

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.О.25** Техническая термодинамика

Учебный план: \_\_\_\_\_ ФГОС3++b130301ПТ-12\_24-14.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: **очная**

### План учебного процесса

| Семестр<br>(курс для ЗАО) |     | Контактная работа обучающихся |                   |                 | Сам.<br>работа | Контроль,<br>час. | Трудоё<br>мкость,<br>ЗЕТ | Форма<br>промежуточной<br>аттестации |
|---------------------------|-----|-------------------------------|-------------------|-----------------|----------------|-------------------|--------------------------|--------------------------------------|
|                           |     | Лекции                        | Практ.<br>занятия | Лаб.<br>занятия |                |                   |                          |                                      |
| 3                         | УП  | 34                            | 51                | 17              | 78             | 36                | 6                        | Экзамен                              |
|                           | РПД | 34                            | 51                | 17              | 78             | 36                | 6                        |                                      |
| 4                         | УП  | 34                            | 51                |                 | 23             | 36                | 4                        | Экзамен, Курсовая<br>работа          |
|                           | РПД | 34                            | 51                |                 | 23             | 36                | 4                        |                                      |
| Итого                     | УП  | 68                            | 102               | 17              | 101            | 72                | 10                       |                                      |
|                           | РПД | 68                            | 102               | 17              | 101            | 72                | 10                       |                                      |

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

Кондратенко А.Н.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой теплосиловых установок и  
тепловых двигателей

Злобин В.Г.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Сморозин С.Н.

Методический отдел:

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** Сформировать компетенции обучающегося в области теплоэнергетики и теплотехники, связанной со знаниями фундаментальных законов, являющихся основой функционирования тепловых машин и аппаратов, представлениями о рабочих процессах, протекающих в тепловых машинах и их эффективности, о свойствах рабочих тел и теплоносителей.

### 1.2 Задачи дисциплины:

- Овладеть основными понятиями технической термодинамики, терминологией, законами, основными термодинамическими процессами, протекающими в тепловых машинах.
- Уметь пользоваться методами расчета термодинамических процессов и экспериментального определения свойств рабочих тел и теплоносителей.
- Усвоить основные направления повышения эффективности тепловых машин и аппаратов.
- Продемонстрировать алгоритм расчета основных термодинамических параметров, с использованием прикладного программного обеспечения, для определения показателей эффективности.
- 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:

Математика

Химия

Физика

Материаловедение, технологии конструкционных материалов

Электротехника и электроника

Введение в специальность

Гидрогазодинамика (Газодинамика)

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**ОПК-4: Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах**

**Знать:** основные законы термодинамики; основные термодинамические соотношения; теплофизические свойства рабочих тел, термодинамические процессы, циклы и их показатели.

**Уметь:** использовать знания теплофизических свойств рабочих тел при расчетах теплотехнических установок и систем; понимать основные законы термодинамики и термодинамических соотношений.

