

УТВЕРЖДАЮ  
 Директор ВШТЭ



## Рабочая программа дисциплины

**Б1.В.06**

Газотурбинные установки

Учебный план:

ФГОС3++z130301-23\_21-15.plx

Кафедра:

**21**

Теплосиловых установок и тепловых двигателей

Направление подготовки:  
 (специальность)

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки:  
 (специализация)

Промышленная теплоэнергетика

Уровень образования:

бакалавриат

Форма обучения:

заочная

### План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)		Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоёмкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
		Лекции	Практ. занятия				
4	УП	6	4	94	4	3	Зачет
	РПД	6	4	94	4	3	
Итого	УП	6	4	94	4	3	
	РПД	6	4	94	4	3	

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, утверждённым приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.2018 г. № 143

Составитель (и):

Кандидат технических наук, доцент

Верхоланцев А.А.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой теплосиловых установок и тепловых двигателей

Злобин В.Г.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Злобин В.Г.

Методический отдел:

Смирнова В.Г.

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** Сформировать компетенции обучающегося в области теплотехники и энергетики, связанные с изучением газотурбинных двигателей, принципов действия газотурбинных установок, методов математического моделирования рабочих процессов газовых турбин, с разработкой проектных решений по улучшению эксплуатационных характеристик двигателей с использованием стандартных средств автоматизации проектирования

### 1.2 Задачи дисциплины:

- Рассмотреть закономерности рабочих процессов в конструкции современных газотурбинных установок.
- Продемонстрировать алгоритмы тепловых расчетов газовых турбин.
- Усвоить основные направления разработки проектных решений по модернизации газовых турбин.
- Привить способности к самостоятельному приобретению и использованию в практической деятельности новые знания и умения.

### 1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

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

Тепловые двигатели

Энергетические насосы, компрессоры и системы воздухообеспечения промышленных предприятий

Техническая термодинамика

Гидрогазодинамика (Гидравлика)

Гидрогазодинамика (Газодинамика)

Топливо и процессы горения в теплотехнических установках

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**ПК-6.1: Готовность к выполнению работ по организационному и техническому обеспечению полного цикла или отдельных стадий эксплуатации тепловых сетей, тепломеханического оборудования ТЭС и котельных**

**Знать:** состав оборудования, входящего в ГТУ и его конструктивные особенности; основные источники научно-технической информации по оборудованию газотурбинных ТЭС; методы расчета установочных условий эксплуатации.

**Уметь:** осуществлять выбор типов ГТУ на ТЭС и их вспомогательного оборудования; определять показатели тепловой и общей экономичности ГТУ; анализировать информацию о новых разработках ГТУ ТЭС методами расчета.

**Владеть:** навыками выполнения инженерных расчетов элементов ГТУ; работ с технической документацией по ГТУ.

**ПК-5.1: Способен выполнять специальные расчеты теплотехнологических процессов по типовым методикам**

**Знать:** основные типы современных ГТУ; принцип работы и технические характеристики ГТУ; основные направления научно-технического прогресса в использовании ГТУ; состав оборудования, входящего в ГТУ и его конструктивные особенности.

**Уметь:** определять количественные значения технико-экономических показателей ГТУ; читать и составлять тепловые схемы ТЭС с ГТУ.

**Владеть:** навыками выполнения инженерных расчетов элементов ГТУ; работ с технической документацией по ГТУ.

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа		СР (часы)	Инновац. формы занятий
		Лек. (часы)	Пр. (часы)		
Раздел 1. Теория и циклы ГТД.					
Тема 1. Тема 1. Идеальные циклы ГТД. Введение. Основные термины, понятия, определения. Анализ конструкций и схем ГТД. Идеальные циклы ГТД. Цикл Карно. Модифицированный цикл Карно. Простой цикл ГТД (цикл Брайтона). Вывод основных закономерностей цикла ГТД Брайтона.		0,5	0,25	9	
Тема 2. Совершенствование идеального цикла Брайтона. Цикл ГТД Брайтона с регенерацией. Цикл Брайтона с промежуточным охлаждением. Цикл Брайтона с промежуточным подогревом газа. Цикл ГТД Брайтона с промежуточным охлаждением и регенерацией. Цикл ГТД Брайтона с промежуточным подогревом и регенерацией. Цикл ГТД Брайтона с промежуточным охлаждением, промежуточным подогревом и регенерацией. Комбинированный цикл.	4	0,5	0,25	8	
Тема 3. Действительные циклы газотурбинных двигателей. Действительный цикл ГТД простой схемы. Изображение в координатах Т-S. Основные показатели действительного цикла. Вывод и анализ уравнений связи между параметрами.		0,5	0,25	9	
Раздел 2. Газотурбинные двигатели сложного цикла.					

