

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Минцаев Магомед Шавалович

Должность: Ректор

Дата подписания: 14.09.2023 13:32:51

Уникальный программный ключ:

236bcc35c296f119d6aafdc22836b21db52dbc07971a86865a5825f9fa4304cc

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**имени академика М.Д. Миллионщикова**

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор

И.Г. Гайрабеков

« 12 » Сб 2023 г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

### **«ГАЗОТУРБИННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ»**

#### **Направление подготовки**

13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

#### **Направленность (профиль)**

«Теплоэнергетика и теплотехника»

#### **Квалификация**

Магистр

Год начала подготовки: 2023

Грозный – 2023

## 1. Цели и задачи дисциплины

**Основная цель курса:** В результате освоения дисциплины «Газотурбинные технологии производства электрической и тепловой энергии» магистрант приобретает знания, умения и навыки по эксплуатации и обслуживанию установок и оборудования современного производства электрической и тепловой энергии с высокой эффективностью, выполнением требований защиты окружающей среды и правил безопасности производства; научно-исследовательской и проектно-конструкторской деятельности в области современных технологий производства электрической и тепловой энергии.

### Задачи изучения курса:

- приобретение студентами необходимых знаний о принципах работы ГТУ;
- получения навыков решения теоретических задач по определению термодинамических параметров ГТУ;
- овладение навыками контроля основных параметров и режимов работы агрегата;
- формирование навыков оптимального и рационального использования современных технологий;
- применение полученных знаний, навыков и умений в последующей профессиональной деятельности.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Учебная дисциплина «Газотурбинные технологии производства электрической и тепловой энергии» относится к дисциплинам по выбору студента, части, формируемой участниками образовательных отношений в учебном плане направления 13.04.01. «Теплоэнергетика и теплотехника» и предусмотрена для изучения в 4 семестре курса, базируется на знании общетехнических и специальных дисциплин: Инновационные технологии производства электрической и тепловой энергии. Принципы эффективного управления технологическими процессами в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологиях, Проблемы энерго- и ресурсосбережения в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологиях, Тепломассообменные процессы энергетике, методы расчета, Испытание, наладка и надежность теплоэнергетического оборудования.

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Таблица 1

Код по ФГОС	Индикаторы достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВ)
<b>Профессиональные</b>		
ПК-2 способностью к разработке мероприятий по совершенствованию технологии производства; обеспечению	ПК-2.1. Анализирует информацию по новейшим в мировом масштабе разработкам технологий применяемых на данном предприятии и предлагает готовые решения по их внедрению;	<b>Знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- типы комбинированных газо- и паротурбинных установок для выработки электрической и тепловой энергии;</li><li>- особенности рабочего процесса в парогазовых</li></ul>

<p>бесперебойной работы, правильной эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования.</p>	<p><b>ПК-2.2.</b> Вырабатывает план мероприятий и последовательность проведения операций по совершенствованию технологических решений и последовательное внедрение их в производственный процесс;</p> <p><b>ПК-2.3.</b> Использует современные нормативные методы определения работоспособности оборудования, на основе грамотной работы с технологической документацией, техническими регламентами и паспортами своевременно сообщает руководству о необходимости проведения его ремонта и модернизации.</p>	<p>энергоустановках различных схем для выработки электрической и тепловой энергии;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пути и методы обеспечения высокой топливной экономичности и обоснованной надёжности на проектно-конструкторской и эксплуатационной стадиях жизненного цикла парогазовых энергоустановок;</li> <li>- место котельной установки и парогенератора в технологической схеме ТЭС и АЭС;</li> <li>- схемы генерации пара и характеристика процессов генерации;</li> <li>- основные уравнения гидродинамики и теплообмена водонапорного тракта;</li> <li>- принципиальные тепловые схемы парогазовых энергоустановок с КУ;</li> <li>- термодинамические свойства ПГУ с КУ; основные показатели ПГУ; схемы парогазовых энергоустановок с КУ с дожиганием топлива;</li> <li>- ПГУ с параллельной схемой работы: тепловые схемы, конструкция КУ, особенности технологического процесса.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- принимать решения в области теплоэнергетики, теплотехники и теплотехнологии с учетом особенностей тепловых схем ПГУ для выработки электрической и тепловой энергии;</li> <li>- производить тепловой</li> </ul>
---	---	--

		<p>расчёт парогазотурбинных установок различных схем для выработки электрической и тепловой энергии;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- составлять технические условия на проведение экспериментальных испытаний парогазовых энергоустановок для выработки электрической и тепловой энергии;</li><li>- определять эксплуатационные характеристики парогазовых энергоустановок для выработки электрической и тепловой энергии.</li></ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- навыками работы с нормативной и технической документацией;</li><li>- методами построения современных тепловых схем парогазовых энергоустановок для выработки электрической и тепловой энергии;</li><li>- принципами построения алгоритмов расчета теплотехнических энергоустановок для выработки электрической и тепловой энергии;</li><li>- навыками работы с современными аппаратными и программными средствами исследования и проектирования парогазовых энергоустановок;</li><li>- методикой расчета, простого и сложного контуров циркуляции;</li><li>- методикой расчета конвективных поверхностей нагрева;</li><li>- методикой расчетов воздушного и дымового</li></ul>
--	--	--

		трактов котла; - методами сравнения тепловой экономичности энергоустановок.
--	--	--

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

Таблица 2

Вид учебной работы	Всего часов/ зач.ед.		Семестры	
	ОФО	ЗФО	1	4
			ОФО	ЗФО
<b>Контактная работа (всего)</b>	<b>48/1,3</b>	<b>20/0,6</b>	<b>68/1,9</b>	<b>20/0,6</b>
В том числе:				
Лекции	32/0,9	10/0,3	32/0,9	10/0,3
Практические занятия	16/0,4	10/0,3	16/0,4	10/0,3
Семинары				
Лабораторные работы				
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	<b>96/2,1</b>	<b>124/3,3</b>	<b>76/2,1</b>	<b>124/3,3</b>
В том числе:				
Курсовая проект (работа)				
Расчетно-графические работы				
ИТР				
Рефераты	24/0,7	52/1,4	24/0,7	52/1,4
Доклады				
Презентации				
<i>И (или) другие виды самостоятельной работы:</i>				
Подготовка к лабораторным работам				
Подготовка к практическим занятиям	36/1,0	36/1,0	36/1,0	36/1,0
Подготовка к зачету				
Подготовка к экзамену	36/1,0	36/1,0	36/1,0	36/1,0
Вид промежуточной аттестации				
<b>Вид отчетности</b>	экзамен	экзамен	экзамен	экзамен
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>ВСЕГО в часах</b>	<b>144</b>	<b>144</b>	<b>144</b>
	<b>ВСЕГО в зач. единицах</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Таблица 3

№ п/п	Наименование раздела дисциплины по семестрам	Часы лекционных занятий		Часы лабораторных занятий		Часы практических (семинарских) занятий		Всего часов/ з.е.	
		ОФО	ЗФО	ОФО	ЗФО	ОФО	ЗФО	ОФО	ЗФО
1	Элементы технической термодинамики	4	1			1	1	6	2
2	Рабочие процессы в газотурбинных установках	6	2			2	1	8	4
3	Основные характеристики и показатели работы газотурбинной установки.	4	2			2	2	6	4
4	Конструктивные особенности газотурбинных установок	4	1			1	1	6	2
5	Вопросы охлаждения деталей газовых турбин.	4	1			1	1	6	2
6	Режимы работы газотурбинных установок.	6	2			2	1	10	4
7	Газотурбинная установка как двигатель тепловых электростанций	4	1			1	1	6	2
	<b>ИТОГО:</b>	<b>32</b>	<b>10</b>			<b>10</b>	<b>8</b>	<b>48</b>	<b>20</b>

