергетических показателей ГТУ электростанций. Тепловой расчет котла-утилизатора	2
4	Раздел 4.	Расчет тепловой схемы ГТУ-ТЭЦ. Оптимизация показателей ПГУ с котлом-утилизатором	10
5	Раздел 5.	Исследование режимов работу ПГУ-ТЭЦ с котлом-утилизатором	20
		<b>Итого:</b>	<b>18</b>

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе обучения применяются:

**Лекции**, которые являются одним из важнейших видов учебных занятий и составляют основу теоретической подготовки обучающихся.

Цели лекционных занятий:

- дать систематизированные научные знания по дисциплине, акцентировать внимание на наиболее сложных вопросах дисциплины;
- стимулировать активную познавательную деятельность обучающихся, способствовать формированию их творческого мышления.

**Практические занятия.** Цели практических занятий:

- совершенствовать умения и навыки решения практических задач.

Главным содержанием этого вида учебных занятий является работа каждого обучающегося по овладению практическими умениями и навыками профессиональной деятельности.

**Консультации** (текущая консультация, накануне дифф.зачета) является одной из форм руководства учебной работой обучающихся и оказания им помощи в самостоятельном изучении материала дисциплины, в ликвидации имеющихся пробелов в знаниях, задолженностей по текущим занятиям, в подготовке письменных работ (проектов).

Текущие консультации проводятся преподавателем, ведущим занятия в учебной группе, научным руководителем и носят как индивидуальный, так и групповой характер.

**Самостоятельная работа обучающихся** направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях и других занятиях, выработку навыков самостоятельного активного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. *Оценочные средства для самостоятельной работы и текущего контроля успеваемости***

#### **Раздел 1. Тепловые и конструктивные схемы ГТУ**

1. Чем отличается ГТУ с разомкнутым циклом от ГТУ с замкнутым циклом? Приведите примеры наиболее часто встречающихся ГТУ разомкнутого цикла.
2. Принципиальная тепловая схема и термодинамический цикл Брайтона однофазной ГТУ.
3. Как формируется начальная температура газов перед газовой турбиной? От чего зависит начальное давление газов?
4. Что определяет изменение термического КПД обратимого цикла Брайтона ГТУ?
5. От каких показателей энергетической ГТУ зависит увеличение полезной удельной работы цикла? Какое влияние оказывает температурный коэффициент на внутренний КПД реального цикла Брайтона?
6. Как изменится отношение внутренней мощности газовой турбины и потребляемой компрессором мощности с увеличением степени повышения давления воздуха?
7. Конструктивная схема осевого компрессора ГТУ. Что называется осевым статором компрессора? Из чего состоит ротор осевого компрессора?
8. Что такое степень реактивности ступени осевого компрессора? Схема ступени осевого компрессора и кинематика потока в ней.
9. Изобразить процесс сжатия газа в ступени осевого компрессора на диаграмме. КПД ступени компрессора.
10. Как определяется расход газа через ступень компрессора? Как выбирают профиль проточной части компрессора?
11. Что является расчетным (базовым) режимом работы компрессора? Что относится к универсальным характеристикам компрессора?
12. Какие причины приводят к возникновению явления помпажа при работе осевого компрессора ГТУ? Назовите функции входного направляющего аппарата компрессора ГТУ?
13. На какие виды топлива ориентированы энергетические ГТУ? Какие требования предъявляются к камерам сгорания при проектировании?
14. Что определяет экономичность работы камеры сгорания ГТУ? Какие факторы позволяют повысить надежность работы камеры сгорания ГТУ?
15. Почему в конструкциях ГТУ отдают предпочтение не выносным, а встроенным камерам сгорания? Чем отличаются схемы работы ГТУ с одноступенчатыми и двухступенчатыми камерами сгорания?
16. Как определяется избыток воздуха в камере сгорания ГТУ? Почему с повышением начальной температуры газов газовой турбины происходит уменьшение избытка воздуха?
17. Какие функции выполняет газовая турбина в тепловой схеме энергетической ГТУ?
18. Как зависит температура выходных газов газовой турбины от степени повышения давления воздуха в компрессоре и начальной температуры газов?
19. Из каких элементов состоит ротор газовой турбины? Изобразите схему проточной части газовой турбины и процесс расширения газа в диаграмме. Для чего нужен диффузор в ГТУ?



20. Почему в процессе работы меняется температура газов газовой турбины? Какие функции выполняет система охлаждения газовой турбины? Какие типы систем охлаждения газовых турбин используются в ГТУ?
21. Какой физический смысл имеет интенсивность охлаждения? Какие способы охлаждения лопаток применяются в современных газовых турбинах? Какие конструктивные особенности имеют лопатки газовых турбин?

## **Раздел 2. Эксплуатация и режимы работы энергетических ГТУ**

1. Что относится к блочным системам энергетических ГТУ?
2. Для чего предназначена система топливоподачи? Для чего предназначена система маслообеспечения ГТУ?
3. Для чего предназначено комплексное воздухоочистительное устройство?
4. Как работает система управления входным направляющим аппаратом?
5. Какие системы газотурбинных электростанций относятся к общестанционными?
6. Из каких этапов состоит пуск ГТУ?
7. В каких случаях осуществляется аварийный останов ГТУ?
8. Как влияет вид сжигаемого топлива на техническое обслуживание ГТУ?
9. С помощью чего выражается комплексный показатель надежности ГТУ? Что применяется для оценки эксплуатационных показателей ГТУ?
10. Что называют эквивалентным временем эксплуатации ГТУ и как оно рассчитывается?
11. Как осуществляется обслуживание работающей ГТУ? Какие основные факторы влияют на техническое обслуживание и срок службы оборудования энергетических ГТУ?
12. Как влияют условия окружающей среды на работу элементов технологической схемы ГТУ?
13. Приведите примеры эрозии и коррозии элементов технологической схемы. Почему необходима периодическая очистка компрессора ГТУ?
14. Как изменяются параметры равновесного режима работы энергетической ГТУ при понижении температуры наружного воздуха? Как изменяются параметры равновесного режима работы энергетической ГТУ с увеличением начальной температуры газов?
15. Какие существуют способы регулирования нагрузки энергетической ГТУ?
16. Перечислите и объясните ограничения возможных режимов работы энергетической ГТУ.
17. Почему регулирование электрической нагрузки ГТУ изменением положения входного направляющего аппарата выгоднее регулирования нагрузки изменением начальной температуры газов?
18. Как и почему влияет изменение температуры, давления и влажности наружного воздуха на характеристики энергетической ГТУ?
19. Каковы способы стабилизации температуры воздуха на входе в компрессор ГТУ? Почему впрыск воды (пара) оказывает влияние на характеристики ГТУ?