<p>Тема 4. Газотурбинные двигатели сложного цикла.  Двигатели с регенерацией теплоты уходящих газов. Действительный цикл ГТД с регенерацией теплоты. Влияние регенерации на КПД и полезную работу ГТД. ГТД с утилизацией теплоты уходящих газов. Изображение цикла ГТД с утилизацией теплоты в координатах T-S. Вывод основных зависимостей для полезной работы и КПД цикла с утилизацией теплоты. ГТД с промежуточным охлаждением воздуха при сжатии и вторичным подогревом при расширении. Изображение действительного цикла с промежуточным охлаждением воздуха при сжатии и вторичным подогревом газа при расширении в координатах T-s. Вывод основных зависимостей для полезной работы и КПД цикла. ГТД с промежуточным охлаждением воздуха при сжатии и регенерацией. ГТД с вторичным подогревом газа. ГТД с промежуточным охлаждением воздуха при сжатии, вторичным подогревом газа и регенерацией.</p>		1	0,25	13	
<p>Тема 5. Комбинированные циклы ГТД. Тепловые схемы ТЭС с ГТД. Характеристики циклов ГТД в комбинированных установках. Парогазовые установки ТЭС. Перспективные циклы ГТД.</p>		0,5	0,25	4	
<p>Раздел 3.  Конструкция газотурбинных двигателей.</p>					
<p>Тема 6. Конструкция газотурбинных двигателей.  Конструкция компрессора с входным устройством. Компрессоры ГТД и требования, предъявляемые к ним. Конструкция осевых компрессоров. Изменение параметров состояния воздуха в ступени осевого компрессора. Срывные режимы работы осевого компрессора. Помпаж. Конструктивные способы борьбы с помпажом. Очистка проточной части компрессора.</p>		0,5	0,25	9	
<p>Тема 7. Конструкция камеры сгорания ГТД. Требования к КС ГТД. Конструктивная схема КС. Методы достижения высоких экологических показателей ГТУ. Типы камер сгорания и их конструктивные схемы. Камеры дожигания топлива в среде выходных газов ГТУ.</p>		0,5	0,25	9	

Тема 8. Конструкция газотурбинной установки и выхлопного устройства. Конструкция газовой турбины. Теория газовой турбины. Потери в проточной части ступени турбины и их зависимость от различных факторов. Охлаждаемые детали газовой турбины. Выхлопная система.		0,5	0,25	3	
Раздел 4. Характеристики ГТД на режимах пониженной мощности. Динамические режимы ГТД.					
Тема 9. Рабочий процесс ГТД на режимах пониженной мощности. Теоретические основы рабочего процесса ГТД на режимах пониженной мощности. Характеристики однокомпрессорных и двухкомпрессорных ГТД на режимах пониженной мощности.		0,5	0,5	4	
Тема 10. Рабочий процесс ГТД на динамических режимах. Характеристики ГТД при запуске. Характеристики одно- и двух- компрессорных ГТД на переходных режимах.		0,25	0,5	8	
Раздел 5. Расчет ГТУ на режимах полной и пониженной мощности.					
Тема 11. Методика расчета ГТД на режиме полной мощности. Методика расчёта оптимальных параметров цикла ГТД. Методика расчёта характеристик ГТД на режиме полной мощности. Графическое представление и анализ результатов расчета. Особенности расчёта характеристик заблокированных ГТД сложного цикла.		0,5	0,5	10	
Тема 12. Методика расчёта характеристик ГТД на режимах пониженной мощности. Алгоритм оценки экономичности и устойчивости работы ГТД на режимах пониженной мощности. Особенности расчёта характеристик заблокированных ГТД на режимах пониженной мощности.		0,25	0,5	8	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		6	4	94	
Консультации и промежуточная аттестация (Зачет)		0,25			
<b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>		10,25		94	