## 5.2 Лекционные занятия

Таблица 4

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1	2	3
1	Элементы технической термодинамики	<p>Способы реализации цикла Брайтона. Потери в проточной части паровой турбины. Цикл Ренкина. Принципиальное отличие ДВС и ГТУ. Две модификации цикла Брайтона. Цикл с подводом теплоты при постоянном давлении. Цикл с подводом теплоты при постоянном объеме. Установки непрерывного и прерывистого горения. Принципиальная схема установки для реализации цикла Брайтона. Принципиальная схема установки для реализации цикла Брайтона. Регенеративный цикл Брайтона. Принципиальная схема ГТУ, работающей по регенеративному циклу Брайтона. Замкнутые и разомкнутые схемы работы ГТУ. Термодинамические параметры состояния и функции процесса. Феноменологический метод термодинамики. Статистический (или физический) метод термодинамики. Рабочее тело. Интенсивные и экстенсивные параметры состояния, уравнение состояния. Термодинамический процесс. Температурный напор, или градиент температур. Функции процесса. Первый закон термодинамики в форме Лагранжа. Закон Авогадро. Дифференциальная форма первого закона термодинамики для выделенного элемента с массой <math>m</math>. Изохорный процесс, изобарный процесс, адиабатический (адиабатный) процесс, показатель адиабаты, изотермический процесс, политропный (политропический) процесс, показатель политропы. Второй закон термодинамики, термодинамический цикл. Энтальпия. Энтропия. Интеграл Клаузиуса. Диаграммы состояния и термодинамические циклы. Цикл Карно и карнотизированный цикл Брайтона. КПД цикла Карно. Принцип «карнотизации». Диаграммы <math>p-v</math>, <math>T-s</math> и <math>h-s</math>. Цикл Ренкина с двойным перегревом пара. Термодинамическое совершенствование цикла Брайтона. Цикл ГТУ с двухступенчатым подводом тепла. Процесс регенерации в ГТУ.</p>
2	Рабочие процессы в газотурбинных установках	<p>Рабочие процессы в газотурбинных установках. Степень повышения давления в компрессоре. Понятие идеального компрессора. Промежуточное охлаждение. Процесс сжатия в компрессоре. Процессы в камерах сгорания и дожигания. Схема материальных потоков и параметров камеры сгорания. Уравнение теплового баланса камеры сгорания. Формула для определения коэффициента избытка воздуха. Определение массы дожигаемого топлива. Коэффициент избытка воздуха после камеры дожигания. Процесс расширения в турбине. Идеальный и реальный процессы сжатия в турбине. Степень понижения давления в турбине. Идеальная работа расширения в турбине. Работа реальной турбины. Потери работы, связанные с расширением. Понятие внутреннего (или адиабатического) КПД. Преобразование энергии в турбинной ступени. Рабочий процесс в турбинной ступени. Активная и чисто реактивная Турбина. Кинематическая степень реактивности.</p>

1	2	3
3	Основные характеристики и показатели работы газотурбинной установки.	<p>Принципиальная технологическая схема и термодинамический цикл простейшей ГТУ, работающей на природном газе.</p> <p>Удельная работа турбины.</p> <p>Удельная работа, потребляемая компрессором.</p> <p>Удельная полезная работа ГТУ.</p> <p>Внутренний КПД ГТУ.</p> <p>Внутренняя мощность ГТУ.</p> <p>Эффективный КПД ГТУ.</p> <p>Электрический КПД.</p> <p>Температурный коэффициент.</p> <p>Зависимость величины полезной удельной работы простой ГТУ от степени повышения давления.</p> <p>Зависимость внутреннего КПД простой ГТУ от начальной температуры газа и степени повышения давления.</p>
4	Конструктивные особенности газотурбинных установок	<p>Конструктивные особенности газотурбинных установок.</p> <p>Основные отличия ГТУ и ПТУ, влияющие на конструкторские решения.</p> <p>Назначение и эксплуатация стационарных и транспортных ГТУ.</p> <p>Основные характерные особенности ГТУ.</p> <p>Конструктивные схемы ГТУ.</p> <p>Конструктивная схема ГТУ с встроенной камерой сгорания.</p> <p>Конструктивная схема ГТУ с разрезным валом и выносной камерой сгорания. Схема консольного ротора.</p> <p>Расчет критической частоты вращения для консольных роторов.</p> <p>Конструктивная схема ротора ГТУ GT 35.</p> <p>Конструктивная схема ГТУ-100-750 ЛМЗ.</p> <p>Турбодетандеры. Общие принципы компоновки и конструкции.</p> <p>Газовые турбины. Ротор газовой турбины.</p> <p>Конструктивные варианты роторов газовых турбин.</p> <p>Рабочие лопатки турбины.</p> <p>Геометрия елочного хвоста рабочей лопатки.</p> <p>Способы осевой фиксации рабочих лопаток турбины с елочным хвостом.</p> <p>Компрессоры.</p> <p>Конструкция осевых компрессоров ГТУ. Лабиринтные уплотнения ГТУ.</p> <p>Камера сгорания ГТУ.</p> <p>Первичный и вторичный, воздух.</p> <p>Секционная камера сгорания.</p> <p>Схемы встроенных камер сгорания.</p> <p>Основные характеристики камер сгорания ГТУ:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- коэффициент потери давления;</li> <li>- коэффициент полезного действия;</li> <li>- неравномерность поля температур;</li> <li>- теплонапряженность рабочего объема;</li> <li>- срывные характеристики;</li> <li>- содержание вредных выбросов в продуктах сгорания.</li> </ul> <p>Вспомогательные системы и механизмы ГТУ.</p> <p>Системы очистки и охлаждения воздуха перед компрессором, система шумоглушения, антипомпажная система, устройство для промывки компрессора, система топливоподачи, маслоснабжения, электроснабжения, противопожарная система.</p>

1	2	3
5	Вопросы охлаждения деталей газовых турбин.	<p>Вопросы охлаждения деталей газовых турбин. Постановка задачи охлаждения газовой турбины. Способы охлаждения турбинных лопаток. Наружное охлаждение. Парциальный подвод охлаждающего агента по некоторому сектору проточной части турбины. Заградительное охлаждение. Типы заградительного охлаждения: пленочное охлаждение, пористое охлаждение. Внутреннее охлаждение. Типы лопаток с внутренним охлаждением. Термосифонное охлаждение. Схема лопаток с термосифонным охлаждением. Корневое охлаждение. Оценка эффективности охлаждения. Понятие безразмерной температуры лопатки. Удельный расход охладителя. Расход охлаждающего агента. Безразмерный параметр охлаждения. Сравнительная эффективность способов воздушного охлаждения лопаток. Влияние охлаждения на КПД ступени. Выбор теплоносителя для системы охлаждения. Роль теплоносителя (охлаждающего агента) в системах охлаждения газовых турбин. Газообразные теплоносители. Теплофизические свойства теплоносителей. Жидкостные теплоносители. Критический тепловой поток. Кризис теплообмена первого рода. Газо-жидкостные теплоносители. Использование пара для охлаждения турбин. Степень паровой парциальности. Зависимость необходимой величины паровой парциальности от температуры газового потока. Принципиальная схема проточной части гипотетической газопаровой турбины с двухъярусными лопатками.</p>
6	Режимы работы газотурбинных установок.	<p>Режимы работы газотурбинных установок. Рабочие режимы газотурбинных установок. Мощности (режимы) ГТУ:  - номинальный режим (расчетный) режим,  - режимы частичной нагрузки, (переменные или нерасчетные режимы). Режим холостого хода, режимы перегрузки. Динамические режимы ГТУ: пусковой режим, переходные режимы. Динамические характеристики ГТУ. Вопросы подобия в теории турбомашин как агрегатов в целом, так и отдельных процессов в них. Геометрическое подобие. Динамическое подобие. Кинематическое подобие. Критерии, характеризующие режимы работы турбины.</p> <p>Статические характеристики газотурбинных установок. расчетные методы построения характеристик турбины, относительная степень повышения давления, безразмерный расход воздуха. Совмещенная характеристика компрессора и турбины одновальной ГТУ. Относительные режимные характеристики одновальной ГТУ. Режимы пуска и остановки ГТУ. Четыре основных этапа процесса пуска одновальной ГТУ. Первый этап — холодная раскрутка ротора. Второй этап — совместная работа пускового устройства и газовой турбины. Третий этап — разгон ротора. Четвертый этап - синхронизация частоты вращения ротора и напряжения электрогенератора с частотой в сети. Штатный и аварийный режим остановки ГТУ.</p> <p>Способы регулирования газотурбинных установок. Два способа регулирования мощности ГТУ: количественный, качественный. Сравнение эффективности двухвальной и одновальной ГТУ на частичных нагрузках. Управление работой газотурбинных установок. Автоматизированные системы управления основным и вспомогательным оборудованием (САУ). Основные функции САУ.</p>

7	Газотурбинная установка как двигатель тепловых электростанций	Газотурбинная установка как двигатель тепловых электростанций. Сравнение газотурбинных установок с другими тепловыми двигателями. Технические и эксплуатационные достоинства ГТУ по сравнению с ПТУ. Недостатки ГТУ при сравнении их с ПТУ. Технические требования к энергетическим газотурбинным установкам. Характеристики газотурбинных установок и фирмы, производящие газотурбинные установки. Характеристики отдельных современных ГТУ.
---	---	---