## **Раздел 3. Конструкции и характеристики отечественных и зарубежных энергетических ГТУ**

1. Как разделяются ГТУ по поколениям?
2. Назовите основных разработчиков и производителей отечественных ГТУ.
3. Опишите конструкцию ГТУ типа ГТЭ-180.
4. Какие основные технические данные имеют энергоустановки на базе авиационных и судовых газотурбинных двигателей? Как подразделяются приводные турбины по конструкции?
5. Основные технические данные электрогенераторов для ГТУ.
6. Какие компоновки применяются в отечественных ГТУ? Сравнительный анализ отечественных и зарубежных ГТУ.
7. От чего зависит компоновка главного корпуса газотурбинной ТЭС? Какие компоновки главного корпуса газотурбинной ТЭС применяются?
8. Назовите основных поставщиков новых энергетических технологий в области ГТУ за рубежом.

9. Какие особенности имеют ГТУ фирмы Siemens? Какие особенности имеют ГТУ фирмы АВВ?
10. Какие принципы используются при проектировании новых ГТУ фирмой General Electric?
11. Какие особенности имеет конструкция энергетической ГТУ пятого поколения фирмы Westinghouse? Какие типы ГТУ выпускает фирма Alstom?

#### **Раздел 4. Парогазовые установки с котлом-утилизатором**

1. Какова концепция компоновки оборудования ПГУ? Объясните понятие «степень бинарности ПГУ с КУ». Почему переход ПГУ от одноконтурного к двухконтурному паровому циклу повышает ее экономичность?
2. Как и почему влияет увеличение начальной температуры газов ГТУ на показатели экономичности ПГУ с КУ?
3. Как формируются поверхности нагрева КУ и чем объясняются их особенности?
4. Что ограничивает температуру конденсата на входе в КУ? Какое влияние оказывают температурные напоры на холодном конце испарителей в КУ на показатели ПГУ?
5. Каковы причины применения дожигания топлива в КУ и его влияние на показатели ПГУ?
6. Как построить процесс расширения пара в паровой турбине ПГУ с двухконтурным КУ? Почему применяют промежуточный перегрев пара в тепловой схеме парового цикла ПГУ с КУ?
7. Как можно представить тепловой баланс ПТУ? Как составляется уравнение энергетического баланса ПТУ ПГУ?
8. Каковы особенности конструкции паровых турбин ПГУ?
9. Какие существуют способы повышения КПД паровой турбины ПГУ?
10. Почему на ПГУ с КУ часто применяются воздушные конденсаторы пара паровых турбин?
11. Как определяются энергетические показатели ПТУ?
12. Как рассчитывается КПД производства электроэнергии нетто ПГУ? Как изменяются электрическая нагрузка, КПД отпуска электроэнергии, параметры контура высокого давления от изменения температуры наружного воздуха?
13. По отношению к чему оптимизируются параметры пара, генерируемого в КУ?
14. Как зависит оптимальное давление пара от температуры выходных газов ГТУ? Как влияет температура свежего пара на КПД производства электроэнергии при различных значениях давления свежего пара?
15. Какова эффективность применения регенерации в газотурбинном процессе?
16. Какие процессы исследуются в математических моделях ПГУ?
17. Какие существуют методы регулирования электрической нагрузки ПГУ?
18. Что относится к показателям маневренности ПГУ? Что применяется для повышения маневренности ПГУ?
19. Каким требованиям должны отвечать пусковые схемы ПГУ с КУ?
20. Что входит в состав комплекса АСУ ТП? Для чего предназначен комплекс АСУ ТП? Из каких регуляторов состоит схема АСУ ТП и где они расположены?
21. Какие параметры и где регулируются в схеме ПГУ с КУ?

#### **Раздел 5. Парогазовые и газотурбинные теплоэлектроцентрали**

1. Изобразите в координатах  $T, s$  цикл парогазовой теплофикационной установки.
2. Как классифицируются тепловые схемы ПГУ-ТЭЦ с КУ? Как отличаются тепловые схемы ПГУ-ТЭЦ различных вариантов исполнения?
3. На чем основана методика определения показателей тепловой экономичности ПГУ-ТЭЦ с КУ? Что относится к основным показателям тепловой экономичности ПГУ-ТЭЦ?
4. В чем различие физического и пропорционального методов разделения общего расхода топлива на ПГУ-ТЭЦ?

5. Чем объясняется необходимость применения дожимных топливных компрессоров на ПГУ-ТЭЦ?
6. На какие собственные нужды используется электроэнергия в ПГУ-ТЭЦ?
7. Как рассчитать КПД производства электроэнергии нетто ПГУ-ТЭЦ?
8. Что представляют собой диаграммы режимов работы ПГУ-ТЭЦ и для чего они предназначены? Какие условия используются для построения диаграмм режимов работы ПГУ-ТЭЦ?
9. Приведите пример диаграммы режимов работы ПГУ-ТЭЦ. Что представляют собой годовые диаграммы режимов работы энергоблока ПГУ-ТЭЦ и как они используются?
10. Что необходимо знать для расчета годовых показателей работы энергоблока? По как и показателям оценивается работа ПГУ-ТЭЦ?
11. Какую оценку позволяют дать годовые показатели тепловой экономичности и чем они характеризуются? Из каких уравнений можно определить годовые показатели ПГУ-ТЭЦ?
12. Как определить приведенные удельные расходы топлива на отпущенную электроэнергию?
13. Как и почему используется дожигание топлива в КУ ПГУ-ТЭЦ? Как влияет дожигание топлива в КУ на показатели тепловой экономичности ТЭЦ? Приведите пример тепловой схемы котла-утилизатора с дожиганием топлива.
14. Что такое газотурбинная ТЭЦ? Какие бывают ГТУ-ТЭЦ по характеру тепловой нагрузки? Изобразите термодинамический цикл ГТУ-ТЭЦ?
15. Чем различаются тепловые схемы отопительных и промышленных ГТУ-ТЭЦ?
16. Из каких соотношений определяется тепловая мощность КУ ГТУ-ТЭЦ?
17. Что такое коэффициент эффективности утилизации теплоты и от чего он зависит?
18. Как определяется общий расход топлива на ГТУ-ТЭЦ?
19. Какие задачи решает регулирование отпуска теплоты?
20. Какие существуют методы подвода дополнительной теплоты на ГТУ-ТЭЦ? Как влияет дожигание топлива в дополнительной камере на работу газо-водяного теплообменника?
21. Как можно записать тепловые потоки в газо-водяном теплообменнике и дополнительной камере дожигания?
22. Какие существуют тепловые схемы отвода излишней теплоты в газо-водяном теплообменнике?
23. Как влияет изменение нагрузки ГТУ на экономичность ГТУ-ТЭЦ? Какие используются методы регулирования нагрузки ГТУ?
24. Для чего применяются аккумуляторы теплоты на ГТУ-ТЭЦ?
25. Какие параметры используются при построении диаграммы работы ГТУ-ТЭЦ? Как использовать диаграмму режимов? Как используются ГТУ-ТЭЦ в режиме тригенерации?
26. Какие особенности характерны для надстроек котельных?

