

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и  
дизайна»  
(СПбГУПТД)

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ВШТЭ



## Рабочая программа дисциплины

**Б1.В.06**

Газотурбинные установки

Учебный план: \_\_\_\_\_ ФГОС3++b130301ПТ-3\_23-14.plx

Кафедра:  Теплосиловых установок и тепловых двигателей

Направление подготовки:  
(специальность) 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки:  
(специализация) Промышленная теплоэнергетика

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

### План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоё мкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
	Лекции	Практ. занятия				
6	УП	24	12	35,75	0,25	Зачет
	РПД	24	12	35,75	0,25	
Итого	УП	24	12	35,75	0,25	
	РПД	24	12	35,75	0,25	

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, утверждённым приказом Минобрнауки России 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

Сморозин С.Н.

Методический отдел:

Смирнова В.Г.

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** Сформировать компетенции обучающегося в области теплоэнергетики и теплотехники, связанных 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 и 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 новых знаний и умений.

### 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)

Водоподготовка на источниках энергии

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<b>ПК-5.1: Способен выполнять специальные расчеты теплотехнологических процессов по типовым методикам</b>
<b>Знать:</b> 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.
<b>Уметь:</b> определять количественные значения технико-экономических показателей ГТУ; читать и составлять тепловые схемы ТЭС с ГТУ.
<b>Владеть:</b> навыками выполнения инженерных расчетов элементов ГТУ; работы с технической документацией по ГТУ.
<b>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</b>
<b>Знать:</b> состав оборудования, входящего в ГТУ и его конструктивные особенности; основные источники научно-технической информации по оборудованию газотурбинных и ТЭС; методы расчета установок и условия их эксплуатации.
<b>Уметь:</b> 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.
<b>Владеть:</b> навыками выполнения инженерных расчетов элементов ГТУ; работы 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	Форма текущего контроля
		Лек. (часы)	Пр. (часы)			
Раздел 1. Теория и циклы ГТД.						
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.		1	1	1		
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.	6	1	1	1		О
Тема 3. Действительные циклы газотурбинных двигателей. Действительный цикл ГТД простой схемы. Изображение в координатах T-S. Основные показатели действительного цикла. Вывод и анализ уравнений связи между параметрами.		1	1	1		
Раздел 2. Газотурбинные двигатели сложного цикла.						О

<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>	2	1	3,75		
<p>Тема 5. Комбинированные циклы ГТД. Тепловые схемы ТЭС с ГТД. Характеристики циклов ГТД в комбинированных установках. Парогазовые установки ТЭС. Перспективные циклы ГТД.</p>	1	1	4,75		
<p>Раздел 3. Конструкция газотурбинных двигателей.</p>					
<p>Тема 6. Конструкция газотурбинных установок.  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 помпажем. Очистка проточной части компрессора.</p>	1	1	4,75		0
<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>	1	1	4,75		

Тема 8. Конструкция газовой турбины и выхлопного устройства. Конструкция газовой турбины. Теория газовой турбины. Потери в проточной части ступени турбины и их зависимость от различных факторов. Охлаждаемые детали газовых турбин. Выхлопная система.	2	1	1,75		
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.	2	1	2		0
Тема 10. Рабочий процесс ГТД на динамических режимах. Характеристики ГТД при запуске. Характеристики одно- и двух-компрессорных ГТД на переходных режимах.	2	1	3		
Раздел 5. Расчет ГТД 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 блокированных ГТД сложного цикла.	6	1	4		0
Тема 12. Методика расчёта характеристик ГТД на режимах пониженной мощности. Алгоритм оценки экономичности и устойчивости работы ГТД на режимах пониженной мощности.	4	1	4		
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)	24	12	35,75		
Консультации и промежуточная аттестация (Зачет)	0,25				
<b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>		36,25	35,75		

#### 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 Показатели оценивания

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения	Наименование оценочного средства
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>3. Демонстрирует навыками 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>

### 5.1.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
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>
Не зачтено	<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	Формулировки вопросов
Семестр 6	

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 расчета.
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 расчета.
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

Не предусмотрено.

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

Задание 1.

Газотурбинная установки работает по циклу с подводом теплоты при  $v=\text{const}$  и с полной регенерацией. Известны параметры:  $t_1=30$  °С и  $t_5=400$  °С, 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:  $t_1=20$  °С,  $p_1=1,05$  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

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>				
В. Г. Злобин, А. А. Верховланцев	Газотурбинные установки. Методика расчета ГТУ на номинальной мощности, пониженной мощности, расчет долговечности установки: практикум	М-во науки и высшего образования РФ, С.-Петербург. гос. ун-т пром. технологий и дизайна, Высш. шк. технологии и энергетики.-Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД	2021	<a href="http://nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/1641743961.pdf">http://nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/1641743961.pdf</a>
Злобин В.Г., Верховланцев А.А.	Газотурбинные установки. Часть 1. Тепловые схемы. Термодинамические циклы: учебное пособие	М-во науки и высшего образования РФ, С.-Петербург. гос. ун-т пром. технологий и дизайна, Высш. шк. технологии и энергетики. - Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД	2020	<a href="http://nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/1591318685.pdf">http://nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/1591318685.pdf</a>
А. А. Верховланцев, В. Г. Злобин	Газотурбинные установки. Часть 2: Конструкция ГТУ и их элементов: учебное пособие	М-во науки и высшего образования РФ, С.-Петербург. гос. ун-т пром. технологий и дизайна, Высш. шк. технологий и энергетики.- Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД	2021	<a href="http://nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/1639009385.pdf">http://nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/1639009385.pdf</a>
<b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>				
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

MicrosoftWindows 8

**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