### 5.3 Лабораторные работы (не предусмотрены)

### 5.4. Практические (семинарские) занятия

Таблица 5

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1	Элементы технической термодинамики	Регенеративный цикл Брайтона. Принципиальная схема ГТУ, работающей по регенеративному циклу Брайтона. Замкнутые и разомкнутые схемы работы ГТУ.
2	Рабочие процессы в газотурбинных установках	Преобразование энергии в турбинной ступени. Рабочий процесс в турбинной ступени. Активная и чисто реактивная. Турбина. Кинематическая степень реактивности.
3	Основные характеристики и показатели работы газотурбинной установки.	Зависимость величины полезной удельной работы простой ГТУ от степени повышения давления.
4	Конструктивные особенности газотурбинных установок	Конструктивная схема ГТУ с встроенной камерой сгорания. Конструктивная схема ГТУ с разрезным валом и выносной камерой сгорания. Схема консольного ротора
5	Вопросы охлаждения деталей газовых турбин.	Выбор теплоносителя для системы охлаждения. Роль теплоносителя (охлаждающего агента) в системах охлаждения газовых турбин. Газообразные теплоносители. Теплофизические свойства теплоносителей
6	Режимы работы газотурбинных установок.	Способы регулирования газотурбинных установок. Два способа регулирования мощности ГТУ: количественный, качественный
7	Газотурбинная установка как двигатель тепловых электростанций	Недостатки ГТУ при сравнении их с ПТУ. Технические требования к энергетическим газотурбинным установкам.

## 6. Самостоятельная работа магистрантов по дисциплине

### 6.1 Вопросы для самостоятельного изучения

Таблица 6

№ п/п	Темы для самостоятельного изучения
-------	------------------------------------

1	Исследование режимов работы энергетических ГТУ
2	Исследование влияния и климатических характеристик на показатели экономичности энергетических ГТУ
3	Исследование работы одноконтурной парогазовой ТЭС с котлом-утилизатором
4	Исследование работы двухконтурной парогазовой ТЭС с котлом-утилизатором
5	Способы повышения экономичности ГТУ.
6	Устройство основных элементов газотурбинных установок
7	Моделирование режимов работы ГТУ ТЭЦ. Оптимизация характеристик, оборудования и
8	Устройство основных элементов газотурбинных установок.
9	Способы повышения экономичности ГТУ.
10	Устройство основных элементов газотурбинных установок.
11	Моделирование режимов работы ГТУ ТЭЦ.
12	Оптимизация характеристик, оборудования и технических решений при разработке ГТУ-ТЭЦ.
13	Техническое обслуживание ГТУ.
14	Топливное хозяйство ГТУ.
15	Моделирование режимов работы ГТУ ТЭЦ.

## 6.2. Темы ИТР по дисциплине

1. Тепловые расчеты простой ГТУ
2. Тепловой расчет ГТУ с регенерацией
3. Расчет ПГУ с полузависимой схемой
4. Расчет выбросов ПГУ в атмосферу
5. Расчет основных размеров и показателей оборудования ГТУ (компрессора, камеры сгорания, турбины)
6. Тепловой расчет котла-утилизатора ПГУ

### *Контрольная работа №1, примеры вопросов*

1. Схема и цикл простейшей газотурбинной установки открытого типа.
2. Работа турбины, работа цикла в ГТУ простого цикла.
3. Расход воздуха, газа и расход топлива в ГТУ простого цикла.
4. Мощность ГТУ простого цикла, термический КПД, абсолютный электрический КПД.
5. Способы повышения тепловой экономичности ГТУ.
6. Достоинства и недостатки ГТУ.
7. Схема и цикл ГТУ со ступенчатым сжатием воздуха.
8. Работа турбины, работа цикла в ГТУ со ступенчатым сжатием воздуха.
9. Расход воздуха, газа и расход топлива в ГТУ со ступенчатым сжатием воздуха.
10. Мощность ГТУ, термический КПД, абсолютный электрический КПД ГТУ со ступенчатым сжатием воздуха.

## 6.3 Темы рефератов:

1. Способы реализации цикла Брайтона. Потери в проточной части паровой турбины. Цикл Ренкина. Принципиальное отличие ДВС и ГТУ
2. Две модификации цикла Брайтона. Цикл с подводом теплоты при постоянном давлении. Цикл с подводом теплоты при постоянном объеме
3. Установки непрерывного и прерывистого горения. Принципиальная схема установки для реализации цикла Брайтона
4. Регенеративный цикл Брайтона. Принципиальная схема ГТУ, работающей по

- регенеративному циклу Брайтона. Замкнутые и разомкнутые схемы работы ГТУ
5. Термодинамические параметры состояния и функции процесса. Феноменологический метод термодинамики. Статистический (или физический) метод термодинамики. Рабочее тело
  6. Интенсивные и экстенсивные параметры состояния, уравнение состояния. Термодинамический процесс. Температурный напор, или градиент температур. Функции процесса
  7. Первый закон термодинамики в форме Лагранжа. Закон Авогадро. Дифференциальная форма первого закона термодинамики для выделенного элемента с массой  $m$
  8. Изохорный процесс, изобарный процесс, адиабатический (адиабатный) процесс, показатель адиабаты, изотермический процесс, политропный (политропический) процесс, показатель политропы
  9. Второй закон термодинамики, термодинамический цикл. Энтальпия. Энтропия. Интеграл Клаузиуса. Диаграммы состояния и термодинамические циклы
  10. Цикл Карно и карнотизированный цикл Брайтона. КПД цикла Карно. Принцип «карнотизации». Диаграммы  $p-v$ ,  $T-s$  и  $h-s$ . Цикл Ренкина с двойным перегревом пара
  11. Термодинамическое совершенствование цикла Брайтона. Цикл ГТУ с двухступенчатым подводом тепла. Процесс регенерации в ГТУ
  12. Рабочие процессы в газотурбинных установках. Степень повышения давления в компрессоре. Понятие идеального компрессора
  13. Промежуточное охлаждение. Процесс сжатия в компрессоре. Процессы в камерах сгорания и дожигания
  14. Схема материальных потоков и параметров камеры сгорания. Уравнение теплового баланса камеры сгорания
  15. Формула для определения коэффициента избытка воздуха. Определение массы дожигаемого топлива. Коэффициент избытка воздуха после камеры дожигания
  16. Процесс расширения в турбине. Идеальный и реальный процессы сжатия в турбине. Степень понижения давления в турбине
  17. Идеальная работа расширения в турбине. Работа реальной турбины. Потери работы, связанные с расширением. Понятие внутреннего (или адиабатического) КПД
  18. Преобразование энергии в турбинной ступени. Рабочий процесс в турбинной ступени. Активная и чисто реактивная. Турбина. Кинематическая степень реактивности
  19. Принципиальная технологическая схема и термодинамический цикл простейшей ГТУ, работающей на природном газе
  20. Удельная работа турбины. Удельная работа, потребляемая компрессором
  21. Удельная полезная работа ГТУ. Внутренний КПД ГТУ. Внутренняя мощность ГТУ
  22. Эффективный КПД ГТУ. Электрический КПД. Температурный коэффициент
  23. Зависимость величины полезной удельной работы простой ГТУ от степени повышения давления
  24. Зависимость внутреннего КПД простой ГТУ от начальной температуры газа и степени повышения давления
  25. Конструктивные особенности газотурбинных установок. Основные отличия ГТУ и ПТУ, влияющие на конструкторские решения
  26. Назначение и эксплуатация стационарных и транспортных ГТУ. Основные характерные особенности ГТУ.