**Владеть:** расчетами термодинамических процессов, циклов и их показателей.

### 3 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий                                                                                                                                                                                                                                                                               | Семестр<br>(курс для<br>ЗАО) | Контактная работа |               |                | СР<br>(часы) | Форма<br>текущего<br>контроля |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------|---------------|----------------|--------------|-------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                              | Лек.<br>(часы)    | Пр.<br>(часы) | Лаб.<br>(часы) |              |                               |
| Раздел 1. Основные законы термодинамики.                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 3                            |                   |               |                |              | О                             |
| Тема 1. Предмет технической термодинамики и ее задачи.<br>Введение; основные понятия и определения; предмет и метод технической термодинамики; международная система единиц (СИ); основные термодинамические параметры состояния; термодинамическая система; термодинамический процесс; теплота и работа; термодинамическое равновесие. |                              | 2                 | 4             |                | 6            |                               |
| Тема 2. Уравнения состояния идеальных газов.<br>Основные законы идеального газа; уравнение состояния идеальных газов; универсальное уравнение состояния идеального газа.                                                                                                                                                                |                              | 4                 | 4             |                | 7            |                               |
| Тема 3. Смесь идеальных газов.<br>Основные свойства газовых смесей; способы задания смеси газов; газовая постоянная смеси газов; средняя молярная масса смеси газов; парциальные давления.                                                                                                                                              |                              | 2                 | 4             |                | 7            |                               |
| Раздел 2. Реальные газы. Первый закон термодинамики.                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                              |                   |               |                |              | О                             |
| Тема 4. Реальные газы.<br>Свойства реальных газов; уравнение состояния Ван-дер-Ваальса; анализ уравнения Ван-дер-Ваальса; уравнение состояния для реальных газов М.П. Вукаловича и И.И. Новикова; температурные коэффициенты.                                                                                                           |                              | 2                 | 4             |                | 7            |                               |
| Тема 5. Первый закон термодинамики.<br>Закон сохранения и превращения энергии; внутренняя энергия; аналитическое выражение работы процесса; обратимые и необратимые процессы; аналитическое выражение первого закона термодинамики; энтальпия.                                                                                          |                              | 4                 | 6             |                | 7            |                               |
| Раздел 3. Теплоемкость газов. Термодинамические процессы.                                                                                                                                                                                                                                                                               |                              |                   |               |                |              | Л                             |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |   |   |    |    |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---|---|----|----|---|
| <p>Тема 6. Теплоемкость газов. Энтропия.</p> <p>Основные определения; удельная (массовая), объемная и молярная теплоемкости газов; аналитические выражения для теплоемкостей <math>C_v</math> и <math>C_p</math>; элементы молекулярно-кинетической и квантовой теорий теплоемкости; истинная и средняя теплоемкости; отношение теплоемкостей <math>C_p</math> и <math>C_v</math>; определение <math>Q_v</math> и <math>Q_p</math> для идеальных газов по таблицам теплоемкостей; теплоемкость смесей идеальных газов; приближенные значения теплоемкостей; энтропия. вычисление энтропии идеального газа для обратимых и необратимых процессов; тепловая T-s диаграмма.</p> <p>Лабораторная работа №1 "Определения отношения теплоемкостей <math>C_p</math> к <math>C_v</math>"</p> |  | 2 | 4 | 5  | 6  |   |
| <p>Тема 7. Термодинамические процессы идеальных газов.</p> <p>Общие вопросы исследования процессов; изохорный процесс; изобарный процесс; изотермический процесс; адиабатный процесс; политропные процессы.</p> <p>Лабораторная работа №2 "Исследование изотермического процесса",</p> <p>Лабораторная работа №3 "Исследование изобарного процесса",</p> <p>Лабораторная работа №4 "Исследование изохорного процесса",</p> <p>Лабораторная работа №5 "Исследование адиабатного процесса".</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  | 4 | 4 | 12 | 12 |   |
| Раздел 4. Второй закон термодинамики.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  |   |   |    |    |   |
| <p>Тема 8. Второй закон термодинамики.</p> <p>Основные положения второго закона термодинамики; круговые термодинамические процессы, или циклы; термический КПД и холодильный коэффициент циклов; прямой и обратный обратимый цикл Карно; теорема Карно; свойства обратимых и необратимых циклов и математическое выражение второго закона термодинамики.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  | 4 | 6 |    | 7  | О |
| <p>Тема 9. Энтропия термодинамических процессов.</p> <p>Изменения энтропии в обратимых и необратимых процессах; обобщенный (регенеративный) цикл Карно; принцип возрастания энтропии и физический смысл второго закона термодинамики; максимальная работа; эксергия.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  | 2 | 5 |    | 5  |   |
| Раздел 5. Истечение и дросселирование газов и паров.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |   |   |    |    | О |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |   |     |    |    |      |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|----|----|------|---|
| Тема 10. Истечение газов и паров. Первый закон термодинамики в применении к потоку движущегося газа; работа проталкивания. дальнейшее развитие уравнения первого закона термодинамики для потока; располагаемая работа при истечении газа; адиабатный процесс истечения газа; истечение капельной жидкости; скорость истечения и массовый расход идеального газа из суживающегося сопла; анализ уравнения массового расхода идеального газа и критическое давление; критическая скорость и максимальный расход идеального газа; основные условия течения идеального газа по каналам переменного сечения; случаи истечения идеального газа из суживающегося сопла; истечение идеального газа из комбинированного сопла Лаваля; истечение газов с учетом трения; истечение водяного пара. |   | 4   | 6  |    | 7    |   |