## **Раздел 6. Парогазовая технология на пылеугольных электростанциях**

1. Чем обусловлено применение парогазовых технологий на угольных ТЭС?
2. Для чего используется энергетический модуль «ГТУ-КУ» ПГУ с параллельной схемой работы? Какие ограничения должны быть соблюдены при работе ПГУ с параллельной схемой? Какие преимущества имеют пылеугольные ПГУ с параллельной схемой?
3. Приведите варианты тепловых схем пылеугольных ПГУ с параллельной схемой работы?
4. Что относится к показателям тепловой экономичности ПГУ с параллельной схемой? Как рассчитывается КПД производства электроэнергии брутто ПГУ с параллельной схемой?
5. Какие режимы работы может иметь ПГУ с параллельной схемой? Какой режим изменения электрической нагрузки ПГУ с параллельной схемой работы более выгоден?
6. Какие ограничения имеют место при проектировании ПГУ сбросного типа?
7. Приведите варианты тепловых схем ПГУ сбросного типа?
8. Что относится к показателям тепловой экономичности ПГУ сбросного типа? Как рассчитывается КПД производства электроэнергии брутто ПГУ сбросного типа?

9. Какие режимы работы может иметь ПГУ сбросного типа? Какой режим изменения электрической нагрузки ПГУ сбросного типа? Куда могут поступать выходные газы ГТУ ПГУ сбросного типа?
10. Какой режим работы парового котла и ГТУ рассматривается как основной? Какие преимущества дает схема со сбросом газов ГТУ в котел?
11. Особенности расчета тепловой схемы пылеугольной ПГУ сбросного типа. Какие особенности у газомазутных ПГУ сбросного типа?
12. Какие особенности имеет ПГУ с внутрикотловой газификацией угля?

## **6.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации (дифференцированного зачета)**

### **6.2.1. Примерный перечень вопросов для подготовки к дифференцированному зачету (по дисциплине):**

1. По какому термодинамическому циклу работают ГТУ?
2. Что является основными элементами тепловой схемы ГТУ?
3. Как в ГТУ осуществляется преобразование теплоты топлива в электрическую энергию в сравнении с паросиловыми установками?
4. Что является рабочим телом в ГТУ?
5. Как обеспечивается начальная температура газов перед газовой турбиной?
6. Что обеспечивает применение регенерации циклового воздуха в энергетических ГТУ?
7. Как изменяется термический КПД цикла Брайтона при увеличении степени повышения давления в компрессоре?
8. Что принято называть температурным коэффициентом цикла ГТУ?
9. Когда значение полезной удельной работы ГТУ будет максимальным?
10. Как называется КПД, учитывающий все потери преобразования энергии в ГТУ?
11. Как изменится отношение мощностей газовой турбины и компрессора с ростом температурного коэффициента?
12. Чему равен внутренний КПД ГТУ при отношении мощностей  $\beta_N = 1$ ?
13. Что является приоритетным в развитии современных ГТУ?
14. Что показывает коэффициент полезной работы?
15. Что называется внутренней мощностью ГТУ?
16. Что оценивают с помощью КПД производства электроэнергии?
17. Как изображается ГТУ разомкнутого цикла?
18. Как изображается цикл Брайтона?
19. Какие компрессоры являются наиболее применяемыми в ГТУ?
20. Какие кривые называются изодромами?
21. Что используется для предотвращения срыва устойчивой работы компрессора?
22. Как называется газ, в котором содержится более 90 % метана?
23. Какую теплоту сгорания имеет эталонный природный газ?
24. Какая топливная смесь поступающая в камеру сгорания ГТУ называется обедненной?
25. Что позволяет впрыск воды (пара) в поток газов?
26. С чего начинается тепловой расчет камеры сгорания энергетической ГТУ?
27. Почему целесообразно применять камеры дожигания топлива в среде выходных газов ГТУ ?
28. Какую функцию выполняет газовая турбина в тепловой схеме энергетической ГТУ?
29. Сколько составляет доля потребляемой энергии компрессором от энергии получаемой в газовой турбине?
30. Где происходит преобразование кинетической энергии в механическую в ГТУ?
31. Как изменяется температура выходных газов газовой турбины с увеличением степени повышения давления в компрессоре?
32. Что позволяет определить отношение располагаемого и используемого теплоперепада?

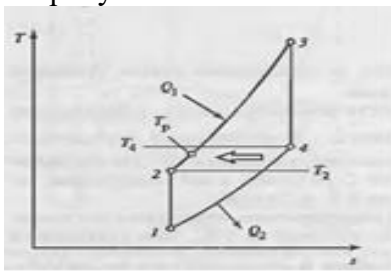
33. Как называется вал с, насаженными на него, дисками и лопатками, укрепленными в дисках?
34. На что влияет увеличение количества ступеней газовой турбины?
35. Для чего служит бандажная полка на конце турбинной лопатки?
36. Из чего выполнена рабочая поверхность опорных подшипников ротора газотурбинного агрегата?
37. Как охлаждаются подшипники ГТУ ?
38. Что обеспечивает диффузор в современных ГТУ ?
39. Что необходимо сделать, если температура металла охлаждаемой лопатки больше максимального значения той же температуры?
40. Для чего необходима система охлаждения газовой турбины?
41. Чем обусловлены газодинамические потери в газовой турбине?
42. Как называется охлаждение лопаток, при котором воздух подается во внутренние полости лопаток и выпускается через выходные кромки?
43. Что позволяет использование пара в качестве охладителя лопаток?
44. Как называется часть системы топливоподачи, где происходит очистка газа от примесей, корректируется его давление и параметры?
45. При какой температуре газа производится запуск ГТУ?
46. Каким должно быть минимальное значение температуры газа?
47. Какова значения не должен превышать нагрев масла на трущихся поверхностях газотурбинного агрегата?
48. Что предусмотрено в масляной системе для облегчения запуска ГТУ?
49. Для чего предназначена антипомпажная система?
50. Что защищает воздушный и газовый тракт ГТУ от эрозии?
51. В каком положении входной направляющий аппарат при работе ГТУ в режиме полной нагрузки и при нормальном останове ГТУ?
52. Что происходит, если угол установки лопаток входного направляющего аппарата в процессе работы уменьшается ниже заданного предела?
53. Что осуществляется в целях контроля и поддержания параметров ГТУ на заданном техническом уровне?
54. Когда срабатывает предохранительно-сбросной клапан?
55. Какое значение не должно превышать давление природного газа в черте населенного пункта?
56. Что устанавливается на участках газопроводов, ограниченных запорной арматурой, для их заполнения?
57. С чего начинается и как осуществляется пуск энергетической ГТУ?
58. Как можно выявить неполадки в механической системе ротора?
59. Что служит для равномерного остывания ротора?
60. По какой формуле вычисляется коэффициент готовности?
61. По какой формуле вычисляется коэффициент технического использования?
62. По какой формуле вычисляется коэффициент вынужденных простоев?
63. Когда у оператора есть возможность повлиять на ситуацию?
64. При каких условиях необходимо подогревать воздух?
65. Что определяет эквивалентное время эксплуатации?
66. Как определяется влияние температуры рабочего тела перед ГТ на срок службы оборудования?
67. Какова основная причина снижения производительности и эффективности ГТУ?
68. Критерием чего служит коэффициент снижения электрической мощности ГТУ?
69. В каких единицах измеряется массовая концентрации вредных выбросов от сжигания топлива, и как ее определяют применительно к ГТУ?
70. Какие параметры наружного воздуха соответствуют расчетному режиму?
71. Для чего служат совмещенные характеристики компрессора и газовой турбины?