## Конструктивные схемы ГТУ

27. Конструктивная схема ГТУ с встроенной камерой сгорания. Конструктивная схема ГТУ с разрезным валом и выносной камерой сгорания. Схема консольного ротора
28. Расчет критической частоты вращения для консольных роторов. Конструктивная схема ротора ГТУ GT 35. Конструктивная схема ГТУ-100-750 ЛМЗ
29. Турбодетандеры. Общие принципы компоновки и конструкции. Газовые турбины. Ротор газовой турбины
30. Конструктивные варианты роторов газовых турбин. Рабочие лопатки турбины
31. Геометрия елочного хвоста рабочей лопатки. Способы осевой фиксации рабочих лопаток турбины с елочным хвостом
32. Компрессоры. Конструкция осевых компрессоров ГТУ. Лабиринтные уплотнения ГТУ
33. Камера сгорания ГТУ. Первичный и вторичный, воздух. Секционная камера сгорания
34. Основные характеристики камер сгорания ГТУ:
  - коэффициент потери давления;
  - коэффициент полезного действия;
  - неравномерность поля температур;
  - теплонапряженность рабочего объема;
  - срывные характеристики;
  - содержание вредных выбросов в продуктах сгорания
35. Системы очистки и охлаждения воздуха перед компрессором, система шумоглушения, антипомпажная система, устройство для промывки компрессора, система топливоподачи, маслоснабжения, электроснабжения, противопожарная система
36. Вопросы охлаждения деталей газовых турбин. Постановка задачи охлаждения газовой турбины. Способы охлаждения турбинных лопаток
37. Наружное охлаждение. Парциальный подвод охлаждающего агента по некоторому сектору проточной части турбины. Заградительное охлаждение
38. Типы заградительного охлаждения: пленочное охлаждение, пористое охлаждение. Внутреннее охлаждение. Типы лопаток с внутренним охлаждением
39. Термосифонное охлаждение. Схема лопаток с термосифонным охлаждением. Корневое охлаждение
40. Оценка эффективности охлаждения. Понятие безразмерной температуры лопатки. Удельный расход охладителя. Расход охлаждающего агента.
41. Безразмерный параметр охлаждения. Сравнительная эффективность способов воздушного охлаждения лопаток. Влияние охлаждения на КПД ступени
42. Выбор теплоносителя для системы охлаждения. Роль теплоносителя (охлаждающего агента) в системах охлаждения газовых турбин
43. Газообразные теплоносители. Теплофизические свойства теплоносителей. Жидкостные теплоносители. Критический тепловой поток
44. Кризис теплообмена первого рода. Газо-жидкостные теплоносители. Использование пара для охлаждения турбин
45. Степень паровой парциальности. Зависимость необходимой величины паровой парциальности от температуры газового потока
46. Принципиальная схема проточной части гипотетической газопаровой турбины с двухъярусными лопатками
47. Режимы работы газотурбинных установок. Рабочие режимы газотурбинных установок. Мощности (режимы) ГТУ

48. Режим холостого хода, режимы перегрузки. Динамические режимы ГТУ: пусковой режим, переходные режимы. Динамические характеристики ГТУ
49. Вопросы подобия в теории турбомашин как агрегатов в целом, так и отдельных процессов в них. Геометрическое подобие
50. Динамическое подобие. Кинематическое подобие. Критерии, характеризующие режимы работы турбины
51. Статические характеристики газотурбинных установок. расчетные методы построения характеристик турбины, относительная степень повышения давления, безразмерный расход воздуха.
52. Совмещенная характеристика компрессора и турбины одновальной ГТУ. Относительные режимные характеристики одновальной ГТУ
53. Режимы пуска и остановки ГТУ. Четыре основных этапа процесса пуска одновальной ГТУ
54. Штатный и аварийный режим остановки ГТУ
55. Способы регулирования газотурбинных установок. Два способа регулирования мощности ГТУ: количественный, качественный
56. Сравнение эффективности двухвальной и одновальной ГТУ на частичных нагрузках. Управление работой газотурбинных установок
57. Автоматизированные системы управления основным и вспомогательным оборудованием (САУ). Основные функции САУ
58. Газотурбинная установка как двигатель тепловых электростанций. Сравнение газотурбинных установок с другими тепловыми двигателями
59. Технические и эксплуатационные достоинства ГТУ по сравнению с ПТУ. Недостатки ГТУ при сравнении их с ПТУ
60. Технические требования к энергетическим газотурбинным установкам
61. Характеристики газотурбинных установок и фирмы, производящие газотурбинные установки. Характеристики отдельных современных ГТУ

### 6.3. Учебно-методическое и информационное обеспечение самостоятельной работы

#### Литература:

1.	Трухний А.Д. Парогазовые установки электростанций [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ Трухний А.Д.— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2013.— 648 с.— Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/33207.html">http://www.iprbookshop.ru/33207.html</a> .— ЭБС «IPRbooks»
2.	Газотурбинные энергетические установки [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ С.В. Цанев [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2011.— 427 с.— Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/33113.html">http://www.iprbookshop.ru/33113.html</a> .— ЭБС «IPRbooks»
3.	Дерюшев Л.Г. Воздуходувные установки и станции [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Дерюшев Л.Г.— Электрон. текстовые данные.— М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2015.— 163 с.— Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/39649.html">http://www.iprbookshop.ru/39649.html</a> .— ЭБС «IPRbooks»
4.	Газотурбинные энергетические установки [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ С.В. Цанев [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2011.— 427 с.— Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/33113.html">http://www.iprbookshop.ru/33113.html</a> .— ЭБС «IPRbooks»

5.	Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок [Электронный ресурс] — Электрон. текстовые данные.— М.: ЭНАС, 2017.— 208 с.— Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/76184.html">http://www.iprbookshop.ru/76184.html</a> .— ЭБС «IPRbooks»
----	---

## 7. Оценочные средства

### 7.1. Вопросы к рубежным аттестациям

#### Вопросы к первому текущему контролю освоения дисциплины

1. Способы реализации цикла Брайтона. Потери в проточной части паровой турбины. Цикл Ренкина. Принципиальное отличие ДВС и ГТУ
2. Две модификации цикла Брайтона. Цикл с подводом теплоты при постоянном давлении. Цикл с подводом теплоты при постоянном объеме
3. Установки непрерывного и прерывистого горения. Принципиальная схема установки для реализации цикла Брайтона
4. Регенеративный цикл Брайтона. Принципиальная схема ГТУ, работающей по регенеративному циклу Брайтона. Замкнутые и разомкнутые схемы работы ГТУ
5. Термодинамические параметры состояния и функции процесса. Феноменологический метод термодинамики. Статистический (или физический) метод термодинамики. Рабочее тело.
6. Интенсивные и экстенсивные параметры состояния, уравнение состояния. Термодинамический процесс. Температурный напор, или градиент температур.
7. Первый закон термодинамики в форме Лагранжа. Закон Авогадро. Дифференциальная форма первого закона термодинамики для выделенного элемента с массой  $m$
8. Изохорный процесс, изобарный процесс, адиабатический (адиабатный) процесс, показатель адиабаты, изотермический процесс, политропный (политропический) процесс, показатель политропы
9. Второй закон термодинамики, термодинамический цикл. Энтальпия. Энтропия. Интеграл Клаузиуса. Диаграммы состояния и термодинамические циклы
10. Цикл Карно и карнотизированный цикл Брайтона. КПД цикла Карно. Принцип «карнотизации». Диаграммы  $p-v$ ,  $T-s$  и  $h-s$ . Цикл Ренкина с двойным перегревом пара
11. Термодинамическое совершенствование цикла Брайтона. Цикл ГТУ с двухступенчатым подводом тепла. Процесс регенерации в ГТУ
12. Рабочие процессы в газотурбинных установках. Степень повышения давления в компрессоре. Понятие идеального компрессора
13. Промежуточное охлаждение. Процесс сжатия в компрессоре. Процессы в камерах сгорания и дожигания
14. Схема материальных потоков и параметров камеры сгорания. Уравнение теплового баланса камеры сгорания
15. Формула для определения коэффициента избытка воздуха. Определение массы дожигаемого топлива. Коэффициент избытка воздуха после камеры дожигания
16. Процесс расширения в турбине. Идеальный и реальный процессы сжатия в турбине. Степень понижения давления в турбине
17. Идеальная работа расширения в турбине. Работа реальной турбины. Потери

- работы, связанные с расширением. Понятие внутреннего (или адиабатического) КПД
18. Преобразование энергии в турбинной ступени. Рабочий процесс в турбинной ступени. Активная и чисто реактивная. Турбина. Кинематическая степень реактивности
  19. Принципиальная технологическая схема и термодинамический цикл простейшей ГТУ, работающей на природном газе
  20. Удельная работа турбины. Удельная работа, потребляемая компрессором
  21. Удельная полезная работа ГТУ. Внутренний КПД ГТУ. Внутренняя мощность ГТУ
  22. Эффективный КПД ГТУ. Электрический КПД. Температурный коэффициент
  23. Зависимость величины полезной удельной работы простой ГТУ от степени повышения давления
  24. Зависимость внутреннего КПД простой ГТУ от начальной температуры газа и степени повышения давления
  25. Конструктивные особенности газотурбинных установок. Основные отличия ГТУ и ПТУ, влияющие на конструкторские решения
  26. Назначение и эксплуатация стационарных и транспортных ГТУ. Основные характерные особенности ГТУ. Конструктивные схемы ГТУ
  27. Конструктивная схема ГТУ с встроенной камерой сгорания. Конструктивная схема ГТУ с разрезным валом и выносной камерой сгорания. Схема консольного ротора
  28. Расчет критической частоты вращения для консольных роторов. Конструктивная схема ротора ГТУ GT 35. Конструктивная схема ГТУ-100-750 ЛМЗ
  29. Турбодетандеры. Общие принципы компоновки и конструкции. Газовые турбины. Ротор газовой турбины
  30. Конструктивные варианты роторов газовых турбин. Рабочие лопатки турбины