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовое проектирование учебным планом не предусмотрено

#### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

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

##### 5.1.1 Показателиоценивания

Кодкомпетенции	Показателиоцениваниярезультатовобучения	Наименованиеоценочногосредства
ПК-5.1	<p>1. Имеет представление об основных типах современных ГТУ; принципах работы и технических характеристиках ГТУ; основных направлениях научно-технического прогресса в использовании ГТУ. Разбирается в составе оборудования, входящего в ГТУ и его конструктивных особенностях.</p> <p>2. Анализирует количественные значения технико-экономических показателей ГТУ. Способен читать и составлять тепловые схемы ТЭС с ГТУ.</p> <p>3. Демонстрирует хорошие навыки выполнения инженерных расчетов элементов ГТУ и работы с технической документацией по ГТУ.</p>	<p>1. Вопросы устного собеседования.</p> <p>2. Практико-ориентированные задания.</p>
ПК-6.1	<p>1. Имеет представление о составе оборудования, входящего в ГТУ и его конструктивные особенности; основных источниках научно-технической информации по оборудованию газотурбинных и ТЭС; методах расчета установок и условиях их эксплуатации.</p> <p>2. Способен правильно осуществлять выбор типов ГТУ на ТЭС и их вспомогательного оборудования; определять показатели тепловой и общей экономичности ГТУ; анализировать информацию о новых разработках ГТУ ТЭС и методах расчета.</p>	<p>1. Вопросы устного собеседования.</p> <p>2. Практико-ориентированные задания.</p>

##### 5.1.2 Система и критерииоценивания

Шкалаоценивания	Критерииоцениваниясформированностикомпетенций	
	Устноесобеседование	Письменнаяработа
Зачтено	<p>Обучающийся свободно и уверенно оперирует информацией, знает все основные методы решения проблем, предусмотренные учебной программой; ориентируется в основных понятиях, терминах и определениях изучаемой дисциплины. Знает типичные ошибки и возможные сложности при решении той или иной проблемы и способен выбрать и эффективно применить тот или иной адекватный метод решения конкретной проблемы. Способен легко ориентироваться при видоизменении задания, использует в ответе материал учебной литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами решения задач.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует правильное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения, знание размерностей физических величин. Умеет применять математический аппарат для реализации плана решения задачи и, если это необходимо, может представить его графически. Получил правильный ответ и может его интерпретировать. Даны исчерпывающие выводы и полные ответы на поставленные вопросы.</p>
Незачтено	<p>Обучающийся допускает при ответе на зачете существенные ошибки и не может устранить их даже под руководством преподавателя. Не обладает достаточным уровнем знания дисциплины. Плохо ориентируется в основных понятиях и определениях; плохо знаком с основной литературой. Не способен продолжить обучение без дополнительных занятий. Обучающийся не способен излагать материал последовательно.</p>	<p>Обучающийся не может проанализировать условие задачи, наметить план ее решения, выбрать физические законы и плохо ориентируется в физических величинах и не может с помощью математического аппарата реализовать ее решение.</p>