72. Как осуществляется регулирование нагрузки ГТУ?
73. Как изменяется электрическая мощность, электрический КПД и температура выходных газов от параметров наружного воздуха?
74. Как можно стабилизировать температуру выходных газов и электрическую мощность?
75. Каких значений не должна превышать согласно ГОСТ 29328-92 концентрация оксидов азота в уходящих газах современных ГТУ, работающих на природном газе?
76. С какой целью осуществляется впрыск воды (водяного пара) в зону горения и впрыск воды на входе в компрессор?
77. Из чего состоит ПГУ?
78. По какому термодинамическому циклу работают ПГУ?
79. что является источником теплоты в котле-утилизаторе?
80. По какой формуле определяется КПД ПГУ?
81. Что такое степень бинарности ПГУ?
82. Чему равны потери теплоты в бинарной ПГУ?
83. Как повысить экономичность ПГУ с КУ?
84. Изобразите принципиальную тепловую схему ПГУ?
85. Как происходит деаэрация питательной воды в ПГУ с деаэратором и без деаэратора?
86. Какие применяются способы улучшения процесса теплообмена в котлах-утилизаторах?
87. Какой режим является исходным режимом для конструкторского расчета КУ конденсационной ПГУ?
88. Что определяется в результате поверочного расчета КУ?
89. Что позволяет определить гидравлический расчет КУ?
90. как распределены поверхности теплообмена в КУ?
91. Из какого расчета выбирается парогенерирующая способность контуров КУ?
92. Почему стало возможным применение воздухоохлаждаемых конденсаторов паровых турбин ПГУ?
93. Какие особенности эксплуатации воздухоохлаждаемых конденсаторов?
94. Как рассчитывается КПД производства электроэнергии и теплоты ПГУ?
95. По какой формуле рассчитывается коэффициент использования теплоты сжигаемого топлива?
96. По какой формуле рассчитывается удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении?
97. Как называется схема, в которой ПГУ используется для генерации пара, направляемого в тепловую схему пылеугольных энергоблоков?
98. В чем состоит отличие ПГУ с полузависимой схемой работы от ПГУ с параллельной схемой?
99. Какие параметры являются определяющими в технологическом процессе ПГУ сбросного типа?
100. Что позволяет использование пылеугольных ПГУ с внутрицикловой газификацией угля?

### 6.2.2. Примерные тестовые задания к дифференцированному зачету

#### 1 вариант

№	Вопрос	Варианты ответа
1.	ГТУ работают по термодинамическому циклу...	1. Брайтона 2. Ренкина 3. Брайтона-Ренкина 4. Ренкина-Брайтона

№	Вопрос	Варианты ответа
2.	С ростом температурного коэффициента отношение мощностей газовой турбины и компрессора...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. не изменяется</li> <li>2. уменьшается</li> <li>3. увеличивается</li> <li>4. стремится к нулю</li> </ol>
3.	Приоритетным в развитии современных ГТУ является ...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. уменьшение давления перед газовой турбиной</li> <li>2. уменьшение температуры перед газовой турбиной</li> <li>3. увеличение давления перед газовой турбиной</li> <li>4. увеличение температуры перед газовой турбиной</li> </ol>
4.	На рисунке показан ... 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. цикл Ренкина с промперегревом</li> <li>2. цикл Брайтона с промперегревом</li> <li>3. цикл Ренкина с регенерацией теплоты</li> <li>4. цикл Брайтона с регенерацией теплоты</li> </ol>
5.	Температура выходных газов газовой турбины с увеличением степени повышения давления в компрессоре...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. уменьшается</li> <li>2. увеличивается</li> <li>3. не изменяется</li> <li>4. становится критической</li> </ol>
6.	Отношение располагаемого и используемого теплоперепада позволяет определить...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. относительный внутренний КПД</li> <li>2. термический КПД</li> <li>3. мощность турбины</li> <li>4. размер рабочих лопаток</li> </ol>
7.	Часть системы топливоподачи, где происходит очистка газа от примесей, корректируется его давление и параметры, называется...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. камера сгорания</li> <li>2. газораспределительный пункт</li> <li>3. горелки</li> <li>4. фильтр</li> </ol>
8.	Минимальное значение температуры газа должно быть...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 10...15 °С выше температуры воздуха за компрессором</li> <li>2. 10...15 °С выше точки росы</li> <li>3. 10...15 °С ниже температуры воздуха за компрессором</li> <li>4. 10...15 °С выше температуры атмосферного воздуха</li> </ol>
9.	Для облегчения запуска ГТУ в масляной системе предусмотрено...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. резервный масляный насос</li> <li>2. гравитационная емкость</li> <li>3. насос гидроподъема ротора</li> <li>4. маслоохладитель</li> </ol>
10.	Пуск энергетической ГТУ начинается с запуска ...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. топливной системы</li> <li>2. компрессора</li> <li>3. масляной системы</li> <li>4. пускового устройства</li> </ol>
11.	Необходимо подогревать воздух при ...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. температуре от 0 до + 5 и влажности 60%</li> <li>2. температуре от +5 и влажности 60 %</li> <li>3. температуре от + 5 до +10</li> <li>4. температуре – 5 до +5 и влажности более 80 %</li> </ol>