### Образец билета к первому текущему контролю знаний по дисциплине

ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ КАФЕДРА "ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА" <b>Билет № 1</b>	
<u>Первый текущий контроль знаний</u>	
Дисциплина: «Газотурбинные технологии производства электрической и тепловой энергии»	
1	Зависимость внутреннего КПД простой ГТУ от начальной температуры газа и степени повышения давления
2	Зависимость величины полезной удельной работы простой ГТУ от степени повышения давления
3	Эффективный КПД ГТУ. Электрический КПД. Температурный коэффициент
Зав. кафедрой «Т и Г»	Р.А-В.Турлуев « »

### 7.2 Вопросы ко второму текущему контролю освоения дисциплины

1. Геометрия елочного хвоста рабочей лопатки. Способы осевой фиксации рабочих лопаток турбины с елочным хвостом
2. Компрессоры. Конструкция осевых компрессоров ГТУ. Лабиринтные уплотнения ГТУ
3. Камера сгорания ГТУ. Первичный и вторичный, воздух. Секционная камера сгорания
4. Основные характеристики камер сгорания ГТУ:
  - коэффициент потери давления;
  - коэффициент полезного действия;
  - неравномерность поля температур;
  - теплонапряженность рабочего объема;
  - срывные характеристики;
  - содержание вредных выбросов в продуктах сгорания
5. Системы очистки и охлаждения воздуха перед компрессором, система шумоглушения, антипомпажная система, устройство для промывки компрессора, система топливоподдачи, маслоснабжения, электроснабжения, противопожарная система
6. Вопросы охлаждения деталей газовых турбин. Постановка задачи охлаждения газовой турбины. Способы охлаждения турбинных лопаток
7. Наружное охлаждение. Парциальный подвод охлаждающего агента по некоторому сектору проточной части турбины. Заградительное охлаждение
8. Типы заградительного охлаждения: пленочное охлаждение, пористое охлаждение. Внутреннее охлаждение. Типы лопаток с внутренним охлаждением
9. Термосифонное охлаждение. Схема лопаток с термосифонным охлаждением. Корневое охлаждение
10. Оценка эффективности охлаждения. Понятие безразмерной температуры лопатки. Удельный расход охладителя. Расход охлаждающего агента.
11. Безразмерный параметр охлаждения. Сравнительная эффективность способов воздушного охлаждения лопаток. Влияние охлаждения на КПД ступени
12. Выбор теплоносителя для системы охлаждения. Роль теплоносителя (охлаждающего агента) в системах охлаждения газовых турбин
13. Газообразные теплоносители. Теплофизические свойства теплоносителей. Жидкостные теплоносители. Критический тепловой поток
14. Кризис теплообмена первого рода. Газо-жидкостные теплоносители. Использование пара для охлаждения турбин
15. Степень паровой парциальности. Зависимость необходимой величины паровой парциальности от температуры газового потока
16. Принципиальная схема проточной части гипотетической газопаровой турбины с двухъярусными лопатками
17. Режимы работы газотурбинных установок. Рабочие режимы газотурбинных установок. Мощности (режимы) ГТУ
18. Режим холостого хода, режимы перегрузки. Динамические режимы ГТУ: пусковой режим, переходные режимы. Динамические характеристики ГТУ
19. Вопросы подобия в теории турбомашин как агрегатов в целом, так и отдельных процессов в них. Геометрическое подобие
20. Динамическое подобие. Кинематическое подобие. Критерии, характеризующие режимы работы турбины
21. Статические характеристики газотурбинных установок. расчетные методы построения характеристик турбины, относительная степень повышения давления, безразмерный расход воздуха.

22. Совмещенная характеристика компрессора и турбины одновальной ГТУ. Относительные режимные характеристики одновальной ГТУ
23. Режимы пуска и остановки ГТУ. Четыре основных этапа процесса пуска одновальной ГТУ
24. Штатный и аварийный режим остановки ГТУ
25. Способы регулирования газотурбинных установок. Два способа регулирования мощности ГТУ: количественный, качественный
26. Сравнение эффективности двухвальной и одновальной ГТУ на частичных нагрузках. Управление работой газотурбинных установок
27. Автоматизированные системы управления основным и вспомогательным оборудованием (САУ). Основные функции САУ
28. Газотурбинная установка как двигатель тепловых электростанций. Сравнение газотурбинных установок с другими тепловыми двигателями.
29. Технические и эксплуатационные достоинства ГТУ по сравнению с ПТУ. Недостатки ГТУ при сравнении их с ПТУ.
30. Технические требования к энергетическим газотурбинным установкам.
31. Характеристики газотурбинных установок и фирмы, производящие газотурбинные установки. Характеристики отдельных современных ГТУ.

ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ КАФЕДРА "ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА" <b>Билет № 1</b>	
<u>Второй текущий контроль знаний</u>	
<b>Дисциплина: «Газотурбинные технологии производства электрической и тепловой энергии»</b>	
1	Камера сгорания ГТУ. Первичный и вторичный, воздух. Секционная камера сгорания
2	Системы очистки и охлаждения воздуха перед компрессором, система шумоглушения, антипомпажная система, устройство для промывки компрессора, система топливоподачи, маслоснабжения, электроснабжения, противопожарная система
3	Вопросы охлаждения деталей газовых турбин. Постановка задачи охлаждения газовой турбины. Способы охлаждения турбинных лопаток
Зав. кафедрой «Т и Г» <span style="float: right;">Р.А-В. Турлуев « »</span>	

**Примеры вопросов к тестам по дисциплине «Газотурбинные и парогазовые ТЭС»**

1. В чем физически заключается выигрыш от промежуточного охлаждения рабочего тела при сжатии в компрессоре?
2. Зачем нужно разделение воздуха на первичный и вторичный в КС ГТУ?
3. Как достигается разделение воздуха на первичный и вторичный в КС ГТУ?
4. Как достигается турбулизация потока в камерах сгорания ГТУ?
5. Какие типы камер сгорания используются в ГТУ?
6. Что такое стехиометрический коэффициент  $L_0$ ?
7. Чему примерно равен стехиометрический коэффициент  $L_0$  для углеводородных топлив?
8. Что такое коэффициент избытка воздуха?
9. В каких пределах находится значение коэффициента избытка воздуха в ГТУ?

10. В чем заключается основная задача расчета тепловой схемы ГТУ?
11. Каким образом охлаждение элементов турбин позволяет увеличить КПД ГТУ?
12. Почему имеется предел, выше которого охлаждение лопаток и дисков турбин

ГТУ

не приводит к увеличению КПД?

13. Что такое характеристика компрессора ГТУ?
14. Что такое характеристика ГТУ?
15. Как определяется приведенный расход воздуха в ГТУ?
16. Как определяется приведенная частота вращения ГТУ?
17. Почему для ГТУ закрытого типа можно значительно повысить единичную мощность агрегата по сравнению с ГТУ открытого типа?
18. Как происходит регулирование мощности ГТУ закрытого типа?
19. Какая мощность турбоагрегата больше?

