

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.ДВ.01.02** Спецглавы термодинамики

Учебный план: \_\_\_\_\_ ФГОС3++zm130401.24-123\_23-13.plx

Кафедра:  Теплосиловых установок и тепловых двигателей

Направление подготовки:  
(специальность) 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки:  
(специализация) Тепломассообменные процессы и установки

Уровень образования: магистратура

Форма обучения: заочная

### План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоё мкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации	
	Лекции	Практ. занятия					
2	УП	6	6	56	4	2	Зачет
	РПД	6	6	56	4	2	
Итого	УП	6	6	56	4	2	
	РПД	6	6	56	4	2	

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

Составитель (и):

Кандидат технических наук, доцент

Злобин В.Г.

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:** Подготовка специалистов в области термодинамических расчетов и экспериментального исследования теплотехнического оборудования, применяемого на тепловых и атомных электростанциях. Необходимость принимать ответственные самостоятельные инженерные решения, требование критического отношения к литературным расчётным методикам предполагает четкое понимание физических процессов, происходящих в энергетических установках. Описание этих процессов производится математическими методами и моделями, реализованными средствами современной вычислительной техники.

### 1.2 Задачи дисциплины:

- обеспечение углубленной теплотехнической подготовки, включающей освоение сложных термодинамических систем, применительно к теплотехническому оборудованию, используемому на тепловых и атомных станциях;
- ознакомление с поверхностными явлениями, расчетами метастабильных состояний применительно к кипению, конденсации и истечению пара в соплах в область двухфазных состояний;
- ознакомление с методикой расчёта теплофизических свойств веществ при высоких и сверхвысоких температурах, когда становятся существенна диссоциация молекул;
- ознакомление с методами расчета термодинамических свойств однокомпонентных и многокомпонентных систем; анализ многофазных систем; ознакомление с современными инженерными методиками создания уравнений состояния для технически важных веществ и их смесей;
- учет изменения давления воздуха с высотой над уровнем земли в расчетах теплофизических свойств.

### 1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

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

Дисциплина базируется на компетенциях, сформированных на предыдущем уровне образования.

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### ПК-5.1: Способен к проведению технических расчетов, технико-экономического и стоимостного анализа проектных решений тепломассообменных процессов и установок

**Знать:** Первый и второй законы термодинамики применительно к сложным термодинамическим системам с переменной массой; способы расчета термодинамических свойств веществ в метастабильном состоянии; основные способы расчёта химических равновесий и расчёта термодинамических свойств диссоциирующих газов при высоких температурах; способы получения сверхнизких температур и проводить термодинамический анализ циклов холодильных машин, использующих свойство адиабатного размагничивания магнетика; термодинамический анализ обратимых гальванических элементов; основные методы создания уравнений состояния для расчета термодинамических параметров чистых веществ и их смесей для инженерных приложений; основные источники получения информации о термодинамических свойствах рабочих тел и теплоносителей теплотехнических установок.

**Уметь:** Анализировать энергетическое оборудование как сложную термодинамическую систему на предмет обобщенных сил, действующих в ней; использовать современные методы расчёта и способы обработки информации о термодинамических свойствах веществ, используемых в тепловой и атомной энергетике; вычислять термодинамические свойства химически реагирующих и диссоциирующих систем, проводить термодинамический анализ метастабильных, гальванических и магнитных систем.

**Владеть:** Методами термодинамического анализа сложных термодинамических систем рассматриваемых при проектировании энергетического оборудования тепловых и атомных станций; навыками поиска информации о термодинамических свойствах рабочих тел, хладагентов и теплоносителей теплотехнических установок.