№	Вопрос	Варианты ответа
12.	Влияние температуры рабочего тела перед ГТ на срок службы оборудования определяется ...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. выбором режима работы</li> <li>2. расходом топлива</li> <li>3. давлением за компрессором</li> <li>4. наработкой ГТУ</li> </ol>
13.	Температура выходных газов за газовой турбиной снижается из-за...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. снижения температуры наружного воздуха</li> <li>2. увеличения температуры наружного воздуха</li> <li>3. снижения расхода выходных газов</li> <li>4. снижения разности температур наружного воздуха и газов перед турбиной</li> </ol>
14.	Стабилизировать электрическую мощность на постоянном уровне можно, используя...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. изменение расхода топлива</li> <li>2. изменения в конструкции камеры сгорания</li> <li>3. изменения частоты вращения ротора</li> <li>4. подогрев и охлаждение воздуха в КВОУ</li> </ol>
15.	Степень бинарности ПГУ показывает...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. отношение расхода газа к выработке пара</li> <li>2. количество котлов утилизаторов</li> <li>3. количество ГТУ, работающих на один котел утилизатор</li> <li>4. совершенство использования теплоты газа ГТУ для выработки пара</li> </ol>
16.	Если в схеме ПГУ не предусмотрен деаэратор, то деаэрация происходит в...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. пароперегревателе</li> <li>2. конденсаторе паровой турбины</li> <li>3. испарителе</li> <li>4. барабане котла</li> </ol>
17.	Мощность ПТУ в составе ПГУ от начальных параметров пара...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. не зависит</li> <li>2. имеет оптимальное значение</li> <li>3. постоянно растет</li> <li>4. постоянно уменьшается</li> </ol>
18.	Основным параметром, влияющим на характер изменения тепловой экономичности ПГУ-КЭС при выборе оптимальных параметров пара, является...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. температура наружного воздуха</li> <li>2. давление газов за ГТУ</li> <li>3. температура газов за ГТУ</li> <li>4. давление наружного воздуха</li> </ol>
19.	В ПГУ с воздухоохлаждаемым конденсатором при температуре наружного воздуха выше 30 градусов Цельсия...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. происходит переход на малую мощность</li> <li>2. происходит ее остановка</li> <li>3. повышается экономичность работы</li> <li>4. повышается КПД</li> </ol>
20.	КПД производства электроэнергии рассчитывается по формуле...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>\frac{N_{ПГУ}^э}{B_{ПГУ}^э Q_i^r}</math></li> <li>2. <math>\frac{Q_T}{B_{ПГУ}^r Q_i^r}</math></li> <li>3. <math>\frac{N_{ПГУ}^э + Q_T}{Q_{ПГУ}^c}</math></li> <li>4. <math>\frac{N_{ПГУ}^э}{Q_T}</math></li> </ol>



**2 вариант**

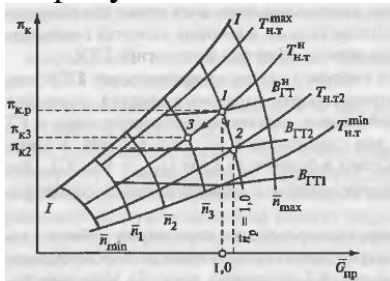
№	Вопрос	Варианты ответа
1	В сравнении с паросиловыми установками в ГТУ преобразование теплоты топлива в электрическую энергию осуществляется...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. в пределах одной компактной установки</li> <li>2. в разных элементах схемы</li> <li>3. в паротурбинной установке</li> <li>4. в котле утилизаторе</li> </ol>
2	КПД, учитывающий все потери преобразования энергии в ГТУ называется...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. внутренним КПД идеального цикла</li> <li>2. внутренним КПД реального цикла</li> <li>3. термически КПД</li> <li>4. механическим КПД</li> </ol>
3	Внутренней мощностью ГТУ называется...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. сумма внутренних мощностей газовой турбины и компрессора</li> <li>2. отношение внутренних мощностей газовой турбины и компрессора</li> <li>3. разница внутренних мощностей газовой турбины и компрессора</li> <li>4. отношение полезной мощности ГТУ к мощности турбогенератора</li> </ol>
4	Наиболее применяемые в ГТУ компрессоры являются...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. осевые</li> <li>2. центробежные</li> <li>3. поршневые</li> <li>4. ротационные</li> </ol>
5	В тепловой схеме энергетической ГТУ газовая турбина выполняет функцию...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. теплового двигателя</li> <li>2. нагнетателя газа</li> <li>3. генератора газа заданных параметров</li> <li>4. источником электроэнергии</li> </ol>
6	Увеличение количества ступеней газовой турбины заставляет ...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. снижать мощность турбины</li> <li>2. повышать температуру перед турбиной</li> <li>3. снижать температуру за турбиной</li> <li>4. направлять больше воздуха на охлаждение</li> </ol>
7	Охлаждение лопаток, при котором воздух подается во внутренние полости лопаток и выпускается через выходные кромки, называется...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. конвективным</li> <li>2. заградительным</li> <li>3. пористым</li> <li>4. пленочным</li> </ol>
8	Воздушный и газовый тракт ГТУ от эрозии защищает...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. топливная система</li> <li>2. комплексное воздухоочистительное устройство</li> <li>3. входной направляющий аппарат</li> <li>4. антипомпажная система</li> </ol>
9	Давление природного газа в черте населенного пункта не должно превышать ...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 0,6МПа</li> <li>2. 1,9 МПа</li> <li>3. 2 МПа</li> <li>4. 1,2 МПа</li> </ol>
10	Выявить неполадки в механической системе ротора при его остановке можно ...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. по работе входного направляющего аппарата</li> <li>2. по изменению выбега ротора</li> <li>3. по уменьшению нагрузки ГТ.</li> <li>4. по падению давления при вентилировании газоздушного тракта</li> </ol>