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

### 5.2.1 Перечень контрольных вопросов

№ п/п	Формулировка вопросов
Курс 4	
1	Устройство камеры сгорания ГТД. Характеристики камеры сгорания ГТД.
2	Изменение состояния параметров воздуха в ступени осевого компрессора.
3	Конструкция компрессоров ГТУ.
4	Конструкция турбин ГТУ.
5	Срывные параметры работы осевого компрессора. Конструктивные способы борьбы с помпажом.
6	Воздухоприемные и газовыхлопные устройства ГТУ.
7	Загрязнение и очистка проточной части осевого компрессора.
8	Охлаждаемые детали газовых турбин.
9	Характеристики ГТУ при запуске. Характеристики одно- и двух-компрессорных ГТУ на переходных режимах.
10	Методика расчёта оптимальных параметров цикла ГТУ.
11	Методика расчёта характеристик ГТУ на режиме полной мощности. Графическое представление и анализ результатов расчёта.
12	Особенности расчёта характеристик блокированных ГТУ сложного цикла.
13	Алгоритм оценки экономичности и устойчивости работы ГТУ на режимах пониженной мощности.
14	Особенности расчёта характеристик блокированных ГТУ на режимах пониженной мощности.
15	Методика расчёта оптимальных параметров цикла ГТУ. Графическое представление и анализ результатов расчёта.
16	Основные типы и показатели современных ГТД.
17	Идеальный цикл ГТД при $v = \text{const}$ и $p = \text{const}$ . Графическое представление в координатах $p-v$ и $T-s$ .
18	Вывод основных закономерностей идеального цикла ГТД.
19	Анализ конструкций и схем ГТД.
20	Действительный цикл ГТД простой схемы. Изображение в координатах $T-s$ .
21	Основные технико-экономические показатели действительного цикла.
22	Вывод и анализ уравнений связи между параметрами действительного цикла.
23	Регенеративный цикл ГТД.
24	Влияние регенерации на КПД и полезную работу ГТД.
25	Вывод основных зависимостей для полезной работы и КПД цикла с регенерацией.
26	Изображение цикла ГТД с утилизацией теплоты в координатах $T-s$ .
27	Вывод основных зависимостей для полезной работы и КПД цикла с утилизацией теплоты.
28	Изображение цикла с промежуточным охлаждением воздуха при сжатии и вторичным подогревом газа при расширении в координатах $T-s$ .
29	Вывод основных зависимостей для полезной работы и КПД цикла с промежуточным охлаждением воздуха при сжатии и вторичным подогревом газа.
30	Тепловые схемы ТЭС с ГТД. Характеристики циклов ГТД в комбинированных установках. Парогазовые установки ТЭС.

### 5.2.2 Типовые тестовые задания

Непредусмотрено.

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

Задание 1.

Газотурбинная установка работает по циклу с подводом теплоты при  $v = \text{const}$  и с полной регенерацией. Известны параметры:  $t_1 = 30^\circ\text{C}$  и  $t_5 = 400^\circ\text{C}$ , а также  $\lambda = p_2/p_1 = 4$ . Рабочее тело — воздух. Определить термический к.п.д. этого цикла. Изобразить цикл в  $p-v$  и  $T-S$  — диаграммах.

Задание 2.

ГТУ работает с подводом теплоты при  $p = \text{const}$ . Начальные параметры воздуха:  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ,  $p_1 = 1,05$  бар. Определить КПД, мощность и работу ГТУ, а также количество отведенной теплоты, если: степень сжатия воздуха в компрессоре 7,0; степень расширения газа в турбине 3,0; количество подведенной теплоты 730 кДж; расход газа 2,5 кг/с;  $k = 1,25$ .



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

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

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

#### 5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная  Письменная  Компьютерное тестирование  Иная

#### 5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

В течение семестра выполняются контрольные работы;  
Возможность пользования справочными материалами, калькулятором.  
Время на подготовку ответа по билету 30 минут.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
<b>6.1.1 Основная учебная литература</b>				
Наумов, С. А., Хаустова, Е. В., Садчиков, А. В., Соколов, В. Ю., Фирсова, Е. В., Цвяк, А. В.	Тепловые двигатели и нагнетатели	Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ	2015	<a href="http://www.iprbookshop.ru/61415.html">http://www.iprbookshop.ru/61415.html</a>
Палладий, А. В., Фосс, С. Л., Мизернюк, М. А.	Газовая динамика в турбокомпрессорах	Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет	2010	<a href="http://www.iprbookshop.ru/63713.html">http://www.iprbookshop.ru/63713.html</a>
<b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>				
В.В. Рыбалко, А.А. Часовских	Методика теплового расчета газотурбинных энергетических установок [Текст]: учебное пособие	М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП	2002	<a href="http://nizrp.narod.ru/metrasgazoturb.htm">http://nizrp.narod.ru/metrasgazoturb.htm</a>
П.В. Луканин, Т.Ю. Короткова	Тепловые двигатели для целлюлозно-бумажной промышленности (Теория и конструкция паровых турбин) [ Текст ] : учеб. пособие	М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. - СПб.: СПбГТУРП	2010	<a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/2018_10_24_01_compressed.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/2018_10_24_01_compressed.pdf</a>

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

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

### 6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

Microsoft Windows 8  
Microsoft Office Professional 2013  
PTC Mathcad 15

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

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