| Тема 11. Дросселирование газов и паров. смешение газов.<br>Дросселирование газа; уравнение процесса дросселирования; исследование процесса дросселирования. эффект Джоуля — Томсона; дросселирование Ван-дер-Ваальсова газа; кривая инверсии; дросселирование или мятие водяного пара; смешение газов; изменение энтропии идеальных газов при смешении.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |   | 4   | 4  |    | 7    |   |
| Итого в семестре (на курсе для ЗАО)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |   | 34  | 51 | 17 | 78   |   |
| Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |   | 2,5 |    |    | 33,5 |   |
| Раздел 6. Водяной пар (реальный газ).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |     |    |    |      |   |
| Тема 12. Водяной пар (реальный газ).<br>Основные понятия и определения; диаграмма $p - t$ водяного пара; процессы подогрева жидкости, парообразования и пароперегрева; сухой насыщенный пар; влажный насыщенный водяной пар; уравнение Клапейрона-Клаузиуса; процесс перегрева пара;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |   | 2   | 2  |    | 1    | О |
| Тема 13. Термодинамические процессы в парах.<br>Диаграммы $T-s$ и $h-s$ водяного пара; термодинамические процессы в парах.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 4 | 2   | 2  |    | 2    |   |
| Раздел 7. Циклы паросиловых установок.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |   |     |    |    |      |   |
| Тема 14. Циклы паросиловых установок.<br>Основной цикл паросиловой установки (цикл Ренкина) на перегретом паре без учета работы насоса; термический КПД цикла Ренкина с учетом работы насоса; удельный расход пара и теплоты; относительный внутренний и абсолютный КПД.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |   | 2   | 3  |    | 2    | О |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   |   |  |   |   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|--|---|---|
| Тема 15. Способы повышения термического КПД паросиловой установки.<br>Влияние начальных и конечных параметров пара на термический КПД ПСУ; вторичный перегрев пара.                                                                                                                                                                                                          | 2 | 4 |  | 1 |   |
| Раздел 8. Основы теплофикации.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |   |   |  |   |   |
| Тема 16. Основы теплофикации. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии.<br>Тепловой баланс конденсационной паросиловой установки; тепловой баланс теплофикационной ПСУ; теплофикационные циклы; цикл ПСУ с ухудшенным вакуумом в конденсаторе; цикл ПСУ с противодавленческими турбинами; цикл ПСУ с турбинами с двумя и одним регулируемым отборами пара. | 2 | 4 |  | 1 | О |
| Тема 17. Регенеративный цикл паросиловой установки.<br>Термодинамический КПД регенеративного цикла паросиловой установки; уравнение теплового баланса питательного бака и подогревателей.                                                                                                                                                                                    | 2 | 4 |  | 1 |   |
| Раздел 9. Циклы холодильных и теплонасосных установок.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |   |   |  |   |   |
| Тема 18. Циклы холодильных машин и установок.<br>Цикл паровой компрессионной холодильной машины; цикл воздушной холодильной машины; абсорбционные холодильные установки; цикл парожетторной холодильной установки.                                                                                                                                                           | 2 | 4 |  | 2 | О |
| Тема 19. Циклы теплонасосных установок.<br>Цикл парокомпрессионного теплового насоса; цикл парокомпрессионного экологически чистого теплового насоса.                                                                                                                                                                                                                        | 2 | 4 |  | 1 |   |
| Раздел 10. Циклы газотурбинных и газопоршневых установок.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |   |   |  |   |   |
| Тема 20. Циклы газотурбинных установок.<br>Анализ тепловой экономичности разомкнутого цикла ГТУ. Влияние параметров рабочего тела на тепловую экономичность идеального и реального цикла ГТУ. Регенеративный цикл ГТУ. Регенеративный цикл ГТУ с двухступенчатым сжатием и расширением рабочего тела. Эксергетический анализ цикла ГТУ.                                      | 4 | 4 |  | 2 | О |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |     |    |      |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----|----|------|---|
| Тема 21. Циклы газопоршневых и дизельных двигателей.<br>Принцип работы поршневых ДВС. Термодинамический анализ циклов ДВС. Термодинамический анализ циклов ДВС с подводом теплоты к рабочему телу при постоянном объеме, при постоянном давлении и со смешанным подводом теплоты к рабочему телу. Сравнение термодинамической экономичности циклов ДВС.                                                                                                                                                                                         |  | 4   | 4  | 2    |   |
| Раздел 11. Бинарные циклы. Циклы ПТУ АЭС. МГД-циклы.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |     |    |      |   |
| Тема 22. Бинарные циклы – парогазовые установки (ПГУ).<br>Термодинамические циклы установок. Цикл ПГУ. Цикл парогазовой установки с котлом-утилизатором. Парогазовые установки со сбросом газов в топку парового котла (ПГУ с низконапорным парогенератором). Парогазовые установки с высоконапорными парогенераторами. Полузависимая ПГУ.                                                                                                                                                                                                      |  | 4   | 4  | 2    |   |
| Тема 23. Циклы паротурбинных установок атомных электростанций.<br>Физические основы ядерных процессов. Основные принципиальные схемы и циклы атомных электростанций. Методика термодинамического расчета цикла АЭС на насыщенном водяном паре. Термодинамические особенности двухконтурного цикла АЭС на насыщенном водяном паре. Термодинамические особенности трехконтурного цикла АЭС на перегретом водяном паре. Термодинамические особенности цикла АЭС с газовым теплоносителем. Эксергетический анализ тепловой экономичности цикла ПТУ. |  | 4   | 8  | 2    | О |
| Тема 24. МГД - циклы.<br>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.                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  | 2   | 4  | 4    |   |
| Итого в семестре (на курсе для ЗАО)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  | 34  | 51 | 23   |   |
| Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен, Курсовая работа)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  | 2,5 |    | 33,5 |   |
| <b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  | 192 |    | 168  |   |