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа		СР (часы)	Инновац. формы занятий
		Лек. (часы)	Пр. (часы)		
Раздел 1. Основы термодинамики высокотемпературного газа и плазмы.	2				
Тема 1. Особенности состояния диссоциированного газа. Степень диссоциации газа. Энтальпия диссоциирующего газа. Теплоемкость диссоциирующего газа.		0,5		6	
Тема 2. Термодинамический анализ состояния плазмы. Термодинамические параметры состояния плазмы. Ионизация газа. Степень ионизации. Константа равновесия ионизации. Формула Саха. Анализ равновесного состава плазмы.		0,5		6	
Раздел 2. Методы анализа эффективности энергетических установок.					
Тема 3. Методы анализа эффективности энергетических установок. Принципы построения термодинамических циклов тепловых машин. Цикл Карно. Теорема Карно. Особенности цикла Карно. Циклы с регенерацией теплоты. Обобщенный цикл Карно. Снижение работоспособности системы. Эксергия. Метод сравнения термических КПД циклов. Эксергетический метод анализа энергетических установок. Практическое занятие № 1 «Определение максимальной полезной работы рабочего тела».		1	2	6	

<p>Тема 4. Циклы теплосиловых газовых установок. Циклы компрессоров. Одноступенчатое сжатие газа. Многоступенчатое сжатие газа. Циклы поршневых двигателей. Циклы газотурбинных установок. Открытый цикл ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении. Цикл ГТУ с регенерацией теплоты. Практическое занятие № 2 «Определение параметров в характерных точках термодинамического цикла, полезной работы, термического КПД и степени приближения эффективности цикла теплового двигателя к максимально возможной величине».</p>	1	1	6	
<p>Тема 5. Циклы паровых теплосиловых установок. Цикл Карно на влажном паре. Цикл Ренкина. Эффективность парового цикла. Теплофикационные циклы. Практическое занятие № 3 «Определение термического КПД цикла Ренкина на перегретом паре».</p>	0,5	1	6	
<p>Раздел 3. Циклы и преобразователи тепловой энергии в электрическую.</p>				
<p>Тема 6. Цикл безмашинного преобразования теплоты в электроэнергию. Термодинамические параметры плазмы, находящейся в магнитном поле. Цикл МГД-генератора. Цикл энергетической установки на базе МГД-генератора. Плазменные МГД-генераторы. Достоинства и недостатки МГД-генераторов.</p>	0,5		6	
<p>Тема 7. Преобразователи тепловой энергии в электрическую. Термоэлектрогенераторы. Термоэмиссионные преобразователи.</p>	0,5		7	
<p>Раздел 4. Циклы холодильных и теплонасосных установок.</p>				
<p>Тема 8. Цикл холодильных машин и установок. Идеальный цикл холодильной машины. Цикл паровой компрессорной холодильной установки. Цикл воздушной холодильной машины. Абсорбционные холодильные установки. Цикл парожеторной холодильной установки. Практическое занятие № 4 «Расчет эффективности термодинамического цикла холодильной установки».</p>	0,5	1	6	

Тема 9. Циклы теплонасосных установок. Цикл парокompрессионного теплового насоса. Цикл парокompрессионного экологически чистого теплового насоса. Применение тепловых насосов в автономных источниках энергоснабжения. Источники низкопотенциальной теплоты для ТНУ. Возможные схемы включения ТНУ в состав автономных источников энергоснабжения. Практическое занятие № 5 «Расчет эффективности термодинамического цикла теплонасосной установки».	1	1	7	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)	6	6	56	
Консультации и промежуточная аттестация (Зачет)	0,25			
<b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>	12,25		56	

#### 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	1. Имеет представление о сложных термодинамических системах, поверхностных явлениях и методах расчета различных процессов. 2. Объясняет полученные данные в ходе расчетов метастабильных состояний, расчета термодинамических свойств однокомпонентных и многокомпонентных систем. 3. Осуществляет анализ сложных термодинамических систем рассматриваемых при проектировании энергетического оборудования.	1. Вопросы устного собеседования. 2. Практико-ориентированные задания.

##### 5.1.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
Зачтено	Обучающийся показывает достаточный уровень знаний в пределах основного учебного материала, без существенных ошибок выполняет предусмотренные в программе задания; усвоил основную литературу, рекомендованную в программе; способен объяснить взаимосвязь основных понятий дисциплины при дополнительных вопросах преподавателя. Допускает не существенные погрешности в ответе на вопросы, устраняет их без помощи преподавателя.	Обучающийся демонстрирует достаточное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения, знание размерностей физических величин. Допускает незначительные погрешности при применении математического аппарата для реализации плана решения задачи. Получил правильный ответ, но испытывает затруднения с его интерпретацией.
Не зачтено	Обучающийся обнаруживает пробелы в знаниях основного учебного материала, допускает принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий, не знаком с рекомендованной литературой, не может исправить допущенные ошибки.	Обучающийся не может проанализировать условие задачи, наметить план ее решения, выбрать физические законы и плохо ориентируется в физических величинах, не владеет математическим аппаратом. Представление чужой работы, отказ от выполнения задания.