### **7.3 Вопросы к экзамену по дисциплине «Газотурбинные технологии производства электрической и тепловой энергии»**

- 1 Способы реализации цикла Брайтона. Потери в проточной части паровой турбины. Цикл Ренкина. Принципиальное отличие ДВС и ГТУ
- 2 Две модификации цикла Брайтона. Цикл с подводом теплоты при постоянном давлении. Цикл с подводом теплоты при постоянном объеме
- 3 Установки непрерывного и прерывистого горения. Принципиальная схема установки для реализации цикла Брайтона
- 4 Регенеративный цикл Брайтона. Принципиальная схема ГТУ, работающей по регенеративному циклу Брайтона. Замкнутые и разомкнутые схемы работы ГТУ
- 5 Термодинамические параметры состояния и функции процесса. Феноменологический метод термодинамики. Статистический (или физический) метод термодинамики. Рабочее тело
- 6 Интенсивные и экстенсивные параметры состояния, уравнение состояния. Термодинамический процесс. Температурный напор, или градиент температур. Функции процесса
- 7 Первый закон термодинамики в форме Лагранжа. Закон Авогадро. Дифференциальная форма первого закона термодинамики для выделенного элемента с массой  $m$
- 8 Изохорный процесс, изобарный процесс, адиабатический (адиабатный) процесс, показатель адиабаты, изотермический процесс, политропный (политропический) процесс, показатель политропы
- 9 Второй закон термодинамики, термодинамический цикл. Энтальпия. Энтропия. Интеграл Клаузиуса. Диаграммы состояния и термодинамические циклы
- 1 Цикл Карно и карнотизированный цикл Брайтона. КПД цикла Карно. Принцип «карнотизации». Диаграммы  $p-v$ ,  $T-s$  и  $h-s$ . Цикл Ренкина с двойным перегревом пара
- 0
- 1 Термодинамическое совершенствование цикла Брайтона. Цикл ГТУ с
- 1 двухступенчатым подводом тепла. Процесс регенерации в ГТУ
- 1 Рабочие процессы в газотурбинных установках. Степень повышения давления в компрессоре. Понятие идеального компрессора
- 2
- 1 Промежуточное охлаждение. Процесс сжатия в компрессоре. Процессы в камерах сгорания и дожигания
- 3
- 1 Схема материальных потоков и параметров камеры сгорания. Уравнение теплового
- 4 баланса камеры сгорания
- 1 Формула для определения
- 5 коэффициента избытка воздуха. Определение массы дожигаемого топлива. Коэффициент избытка воздуха после камеры дожигания

- 1 Процесс расширения в турбине. Идеальный и реальный процессы сжатия в турбине.  
6 Степень понижения давления в турбине
- 1 Идеальная работа расширения в турбине. Работа реальной турбины. Потери работы,  
7 связанные с расширением. Понятие внутреннего (или адиабатического) КПД  
1 Преобразование энергии в турбинной ступени. Рабочий процесс в турбинной  
8 ступени. Активная и чисто реактивная. Турбина. Кинематическая степень  
реактивности
- 1 Принципиальная технологическая схема и термодинамический цикл простейшей  
9 ГТУ, работающей на природном газе  
2 Удельная работа турбины. Удельная работа, потребляемая компрессором  
0
- 2 Удельная полезная работа ГТУ. Внутренний КПД ГТУ. Внутренняя мощность ГТУ  
1
- 2 Эффективный КПД ГТУ. Электрический КПД. Температурный коэффициент  
2
- 2 Зависимость величины полезной удельной работы простой ГТУ от степени  
3 повышения давления  
2 Зависимость внутреннего КПД простой ГТУ от начальной температуры газа и  
4 степени повышения давления  
2 Конструктивные особенности газотурбинных установок.  
5 Основные отличия ГТУ и ПТУ, влияющие на конструкторские решения  
2 Назначение и эксплуатация стационарных и транспортных ГТУ. Основные  
6 характерные особенности ГТУ. Конструктивные схемы ГТУ  
2 Конструктивная схема ГТУ с встроенной камерой сгорания. Конструктивная схема  
7 ГТУ с разрезным валом и выносной камерой сгорания. Схема консольного ротора  
2 Расчет критической частоты вращения для консольных роторов. Конструктивная  
8 схема ротора ГТУ GT 35. Конструктивная схема ГТУ-100-750 ЛМЗ  
2 Турбодетандеры. Общие принципы компоновки и конструкции.  
9 Газовые турбины. Ротор газовой турбины  
3 Конструктивные варианты роторов газовых турбин. Рабочие лопатки турбины  
0
- 3 Геометрия елочного хвоста рабочей лопатки. Способы осевой фиксации рабочих  
1 лопаток турбины с елочным хвостом  
3 Компрессоры. Конструкция осевых компрессоров ГТУ. Лабиринтные уплотнения  
2 ГТУ  
3 Камера сгорания ГТУ. Первичный и вторичный, воздух. Секционная камера  
3 сгорания  
3 Основные характеристики камер сгорания ГТУ:  
4 - коэффициент потери давления;  
- коэффициент полезного действия;  
- неравномерность поля температур;  
- теплонапряженность рабочего объема;  
- срывные характеристики;  
- содержание вредных выбросов в продуктах сгорания
- 3 Системы очистки и охлаждения воздуха перед компрессором, система  
5 шумоглушения, антипомпажная система, устройство для промывки компрессора,  
система топливоподачи, маслоснабжения, электроснабжения, противопожарная  
система
- 3 Вопросы охлаждения деталей газовых турбин. Постановка задачи охлаждения  
6 газовой турбины. Способы охлаждения турбинных лопаток  
3 Наружное охлаждение. Парциальный подвод охлаждающего агента по некоторому  
7 сектору проточной части турбины. Заградительное охлаждение  
3 Типы заградительного охлаждения: пленочное охлаждение, пористое охлаждение.

- 8 Внутреннее охлаждение. Типы лопаток с внутренним охлаждением  
3 Термосифонное охлаждение. Схема лопаток с термосифонным охлаждением.  
9 Корневое охлаждение  
4 Оценка эффективности охлаждения. Понятие безразмерной температуры лопатки.  
0 Удельный расход охладителя. Расход охлаждающего агента.  
4 Безразмерный параметр охлаждения. Сравнительная эффективность способов  
1 воздушного охлаждения лопаток. Влияние охлаждения на КПД ступени  
4 Выбор теплоносителя для системы охлаждения. Роль теплоносителя (охлаждающего  
2 агента) в системах охлаждения газовых турбин  
4 Газообразные теплоносители. Теплофизические свойства теплоносителей.  
3 Жидкостные теплоносители. Критический тепловой поток  
4 Кризис теплообмена первого рода. Газо-жидкостные теплоносители. Использование  
4 пара для охлаждения турбин  
4 Степень паровой парциальности. Зависимость необходимой величины паровой  
5 парциальности от температуры газового потока  
4 Принципиальная схема проточной части гипотетической газопаровой турбины с  
6 двухъярусными лопатками  
4 Режимы работы газотурбинных установок. Рабочие режимы газотурбинных  
7 установок. Мощности (режимы) ГТУ  
4 Режим холостого хода, режимы перегрузки. Динамические режимы ГТУ: пусковой  
8 режим, переходные режимы. Динамические характеристики ГТУ  
4 Вопросы подобия в теории турбомашин как агрегатов в целом, так и отдельных  
9 процессов в них. Геометрическое подобие  
5 Динамическое подобие. Кинематическое подобие. Критерии, характеризующие  
0 режимы работы турбины  
5 Статические характеристики газотурбинных установок. расчетные методы  
1 построения характеристик турбины, относительная степень повышения давления,  
безразмерный расход воздуха.  
5 Совмещенная характеристика компрессора и турбины одновальной ГТУ.  
2 Относительные режимные характеристики одновальной ГТУ  
5 Режимы пуска и остановки ГТУ. Четыре основных этапа процесса пуска  
3 одновальной ГТУ  
5 Штатный и аварийный режим остановки ГТУ  
4  
5 Способы регулирования газотурбинных установок. Два способа регулирования  
5 мощности ГТУ: количественный, качественный  
5 Сравнение эффективности двухвальной и одновальной ГТУ на частичных нагрузках.  
6 Управление работой газотурбинных установок  
5 Автоматизированные системы управления основным и вспомогательным  
7 оборудованием (САУ). Основные функции САУ  
5 Газотурбинная установка как двигатель тепловых электростанций. Сравнение  
8 газотурбинных установок с другими тепловыми двигателями  
5 Технические и эксплуатационные достоинства ГТУ по сравнению с ПТУ.  
9 Недостатки ГТУ при сравнении их с ПТУ  
6 Технические требования к энергетическим газотурбинным установкам  
0  
6 Характеристики газотурбинных установок и фирмы, производящие газотурбинные  
1 установки. Характеристики отдельных современных ГТУ

**Образец билета к экзамену по дисциплине «Газотурбинные технологии  
производства электрической и тепловой энергии»**

--	--

ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ КАФЕДРА "ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА"	
<b>Дисциплина «Газотурбинные технологии производства электрической и тепловой энергии»</b>	
Семестр - 4	
Группа	<b><u>ТЭТ-23м</u></b>
<b>БИЛЕТ № 1</b>	
1.	Камера сгорания ГТУ. Первичный и вторичный, воздух. Секционная камера сгорания
2.	Наружное охлаждение. Парциальный подвод охлаждающего агента по некоторому сектору проточной части турбины. Заградительное охлаждение
3.	Вопросы подобия в теории турбомашин как агрегатов в целом, так и отдельных процессов в них. Геометрическое подобие
Зав. кафедрой «Теплотехника и гидравлика»	
Р.А-В. Турлуев	

### 7.3 Текущий контроль

#### Вопросы к практическим занятиям

- 1.Регенеративный цикл Брайтона.
- 2.Принципиальная схема ГТУ, работающей по регенеративному циклу Брайтона. Замкнутые и разомкнутые схемы работы ГТУ.
- 3.Преобразование энергии в турбинной ступени.
- 4.Рабочий процесс в турбинной ступени.
- 5.Активная и чисто реактивная. Турбина. Кинематическая степень реактивности.
- 6.Зависимость величины полезной удельной работы простой ГТУ от степени повышения давления.
- 7.Конструктивная схема ГТУ с встроенной камерой сгорания.
- 8.Конструктивная схема ГТУ с разрезным валом и выносной камерой сгорания.
- 9.Схема консольного ротора
- 10.Роль теплоносителя в системах охлаждения газовых турбин. Газообразные теплоносители.