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

**4.1 Цели и задачи курсовой работы (проекта):** Целью курсовой работы является формирование компетенций, связанных с изучением термодинамических процессов в паровых турбинах, методов расчета технических параметров в характерных точках цикла паровых турбина, с получением навыков по определению количества подведенной и отведенной теплоты в паровой турбине, в результате которого определяют термические КПД, степени сухости пара после турбины, расход пара, топлива и охлаждающей воды в рассчитанных циклах и некоторые другие параметры.

Задача курсовой работы научить студентов использовать знания по закономерностям рабочих процессов

в турбине для её термодинамического расчета, привить навыки к самостоятельному анализу полученных результатов.

**4.2 Тематика курсовой работы (проекта):** Термодинамический расчет циклов паротурбинных установок.

**4.3 Требования к выполнению и представлению результатов курсовой работы (проекта):**

Работа выполняется индивидуально по указанному варианту, с использованием методических указаний, диаграмм воды и водяного пара, основной и дополнительной литературы по дисциплине.

Результаты представляются в виде пояснительной записки, объемом 40 стр, содержащей следующие обязательные элементы:

1. Задание и исходные данные для расчета.
2. Расчет цикла паротурбинных установок на перегретом паре (без учета работы насоса).
3. Расчет цикла паротурбинных установок с промежуточным перегревом пара и двумя регенеративными отборами.
4. Расчет цикла паротурбинных установок с теплофикационным отбором пара.
5. Расчет цикла паротурбинных установок с необратимыми потерями в тепловом насосе.
6. Выводы.
7. Рисунки в записке: Изобразить схемы установок и циклы в (p-v), (T-s), (h-s) диаграммах.

## 5. ОПИСАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, КРИТЕРИЕВ, СИСТЕМЫ И СРЕДСТВ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

### 5.1 Показатели оценивания

| Код компетенции | Показатели оценивания результатов обучения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-4           | Обучающийся:<br>1. Демонстрирует умение читать и разрабатывать технологические схемы, термодинамические процессы, циклы; умеет оценивать параметры технического состояния, распознавать причины нарушений в работе теплотехнических установок и систем.<br>2. Использует основные законы термодинамики, термодинамические соотношения, термодинамические свойства рабочих тел для расчета параметров работы и технического состояния теплотехнического оборудования и устройств.<br>3. Умеет определять последовательность необходимых действий при выполнении расчетов термодинамических процессов, циклов и их показателей;<br>4. Владеет методикой разработки технических условий и решений на технологические изменения, реконструкцию, техническое перевооружение и модернизацию теплотехнического оборудования. |