№	Вопрос	Варианты ответа
11	Коэффициент вынужденных простоев определяется по формуле ...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>\frac{\tau_p}{\tau_p + \tau_{en}}</math></li> <li>2. <math>\frac{\tau_{en}}{\tau_p}</math></li> <li>3. <math>\frac{\tau_p}{\tau_{en}}</math></li> <li>4. <math>\frac{\tau_p}{\tau_p + \tau_{en} + \tau_{nnp}}</math></li> </ol>
12	Коэффициент снижения электрической мощности ГТУ служит критерием...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. необходимости капитального ремонта</li> <li>2. необходимости замены ГТУ</li> <li>3. необходимости очистки проточной части компрессора и ГТ</li> <li>4. необходимости повышения параметров рабочего тела</li> </ol>
13	Электрическая мощность ГТУ увеличивается при...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. увеличении температуры наружного воздуха</li> <li>2. снижении давления наружного воздуха</li> <li>3. увеличении влагосодержания наружного воздуха</li> <li>4. снижении температуры наружного воздуха</li> </ol>
14	Впрыск воды (водяного пара) в зону горения осуществляется с целью...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. снижения эмиссии оксидов азота</li> <li>2. полного сгорания топлива</li> <li>3. снижения концентрации углекислого газа</li> <li>4. повышения экономичности работы ГТУ</li> </ol>
15	КПД ПГУ определяется по формуле...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>\eta_r \eta_p - \eta_p \Sigma q_{пот}</math></li> <li>2. <math>\eta_r + \eta_p</math></li> <li>3. <math>\eta_r \eta_p</math></li> <li>4. <math>\eta_r + \eta_p - \eta_r \eta_p - \eta_p \Sigma q_{пот}</math></li> </ol>
16	Для улучшения процесса теплообмена в котлах-утилизаторах применяются...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. удлиненные трубы</li> <li>2. гладкие трубы</li> <li>3. оребренные трубы</li> <li>4. укороченные трубы</li> </ol>
17	Гидравлический расчет КУ позволяет определить ...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. аэродинамическое сопротивление газового тракта</li> <li>2. давление пара и воды в элементах котла</li> <li>3. параметры газа в элементах котла</li> <li>4. площадь теплообмена пароводяной части котла</li> </ol>
18	КПД производства теплоты рассчитывается по формуле...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>\frac{Q_T}{B_{ПГУ}^T Q_i^f}</math></li> <li>2. <math>\frac{N_{ПГУ}^э}{B_{ПГУ}^э Q_i^f}</math></li> <li>3. <math>\frac{N_{ПГУ}^э + Q_T}{Q_{ПГУ}^c}</math></li> <li>4. <math>\frac{N_{ПГУ}^э}{Q_T}</math></li> </ol>

№	Вопрос	Варианты ответа
19	КПД производства электроэнергии нетто на электростанциях с ПГУ...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. не учитывает расход электроэнергии на собственные нужды</li> <li>2. учитывает расход электроэнергии на собственные нужды</li> <li>3. учитывает расход электроэнергии на привод дожимного компрессора</li> <li>4. не учитывает расход электроэнергии на привод дожимного компрессора</li> </ol>
20	Схема, в которой ПГУ используется для генерации пара, направляемого в тепловую схему пылеугольных энергоблоков, называется ...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. комбинированной схемой</li> <li>2. последовательной схемой</li> <li>3. параллельной схемой</li> <li>4. автономной схемой</li> </ol>

### 3 вариант

№	Вопрос	Варианты ответа
1	Начальная температура газов перед газовой турбиной обеспечивается...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. повышенным избытком воздуха за камерой сгорания</li> <li>2. пониженным содержанием воздуха за камерой сгорания</li> <li>3. температурой горения топлива</li> <li>4. давлением воздуха за компрессором</li> </ol>
2	Термический КПД цикла Брайтона при увеличении степени повышения давления в компрессоре...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. стремится к нулю</li> <li>2. уменьшается</li> <li>3. не изменяется</li> <li>4. увеличивается</li> </ol>
3	С помощью КПД производства электроэнергии оценивают...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. потери на передачу электроэнергии от ГТУ к потребителю</li> <li>2. степень совершенства электрогенератора ГТУ</li> <li>3. тепловую экономичность энергетической ГТУ</li> <li>4. отношение произведенной электроэнергии к затратам</li> </ol>
4	Для предотвращения срыва устойчивой работы компрессора используется...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. гидравлическая система</li> <li>2. антипомпажная система</li> <li>3. система смазки</li> <li>4. пусковое устройство</li> </ol>
5	Газ, в котором содержится более 90 % метана, называется...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. природным</li> <li>2. попутным</li> <li>3. искусственным</li> <li>4. синтетическим</li> </ol>
6	Рабочая поверхность опорных подшипников ротора газотурбинного агрегата выполнена из...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. баббита</li> <li>2. бронзы</li> <li>3. латуни</li> <li>4. олова</li> </ol>
7	Диффузор в современных ГТУ обеспечивает...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. снижение скорости воздуха за компрессором</li> <li>2. снижение скорости газа перед турбиной</li> <li>3. снижение скорости воздуха перед компрессором</li> <li>4. снижение скорости выходных газов</li> </ol>
8	Система охлаждения газовой турбины необходима...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. для упрощения конструкции</li> <li>2. для повышения экономичности</li> </ol>

№	Вопрос	Варианты ответа
		3. для повышения мощности 4. из-за недостаточной жаропрочности элементов ГТ
9	При нормальном останове ГТУ входной направляющий аппарат ...	1. полностью открывается 2. устанавливается в положение, противоположное пуску 3. полностью закрывается 4. устанавливается в положение, противоположное пуску
10	В целях контроля и поддержания параметров ГТУ на заданном техническом уровне осуществляется...	1. техническое обслуживание 2. экспериментальное обследование 3. периодические остановки 4. периодические испытания
11	Коэффициент готовности вычисляется по формуле ...	1. $\frac{\tau_p}{\tau_p + \tau_{en}}$ 2. $\frac{\tau_p}{\tau_p + \tau_{en} + \tau_{npr}}$ 3. $\frac{\tau_p}{\tau_{en}}$ 4. $\frac{\tau_{en}}{\tau_p}$
12	Параметры наружного воздуха, соответствующие расчетному режиму...	1. T=0 °C, p=0,1013 МПа, φ =60 % 2. T=15 °C, p=0,1013 МПа, φ =60 % 3. T=20 °C, p=0,1013 МПа, φ =60 % 4. T=15 °C, p=0,1 МПа, φ =80 %
13	На рисунке показаны... 	1. зоны допустимой работы ГТУ 2. совмещенные характеристики компрессора и газовой турбины 3. цикл Брайтона 4. характеристики расхода рабочего тела
14	Впрыск воды на входе в компрессор...	1. уменьшает КПД ГТУ 2. уменьшает мощность ГТУ 3. уменьшает КПД компрессора 4. увеличивает электрический КПД ГТУ
15	ПГУ работают по термодинамическому циклу...	1. Ньютона-Ренкина 2. Ренкина 3. Брайтона 4. Брайтона-Ренкина
16	В КУ применяется рециркуляция конденсата для поддержания его температуры на входе ГПК не ниже 60 оС для того, чтобы ...	1. увеличить экономичность работы КУ 2. избежать конденсации паров воды в продуктах сгорания топлива 3. увеличить КПД работы КУ 4. снизить температурные напряжения в ГПК
17	Исходным режимом для конструкторского расчета	1. среднегодовому изменению электрической нагрузки