**7.4 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкалы оценивания.**

**Таблица 7**

Планируемые результаты освоения компетенции	Критерии оценивания результатов обучения				Наименование оценочного средства
	менее 41 баллов (неудовлетворительно)	41-60 баллов (удовлетворительно)	61-80 баллов (хорошо)	81-100 баллов (отлично)	
<b>ПК-2</b> способностью к разработке мероприятий по совершенствованию технологии производства; обеспечению бесперебойной работы, правильной эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования.					
<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- типы комбинированных газо- и паротурбинных установок для выработки электрической и тепловой энергии;</li> <li>- особенности рабочего процесса в парогазовых энергоустановках различных схем для выработки электрической и тепловой энергии;</li> <li>- пути и методы обеспечения высокой топливной экономичности и обоснованной надёжности на проектно- конструкторской и эксплуатационной стадиях жизненного цикла парогазовых энергоустановок;</li> <li>- место котельной установки и парогенератора в технологической схеме ТЭС и АЭС;</li> <li>- схемы генерации пара и характеристика процессов генерации;</li> <li>- основные уравнения гидродинамики и теплообмена водонапорного тракта;</li> <li>- принципиальные тепловые схемы парогазовых энергоустановок с КУ;</li> <li>- термодинамические свойства ПГУ с КУ;</li> <li>основные показатели ПГУ; схемы</li> </ul>	Фрагментарные знания	Неполные знания	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания	Сформированные систематические знания	<i>Вопросы к рубежным аттестациям, вопросы к практическим занятиям</i>

<p>парогазовых энергоустановок с КУ с дожиганием топлива;</p> <p>- ПГУ с параллельной схемой работы: тепловые схемы, конструкция КУ, особенности технологического процесса.</p>					
<p><b>Уметь:</b></p> <p>- принимать решения в области теплоэнергетики, теплотехники и теплотехнологии с учетом особенностей тепловых схем ПГУ для выработки электрической и тепловой энергии;</p> <p>- производить тепловой расчёт парогазотурбинных установок различных схем для выработки электрической и тепловой энергии;</p> <p>- составлять технические условия на проведение экспериментальных испытаний парогазовых энергоустановок для выработки электрической и тепловой энергии;</p> <p>- определять эксплуатационные характеристики парогазовых энергоустановок для выработки электрической и тепловой энергии.</p>	<p>Частичные умения</p>	<p>Неполные умения</p>	<p>Умения полные, допускаются небольшие ошибки</p>	<p>Сформированные умения</p>	

<p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками работы с нормативной и технической документацией;</li> <li>- методами построения современных тепловых схем парогазовых энергоустановок для выработки электрической и тепловой энергии;</li> <li>- принципами построения алгоритмов расчета теплотехнических энергоустановок для выработки электрической и тепловой энергии;</li> <li>- навыками работы с современными аппаратными и программными средствами исследования и проектирования парогазовых энергоустановок;</li> <li>- методикой расчета, простого и сложного контуров циркуляции;</li> <li>- методикой расчета конвективных поверхностей нагрева;</li> <li>- методикой расчетов воздушного и дымового трактов котла;</li> <li>- методами сравнения тепловой</li> </ul>	<p>Частичное владение навыками</p>	<p>Несистематическое применение навыков</p>	<p>В систематическом применении навыков допускаются пробелы знаний</p>	<p>Успешное и систематическое применение навыков</p>	
---	------------------------------------	---	--	--	--

## 8. Особенности реализации дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Для осуществления процедур текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся созданы фонды оценочных средств, адаптированные для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья и позволяющие оценить достижение ими запланированных в основной образовательной программе результатов обучения и уровень сформированности всех компетенций, заявленных в образовательной программе. Форма проведения текущей аттестации для студентов-инвалидов устанавливается с учетом индивидуальных психофизических особенностей (устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п.). При тестировании для слабовидящих студентов используются фонды оценочных средств с укрупненным шрифтом. На экзамен приглашается сопровождающий, который обеспечивает техническое сопровождение студенту. При необходимости студенту-инвалиду предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене (или зачете). Обучающиеся с ограниченными возможностями здоровья и обучающиеся инвалиды обеспечиваются печатными и электронными образовательными ресурсами (программы, учебные пособия для самостоятельной работы и т.д.) в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

1) для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья **по зрению:**

- **для слепых:** задания для выполнения на семинарах и практических занятиях оформляются рельефно-точечным шрифтом Брайля или в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением для слепых, либо зачитываются ассистентом; письменные задания выполняются на бумаге рельефно-точечным шрифтом Брайля или на компьютере со специализированным программным обеспечением для слепых либо надиктовываются ассистенту; обучающимся для выполнения задания при необходимости предоставляется комплект письменных принадлежностей и бумага для письма рельефно-точечным шрифтом Брайля, компьютер со специализированным программным обеспечением для слепых;

- **для слабовидящих:** обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс; обучающимся для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство; возможно также использование собственных увеличивающих устройств; задания для выполнения заданий оформляются увеличенным шрифтом;

1) для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья **по слуху:**

- **для глухих и слабослышащих:** обеспечивается наличие звукоусиливающей аппаратуры коллективного пользования, при необходимости обучающимся предоставляется звукоусиливающая аппаратура индивидуального пользования; предоставляются услуги

сурдопереводчика;

- для слепоглухих допускается присутствие ассистента, оказывающего услуги тифлосурдопереводчика (помимо требований, выполняемых соответственно для слепых и глухих);

2) для лиц с тяжелыми нарушениями речи, глухих, слабослышащих лекции и семинары, проводимые в устной форме, проводятся в письменной форме;

3) для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, **имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата:**

- для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата, нарушениями двигательных функций верхних конечностей или отсутствием верхних конечностей: письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением или надиктовываются ассистенту; выполнение заданий (тестов, контрольных работ), проводимые в письменной форме, проводятся в устной форме путем опроса, беседы с обучающимся.

## 9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 9.1. Литература:

1.	Трухний А.Д. Парогазовые установки электростанций [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ Трухний А.Д.— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2013.— 648 с.— Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/33207.html">http://www.iprbookshop.ru/33207.html</a> .— ЭБС «IPRbooks»
2.	Газотурбинные энергетические установки [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ С.В. Цанев [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2011.— 427 с.— Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/33113.html">http://www.iprbookshop.ru/33113.html</a> .— ЭБС «IPRbooks»
3.	Михальцев В.Е. Теория и проектирование газовой турбины. Часть 2. Теория и проектирование многоступенчатой газовой турбины [Электронный ресурс]: учебное пособие по курсу «Лопаточные машины газотурбинных и комбинированных установок. Газовые турбины»/ Михальцев В.Е., Моляков В.Д.— Электрон. текстовые данные.— М.: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2008.— 116 с.— Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/31572.html">http://www.iprbookshop.ru/31572.html</a> .— ЭБС «IPRbooks»
4.	Сборник правил и инструкций по безопасной эксплуатации котельных [Электронный ресурс]/ — Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом ЭНЕРГИЯ, 2013.— 368 с.— Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/22739.html">http://www.iprbookshop.ru/22739.html</a> .— ЭБС «IPRbooks»
5.	Петрухин В.В. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Петрухин В.В., Петрухин С.В.— Электрон. текстовые данные.— Вологда: Инфра-Инженерия, 2010.— 176 с.— Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/5068.html">http://www.iprbookshop.ru/5068.html</a> .— ЭБС «IPRbooks»

### 9.2. Методические указания (приложение)

## 10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для обеспечения освоения дисциплины имеются в наличии учебные аудитории кафедры, снабженные мультимедийными средствами для представления презентаций лекций и показа учебных фильмов.