### 5.2 Система и критерии оценивания

| Шкала оценивания      | Критерии оценивания сформированности компетенций                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       | Устное собеседование                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Письменная работа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 5 (отлично)           | Обучающийся показывает всестороннее и глубокое знание основных термодинамических законов, свободно ориентируется в основных понятиях, терминах и определениях при ответе; усвоил основную и знаком с дополнительной литературой; может объяснить взаимосвязь термодинамических процессов для последующей профессиональной деятельности; проявляет творческие способности и широкую эрудицию в использовании учебного материала. | Полное и разностороннее рассмотрение вопросов, свидетельствующее о значительной самостоятельной работе с источниками. Качество исполнения всех элементов работы соответствует требованиям, содержание полностью соответствует заданию. Даны исчерпывающие выводы и полные ответы на поставленные вопросы. Работа представлена к защите в требуемые сроки.                                                 |
| 4 (хорошо)            | Обучающийся показывает достаточный уровень знаний основных термодинамических законов, ориентируется в основных понятиях и определениях термодинамических процессов; усвоил основную литературу; допускает незначительные погрешности при ответах на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы преподавателя.                                                                                                     | Работа выполнена в необходимом объеме при отсутствии ошибок, что свидетельствует о самостоятельности при работе с источниками информации. Полученные результаты связаны с базовыми понятиями в области теплотехники. Даны полные ответы на поставленные вопросы, но имеют место несущественные нарушения в оформлении работы или даны нечеткие выводы, или нарушены сроки предоставления работы к защите. |
| 3 (удовлетворительно) | Обучающийся показывает знания                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Задание выполнено полностью, но в работе                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            | учебного материала в минимальном объеме; может сформулировать термодинамические законы, понятия и определения термодинамических процессов, но при этом, допуская большое количество непринципиальных ошибок; знаком с основной литературой; допускает существенные ошибки в ответе на экзамене, но может устранить их под руководством преподавателя | есть отдельные существенные ошибки, присутствуют неточности в ответах, либо качество представления работы низкое, либо работа представлена с опозданием.                                                                                          |
| 2<br>(неудовлетворительно) | Обучающийся не имеет достаточного уровня знания дисциплины; не может сформулировать основные термодинамические законы; плохо ориентируется в основных понятиях и определениях; плохо знаком с основной литературой; допускает при ответе на экзамене существенные ошибки и не может устранить их даже под руководством преподавателя.                | Отсутствие одного или нескольких обязательных элементов задания, либо многочисленные грубые ошибки в работе, либо грубые нарушения правил оформления или сроков представления работы. Неспособность ответить на вопросы без помощи преподавателя. |

### 5.3 Типовые контрольные задания и/или иные материалы, используемые для оценки результатов обучения

#### 5.3.1 Типовые контрольные вопросы

| № п/п     | Формулировки вопросов                                                                              |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Семестр 3 |                                                                                                    |
| 1         | Основные термодинамические параметры состояния. Единицы измерения в системе СИ.                    |
| 2         | Определения и свойства термодинамических систем. Термодинамический процесс.                        |
| 3         | Теплота и работа, как разные формы передачи энергии. Термодинамическое равновесие.                 |
| 4         | Понятие об идеальном газе. Основные законы идеальных газов.                                        |
| 5         | Уравнение состояния идеальных газов. Удельная газовая постоянная.                                  |
| 6         | Универсальное уравнение состояния идеального газа. Универсальная газовая постоянная.               |
| 7         | Основные свойства газовых смесей. Способы задания смеси газов. Закон Дальтона.                     |
| 8         | Средняя молярная масса смеси газов. Парциальные давления.                                          |
| 9         | Термодинамические свойства реальных газов.                                                         |
| 10        | Уравнение состояния Ван-дер-Ваальса.                                                               |
| 11        | Анализ уравнения Ван-дер-Ваальса.                                                                  |
| 12        | $P$ - $v$ -диаграмма при фазовых переходах жидкости и газа (диаграмма Эндрюса).                    |
| 13        | Критические параметры вещества.                                                                    |
| 14        | Уравнение Ван-дер-Ваальса в приведенных параметрах состояния.                                      |
| 15        | Уравнение состояния для реальных газов М.П.Вукаловича и И.И.Новикова.                              |
| 16        | Закон сохранения и превращения энергии. Внутренняя энергия.                                        |
| 17        | Аналитическое выражение работы процесса.                                                           |
| 18        | Обратимые и необратимые термодинамические процессы.                                                |
| 19        | Общее аналитическое выражение первого закона термодинамики.                                        |
| 20        | Внутренняя энергия и энтальпия как энергетические функции состояния идеального газа.               |
| 21        | Определения удельной (массовой), объемной и молярной теплоемкости газов. Их взаимосвязь.           |
| 22        | Аналитические выражения для теплоемкостей $c_v$ и $c_p$ . Зависимость теплоемкости от температуры. |
| 23        | Элементы молекулярно-кинетической и квантовой теорий теплоемкости.                                 |
| 24        | Истинная и средняя теплоемкости. Отношение теплоемкостей $c_p$ и $c_v$ .                           |
| 25        | Теплоемкость смесей идеальных газов. Приближенные значения теплоемкостей.                          |
| 26        | Энтропия. Вычисление энтропии идеального газа для обратимых и необратимых процессов.               |
| 27        | Изображение и сопоставление тепловых процессов в $p$ - $v$ и $T$ - $s$ – диаграмма.                |
| 28        | Общие вопросы исследования термодинамических процессов идеальных газов.                            |
| 29        | Исследование изохорного и изобарного процессов.                                                    |
| 30        | Исследование изотермического и адиабатного процессов.                                              |
| 31        | Исследование политропного процесса.                                                                |
| 32        | Основные положения второго закона термодинамики.                                                   |