№	Вопрос	Варианты ответа
	КУ парогазовой теплоцентрали является режим соответствующий ...	2. среднегодовым параметрам наружного воздуха 3. средней температуре наружного воздуха за отопительный период 4. среднегодовому изменению отопительной нагрузки
18	Для более полной утилизации теплоты в КУ принимают минимальные тепловые напоры на холодных концах поверхностей нагрева, равные ...	1. 3-5 °С 2. 10-20 °С 3. 20-25 °С 4. 8-10 °С
19	Первой поверхностью теплообмена в КУ по ходу газов является...	1. испаритель низкого давления 2. перегреватель низкого давления 3. перегреватель высокого давления 4. испаритель высокого давления
20	Парогенерирующая способность контуров КУ выбирается из расчета...	1. температуры газа перед КУ 2. пропускной способности частей паровой турбины 3. давления перед паровой турбиной 4. располагаемого теплоперепада на паровой турбине

### 6.3. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания

#### 6.3.1. Критерии оценок промежуточной аттестации (дифференцированный зачет)

Примерная шкала оценивания знаний по вопросам/выполнению заданий дифференцированного зачета

Оценка			
«2» (неудовлетворительно)	Пороговый уровень освоения	Углубленный уровень освоения	Продвинутый уровень освоения
	«3» (удовлетворительно)	«4» (хорошо)	«5» (отлично)
Посещение менее 50 % лекционных, практических занятий	Посещение не менее 60 % лекционных, практических занятий	Посещение не менее 70 % лекционных, практических занятий	Посещение не менее 85 % лекционных, практических занятий
Студент не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы	Студент поверхностно знает материал основных разделов и тем учебной дисциплины, допускает неточности в ответе на вопрос	Студент хорошо знает материал, грамотно и по существу излагает его, допуская некоторые неточности в ответе на вопрос.	Студент в полном объеме знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос
Не умеет находить решения большинства предусмотренных	Иногда находит решения предусмотренных про-	Уверенно находит решения предусмотренных про-	Безошибочно находит решения преду-

Оценка			
«2» (неудовлетворительно)	Пороговый уровень освоения	Углубленный уровень освоения	Продвинутый уровень освоения
	«3» (удовлетворительно)	«4» (хорошо)	«5» (отлично)
Посещение менее 50 % лекционных, практических занятий	Посещение не менее 60 % лекционных, практических занятий	Посещение не менее 70 % лекционных, практических занятий	Посещение не менее 85 % лекционных, практических занятий
программой обучения заданий	граммой обучения заданий	граммой обучения заданий	смотренных программой обучения заданий
Большинство предусмотренных программой обучения заданий не выполнено	Предусмотренные программой обучения задания выполнены удовлетворительно	Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены	Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены

*Примерная шкала оценивания знаний в тестовой форме:*

Количество правильных ответов, %	Оценка
0-50	Неудовлетворительно
51-65	Удовлетворительно
66-85	Хорошо
86-100	Отлично

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Рекомендуемая литература.

#### 7.1.1. Основная литература

1. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций [Текст] : учеб. пособие для вузов / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов ; под ред. С. В. Цанева. - 4-е изд. стер. - М. : Изд. дом МЭИ, 2019. - 578, [1] с.; 2006. - 578, [1] с.]

#### 7.1.2. Дополнительная литература

1. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций [Текст] : учеб. пособие для вузов / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов ; под ред. С. В. Цанева. - М. : Изд-во МЭИ, 2002. - 574 с.

2. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Д. Трухний, Б. В. Ломакин. - М. : Изд-во МЭИ, 2002. - 539 с.

3. Турбины тепловых и атомных электрических станций [Текст] : учеб. для вузов / А. Г. Костюк, В. В. Фролов, А. Е. Булкин, А. Д. Трухний ; под ред. А. Г. Костюка, В. В. Фролова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Изд-во МЭИ, 2001. - 488 с.

#### 7.1.3. Учебно-методическое обеспечение

1. Парогазовые и газотурбинные установки ТЭС: Методические указания к практическим занятиям / Андреев В.В. - СПб, «Горный», 2017.- 56 с.. –Режим доступа: <http://ior.spmi.ru/profile/pers/kafedra/2019/token/15399479061539958706>, свободный.

2. Парогазовые и газотурбинные установки ТЭС: Методические указания к лабораторным работам/ Андреев В.В. - СПб, «Горный», 2017.- 56 с.. –Режим доступа: <http://ior.spmi.ru/profile/pers/kafedra/2019/token/15399479061539958706>, свободный.

## **7.2. Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Европейская цифровая библиотека Europeana: <http://www.europeana.eu/portal>
2. КонсультантПлюс: справочно-поисковая система [Электронный ресурс]. - [www.consultant.ru/](http://www.consultant.ru/).
3. Мировая цифровая библиотека: <http://wdl.org/ru>
4. Научная электронная библиотека «Scopus» <https://www.scopus.com>
5. Научная электронная библиотека ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>
6. Научная электронная библиотека «eLIBRARY»: <https://elibrary.ru/>  
<https://e.lanbook.com/books>.
7. Поисковые системы Yandex, Rambler, Yahoo и др.
8. Система ГАРАНТ: электронный периодический справочник [Электронный ресурс] [www.garant.ru/](http://www.garant.ru/).
9. Термические константы веществ. Электронная база данных, <http://www.chem.msu.su/cgibin/tkv.pl>
10. Электронно-библиотечная система издательского центра «Лань»: <https://e.lanbook.com>
11. Электронная библиотека Российской Государственной Библиотеки (РГБ): <https://www.rsl.ru>
12. Электронная библиотека учебников: <http://studentam.net>
13. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» [www.biblio-online.ru](http://www.biblio-online.ru).
14. Электронная библиотечная система «Национальный цифровой ресурс «Руконт»». <http://rucont.ru/>
15. Электронно-библиотечная система <http://www.sciteclibrary.ru/>

### **7.1.3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента**

1. Парогазовые и газотурбинные установки ТЭС: Методические указания к практическим занятиям / Андреев В.В. - СПб, «Горный», 2017.- 56 с.. –Режим доступа: <http://ior.spmi.ru/profile/pers/kafedra/2019/token/15399479061539958706>, свободный.
2. Парогазовые и газотурбинные установки ТЭС: Методические указания к лабораторным работам/ Андреев В.В. - СПб, «Горный», 2017.- 56 с.. –Режим доступа: <http://ior.spmi.ru/profile/pers/kafedra/2019/token/15399479061539958706>, свободный.