Класс с персональными компьютерами для проведения практических занятий и виртуальных лабораторных работ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС по направлению подготовки магистра 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

**Наличие оборудования и ТСО по дисциплине «Газотурбинные технологии производства электрической и тепловой энергии»**

**Видеофильмы:**

- Паровой котел;
- Паровые турбины;
- Теплообменники;
- Турбина К-800-240;
- Розжиг котла;
- Градирни;
- Рязанская ГРЭС
- Хабаровская ТЭЦ;
- Эксплуатация энергоблоков;
- Работа деаэратора;
- Принцип работы дымососа;
- Принцип работы центробежного насоса;
- Многоступенчатый насос;
- Насос ЦНС-1;
- Паротурбинная электростанция работающая на угле;
- Паровая турбина;
- Генератор теплостанции;
- Гидравлическая турбина

**Методические указания по освоению дисциплины**

**«Газотурбинные технологии производства электрической и тепловой энергии»**

**1. Методические указания для обучающихся по планированию и организации времени, необходимого для освоения дисциплины.**

Изучение рекомендуется начать с ознакомления с рабочей программой дисциплины, ее структурой и содержанием разделов (модулей), фондом оценочных средств, ознакомиться с учебно-методическим и информационным обеспечением дисциплины.

Дисциплина «Газотурбинные технологии производства электрической и тепловой энергии» состоит из 7 связанных между собой тем, обеспечивающих последовательное изучение материала.

Обучение по дисциплине «Газотурбинные технологии производства электрической и тепловой энергии» осуществляется в следующих формах:

1. Аудиторные занятия (лекции, практические/семинарские занятия).
2. Самостоятельная работа студента (подготовка к лекциям, практическим/практическим занятиям, тестам/рефератам/докладам/эссе, и иным формам письменных работ, выполнение анализа кейсов, индивидуальная консультация с преподавателем).
3. Интерактивные формы проведения занятий (коллоквиум, лекция-дискуссия, групповое решение кейса и др. формы).

Учебный материал структурирован и изучение дисциплины производится в тематической последовательности. Каждому практическому/ семинарскому занятию и самостоятельному изучению материала предшествует лекция по данной теме. Обучающиеся самостоятельно проводят предварительную подготовку к занятию, принимают активное и творческое участие в обсуждении теоретических вопросов, разборе проблемных ситуаций и поисков путей их решения. Многие проблемы, изучаемые в курсе, носят дискуссионный характер, что предполагает интерактивный характер проведения занятий на конкретных примерах.

Описание последовательности действий обучающегося:

При изучении курса следует внимательно слушать и конспектировать материал, излагаемый на аудиторных занятиях. Для его понимания и качественного усвоения рекомендуется следующая последовательность действий:

1. После окончания учебных занятий для закрепления материала просмотреть и обдумать текст лекции, прослушанной сегодня, разобрать рассмотренные примеры (10 – 15 минут).
2. При подготовке к лекции следующего дня повторить текст предыдущей лекции, подумать о том, какая может быть следующая тема (10 - 15 минут).
3. В течение недели выбрать время для работы с литературой в библиотеке (по 1 часу).
4. При подготовке к практическому/ семинарскому занятию повторить основные понятия по теме, изучить примеры. Решая конкретную ситуацию, - предварительно понять, какой теоретический материал нужно использовать. Наметить план решения, попробовать на его основе решить 1 - 2 практические ситуации (лаб. работы).

**2. Методические указания по работе обучающихся во время проведения лекций.**

Лекции дают обучающимся систематизированные знания по дисциплине, концентрируют их внимание на наиболее сложных и важных вопросах. Лекции обычно излагаются в традиционном или в проблемном стиле. Для студентов в большинстве случаев в проблемном стиле. Проблемный стиль позволяет стимулировать активную познавательную деятельность обучающихся и их интерес к дисциплине, формировать творческое мышление, прибегать к противопоставлениям и сравнениям, делать обобщения, активизировать внимание обучающихся путем постановки проблемных вопросов, поощрять дискуссию.

Во время лекционных занятий рекомендуется вести конспектирование учебного

материала, обращать внимание на формулировки и категории, раскрывающие суть того или иного явления, или процессов, выводы и практические рекомендации.

Конспект лекции лучше подразделять на пункты, соблюдая красную строку. Этому в большой степени будут способствовать вопросы плана лекции, предложенные преподавателям. Следует обращать внимание на акценты, выводы, которые делает преподаватель, отмечая наиболее важные моменты в лекционном материале замечаниями «важно», «хорошо запомнить» и т.п. Можно делать это и с помощью разноцветных маркеров или ручек, подчеркивая термины и определения.

Целесообразно разработать собственную систему сокращений, аббревиатур и символов. Однако при дальнейшей работе с конспектом символы лучше заменить обычными словами для быстрого зрительного восприятия текста.

Работая над конспектом лекций, необходимо использовать не только основную литературу, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал преподаватель. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть теоретическим материалом.

Тематика лекций дается в рабочей программе дисциплины.

### **3. Методические указания обучающимся по подготовке к практическим/семинарским занятиям.**

На практических/семинарских 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 семинарских занятий.

Студенту рекомендуется следующая схема подготовки к семинарскому занятию:

1. Ознакомление с планом практического/семинарского занятия, который отражает содержание предложенной темы;

2. Проработать конспект лекций;

3. Прочитать основную и дополнительную литературу.

В процессе подготовки к практическим занятиям, необходимо обратить особое внимание на самостоятельное изучение рекомендованной литературы. При всей полноте конспектирования лекции в ней невозможно изложить весь материал из-за лимита аудиторных часов. Поэтому 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, формирует у студентов отношение к конкретной проблеме. Все новые понятия по изучаемой теме необходимо выучить наизусть и внести в глоссарий, который целесообразно вести с самого начала изучения курса;

4. Ответить на вопросы плана практического/семинарского занятия;

5. Выполнить домашнее задание;

6. Проработать тестовые задания и задачи;

7. При затруднениях сформулировать вопросы к преподавателю.

Результат такой работы должен проявиться в способности студента свободно ответить на теоретические вопросы практикума, выступать и участвовать в коллективном обсуждении вопросов изучаемой темы, правильно выполнять практические задания и иные задания, которые даются в фонде оценочных средств дисциплины.

### **4. Методические указания обучающимся по организации самостоятельной работы.**

Цель организации самостоятельной работы по дисциплине «Газотурбинные технологии производства электрической и тепловой энергии»- это углубление и расширение знаний в области метрологии; формирование навыка и интереса к самостоятельной познавательной деятельности.

Самостоятельная работа обучающихся является важнейшим видом освоения содержания дисциплины, подготовки к практическим занятиям и к контрольной работе. Сюда же относятся и самостоятельное углубленное изучение тем дисциплины. Самостоятельная работа представляет собой постоянно действующую систему, основу образовательного

процесса и носит исследовательский характер, что послужит в будущем основанием для написания выпускной квалификационной работы, практического применения полученных знаний.

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

Правильная организация самостоятельных учебных занятий, их систематичность, целесообразное планирование рабочего времени позволяет студентам развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивать высокий уровень успеваемости в период обучения, получить навыки повышения профессионального уровня.

Подготовка к практическому занятию включает, кроме проработки конспекта и презентации лекции, поиск литературы (по рекомендованным спискам и самостоятельно), подготовку заготовок для выступлений по вопросам, выносимым для обсуждения по конкретной теме. Такие заготовки могут включать цитаты, факты, сопоставление различных позиций, собственные мысли. Если проблема заинтересовала обучающегося, он может подготовить реферат и выступить с ним на практическом занятии. Практическое занятие - это, прежде всего, дискуссия, обсуждение конкретной ситуации, то есть предполагает умение внимательно слушать членов малой группы и модератора, а также стараться высказать свое мнение, высказывать собственные идеи и предложения, уточнять и задавать вопросы коллегам по обсуждению.

При подготовке к контрольной работе обучающийся должен повторять пройденный материал в строгом соответствии с учебной программой, используя конспект лекций и литературу, рекомендованную преподавателем. При необходимости можно обратиться за консультацией и методической помощью к преподавателю.

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.

#### Виды СРС и критерии оценок

(по балльно-рейтинговой системе ГГНТУ, СРС оценивается в 15 баллов)

1. Реферат
2. Доклад
3. Эссе
4. Участие в мероприятиях

Темы для самостоятельной работы прописаны в рабочей программе дисциплины. 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.



**Составитель:**

Доцент кафедры  
«Теплотехника и гидравлика»

  
/ Р.А-В Турлуев /

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. выпускающей каф.  
«Теплотехника и гидравлика»

  
/ Р.А-В. Турлуев /

Директор ДУМР

  
/ М.А. Магомаева /