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

### 5.2.1 Перечень контрольных вопросов

№ п/п	Формулировки вопросов
Курс 2	
1	Особенности состояния диссоциированного газа. Степень диссоциации
2	Энтальпия диссоциирующего газа
3	Теплоемкость диссоциирующего газа
4	Термодинамические параметры состояния плазмы
5	Ионизация газа. Степень ионизации. Константа равновесия ионизации
6	Формула Саха. Анализ равновесного состава плазмы
7	Принципы построения термодинамических циклов тепловых машин
8	Цикл Карно. Теорема Карно. Особенности цикла Карно
9	Циклы с регенерацией теплоты. Обобщенный цикл Карно
10	Снижение работоспособности системы. Эксергия
11	Методы сравнения термических циклов
12	Эксергетический метод анализа энергетических установок
13	Циклы компрессоров. Одноступенчатое и многоступенчатое сжатие газов
14	Циклы поршневых двигателей
15	Циклы газотурбинных установок
16	Циклы реактивных двигателей
17	Цикл Карно на влажном паре. Цикл Ренкина
18	Эффективность парового цикла. Теплофикационные циклы
19	Цикл МГД-генератора. Классификация МГД-установок
20	Устройство и принцип действия МГД-генератора. Бинарный цикл на базе МГД-генератора
21	Цикл парокомпрессионной установки
22	Цикл воздушной холодильной машина
23	Цикл абсорбционной холодильной машины
24	Цикл пароструйной холодильной машины

### 5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено.

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

Задача 1. Показать на примере, что среднеарифметическая температура рабочего тела всегда больше, чем среднеинтегральная температура при одинаковых условиях. Определить среднеарифметическую и среднеинтегральную температуры в термодинамическом процессе, если начальная температура  $T_1=600$  К, а конечная  $T_2=2200$  К.

Задача 2. При температуре  $20$  °С определить минимальную теоретическую работу разделения  $1$  кг газовой смеси, состоящей из  $30$  об. ч. двуокиси углерода и  $70$  об. ч. азота. Газы считать идеальными.

## 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 пользоваться справочными таблицами, калькулятором;

Время на подготовку ответа  $30$  минут;

В течение семестра выполняется контрольная работа.

## 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, М.С. Липатов	Специальные главы технической термодинамики: учеб. 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	2021	<a href="http://nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/1631649932.pdf">http://nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/1631649932.pdf</a>
Амирханов, Д. Г., Амирханов, Р. Д., Шевченко, Е. И.	Техническая термодинамика	Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет	2014	<a href="http://www.iprbooks.hop.ru/63486.html">http://www.iprbooks.hop.ru/63486.html</a>
<b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>				
Скаков, С. В.	Техническая термодинамика	Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ	2014	<a href="http://www.iprbooks.hop.ru/55663.html">http://www.iprbooks.hop.ru/55663.html</a>
Губарев, В. Я., Арзамасцев, А. Г.	Техническая термодинамика	Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ	2014	<a href="http://www.iprbooks.hop.ru/55163.html">http://www.iprbooks.hop.ru/55163.html</a>
В.Г. Злобин, С.В. Горбай, Т.Ю. Короткова	Техническая термодинамика [Текст]. Ч.1. Основные законы термодинамики. Циклы тепловых двигателей: учебное пособие	М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД	2016	<a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/5.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/5.pdf</a>
В.Г. Злобин, С.В. Горбай, Т.Ю. Короткова	Техническая термодинамика [Текст]. Ч.2. Водяной пар. Циклы теплосиловых установок: учебное пособие	М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД	2016	<a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/6.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/6.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

MicrosoftOfficeProfessional 2013  
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