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1. Материально-техническое оснащение аудиторий:**

Специализированные аудитории, используемые при проведении занятий лекционного типа, практических занятий, оснащены мультимедийными проекторами и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы.

#### **8.1.1. Аудитории для проведения лекционных занятий**

Лекционная аудитория: мультимедийный проектор – 1 шт.; стол – 45 шт.; стул – 92 шт.; АРМ преподавателя ПК (системный блок, монитор) – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»); лабораторное оборудование – 6 шт.

#### **8.1.2. Аудитории для проведения практических и лабораторных занятий**

Лаборатории оснащены оборудованием и лабораторными установками, необходимыми для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Котельные установки и парогенераторы».

Компьютерный класс:

28 посадочных мест, комплект мультимедийной аудитории Тип 2 (возможность доступа к сети «Интернет») – 1 шт., стол компьютерный – 16 шт., стол – 2 шт., стул – 28 шт., компьютер для студентов – 18 шт., (возможность доступа к сети «Интернет»), принтер – 1 шт.

Аудитория:

90 посадочных мест, Мультимедийный проектор – 1 шт., стол – 45 шт., стул – 92 шт., АРМ преподавателя ПК (системный блок, монитор) – 2 шт. (возможность доступа к сети «Интернет»)

## **8.2. Помещения для самостоятельной работы:**

1. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 13 посадочных мест. Стул – 25 шт., стол – 2 шт., стол компьютерный – 13 шт., шкаф – 2 шт., доска аудиторная маркерная – 1 шт., АРМ учебное ПК (монитор + системный блок) – 14 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional: ГК № 1464-12/10 от 15.12.10 «На поставку компьютерного оборудования» ГК № 959-09/10 от 22.09.10 «На поставку компьютерной техники» ГК № 447-06/11 от 06.06.11 «На поставку оборудования» ГК № 984-12/11 от 14.12.11 «На поставку оборудования» Договор № 1105-12/11 от 28.12.2011 «На поставку компьютерного оборудования», Договор № 1106-12/11 от 28.12.2011 «На поставку компьютерного оборудования» ГК № 671-08/12 от 20.08.2012 «На поставку продукции», Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012, Microsoft Open License 48358058 от 11.04.2011, Microsoft Open License 49487710 от 20.12.2011, Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011 ,

Microsoft Office 2010 Standard: Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012 , Microsoft Open License 60853086 от 31.08.2012

Kaspersky antivirus 6.0.4.142

2. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 17 посадочных мест. Доска для письма маркером – 1 шт., рабочие места студентов, оборудованные ПК с доступом в сеть университета – 17 шт., мультимедийный проектор – 1 шт., АРМ преподавателя для работы с мультимедиа – 1 шт. (системный блок, мониторы – 2 шт.), стол – 18 шт., стул – 18 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Операционная система Microsoft Windows XP Professional ГК №797-09/09 от 14.09.09 «На поставку компьютерного оборудования».

Операционная система Microsoft Windows 7 Professional Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011 .

Microsoft Office 2007 Standard Microsoft Open License 42620959 от 20.08.2007

3. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 16 посадочных мест. Стол компьютерный для студентов (тип 4) - 3 шт., стол компьютерный для студентов (тип 6) – 2 шт., стол компьютерный для студентов (тип 7) – 1 шт., кресло преподавателя (сетка, цвет черный) – 17 шт., доска напольная мобильная белая магнитно-маркерная «Magnetoplan» 1800мм×1200мм - 1 шт., моноблок Lenovo M93Z Intel Q87 – 17 шт., плакат – 5 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional: Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011 .

Microsoft Office 2007 Professional Plus: Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010 .

CorelDRAW Graphics Suite X5 Договор №559-06/10 от 15.06.2010 «На поставку программного обеспечения»

Autodesk product: Building Design Suite Ultimate 2016, product Key: 766H1



Cisco Packet Tracer 7.1 (свободно распространяемое ПО), Quantum GIS (свободно распространяемое ПО), Python (свободно распространяемое ПО), R (свободно распространяемое ПО), Rstudio (свободно распространяемое ПО), SMATH Studio (свободно распространяемое ПО), GNU Octave (свободно распространяемое ПО), Scilab (свободно распространяемое ПО)

### **8.3. Помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования:**

#### **1. Центр новых информационных технологий и средств обучения:**

Оснащенность: персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 4 шт., сетевой накопитель – 1 шт., источник бесперебойного питания – 2 шт., телевизор плазменный Panasonic – 1 шт., точка Wi-Fi – 1 шт., паяльная станция – 2 шт., дрель – 5 шт., перфоратор – 3 шт., набор инструмента – 4 шт., тестер компьютерной сети – 3 шт., баллон со сжатым газом – 1 шт., паста теплопроводная – 1 шт., пылесос – 1 шт., радиостанция – 2 шт., стол – 4 шт., тумба на колесиках – 1 шт., подставка на колесиках – 1 шт., шкаф – 5 шт., кресло – 2 шт., лестница Alve – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012)

Microsoft Office 2010 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012)

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (Договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17)

#### **2. Центр новых информационных технологий и средств обучения:**

Оснащенность: стол – 5 шт., стул – 2 шт., кресло – 2 шт., шкаф – 2 шт., персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 2 шт., МФУ – 1 шт., тестер компьютерной сети – 1 шт., баллон со сжатым газом – 1 шт., шуруповерт – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012)

Microsoft Office 2007 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010)

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (Договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17)

#### **3. Центр новых информационных технологий и средств обучения:**

Оснащенность: стол – 2 шт., стул – 4 шт., кресло – 1 шт., шкаф – 2 шт., персональный компьютер – 1 шт. (доступ к сети «Интернет»), веб-камера Logitech HD C510 – 1 шт., колонки Logitech – 1 шт., тестер компьютерной сети – 1 шт., дрель – 1 шт., телефон – 1 шт., набор ручных инструментов – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 48358058 от 11.04.2011)

Microsoft Office 2007 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010)

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (Договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17)

### **8.4. Лицензионное программное обеспечение:**

1. Microsoft Windows 8 Professional (договор бессрочный ГК № 875-09/13 от 30.09.2013 «На поставку компьютерной техники»)

2. Microsoft Office 2007 Standard (договор бессрочный Microsoft Open License 42620959 от 20.08.2007)

3. Microsoft Office 2010 Professional Plus (договор бессрочный Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012, договор бессрочный Microsoft Open License 47665577 от 10.11.2010, договор бессрочный Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011)