|           |                                                                                                                                        |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 33        | Круговые термодинамические процессы и циклы.                                                                                           |
| 34        | Термический КПД и холодильный коэффициент циклов.                                                                                      |
| 35        | Прямой обратимый цикл Карно.                                                                                                           |
| 36        | Обратный обратимый цикл Карно.                                                                                                         |
| 37        | Теорема Карно.                                                                                                                         |
| 38        | Свойства обратимых и необратимых циклов. Математическое выражение второго закона термодинамики.                                        |
| 39        | Обобщенный (регенеративный) цикл Карно.                                                                                                |
| 40        | Максимальная работа. Понятие эксергии. Потери работоспособности в необратимых процессах.                                               |
| 41        | Первый закон термодинамики в применении к потоку движущегося газа. Работа проталкивания.                                               |
| 42        | Располагаемая работа при истечении газа. Скорость истечения и массовый расход идеального газа из суживающегося сопла.                  |
| 43        | Скорость истечения и массовый расход идеального газа из сужающегося сопла.                                                             |
| 44        | Анализ уравнения массового расхода идеального газа и критическое давление. Критическая скорость и максимальный расход идеального газа. |
| 45        | Основные условия течения идеального газа по каналам переменного сечения.                                                               |
| 46        | Случаи истечения идеального газа из суживающегося сопла.                                                                               |
| 47        | Истечение идеального газа из комбинированного сопла Лаваля.                                                                            |
| 48        | Дросселирование газа. Уравнение процесса дросселирования. Эффект Джоуля-Томпсона.                                                      |
| 49        | Дросселирование Ван-дер-Ваальсова газа. Кривая инверсии.                                                                               |
| 50        | Смещение газов. Изменение энтропии идеальных газов при смешении.                                                                       |
| Семестр 4 |                                                                                                                                        |
| 51        | T-p – диаграмма фазовых переходов вещества. Основные понятия и определения процессов фазовых переходов.                                |
| 52        | p – V- диаграмма водяного пара.                                                                                                        |
| 53        | Процесс подогрева жидкости. График подогрева жидкости в T-S координатах.                                                               |
| 54        | Процесс парообразования. Внешняя и внутренняя теплоты парообразования.                                                                 |
| 55        | Сухой насыщенный пар. Полная теплота сухого насыщенного пара. Таблицы сухого насыщенного пара.                                         |
| 56        | Влажный насыщенный водяной пар. Параметры влажного насыщенного пара.                                                                   |
| 57        | Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.                                                                                                        |
| 58        | Процесс перегрева пара. Параметры перегретого пара.                                                                                    |
| 59        | Диаграммы T-S и h-S водяного пара.                                                                                                     |
| 60        | Изохорный и изобарный термодинамические процессы водяного пара.                                                                        |
| 61        | Изотермический и адиабатный термодинамические процессы водяного пара.                                                                  |
| 62        | Основной цикл паросиловой установки (цикл Ренкина) на перегретом паре без учета работы насоса.                                         |
| 63        | Термический КПД цикла Ренкина с учетом работы насоса.                                                                                  |
| 64        | Удельные расходы пара и теплоты. Относительный внутренний и абсолютный КПД цикла Ренкина.                                              |
| 65        | Влияние начального давления $p_1$ на термический КПД ПСУ.                                                                              |
| 66        | Влияние начальной температуры пара $t_1$ на термический КПД ПСУ.                                                                       |
| 67        | Влияние конечного давления $p_2$ на термический КПД ПСУ.                                                                               |
| 68        | Пути повышения термического КПД паросиловых установок. Вторичный перегрев пара.                                                        |
| 69        | Тепловой баланс конденсационной и теплофикационной паросиловой установки.                                                              |
| 70        | Теплофикационные циклы. Цикл ПСУ с ухудшенным вакуумом в конденсаторе.                                                                 |
| 71        | Цикл ПСУ с противодавленческими турбинами (турбины типа «Р»).                                                                          |
| 72        | Цикл ПСУ с турбинами с регулируемыми отборами пара (с одним производственным или теплофикационным или двумя одновременно).             |
| 73        | Термодинамический КПД регенеративного цикла паросиловой установки.                                                                     |
| 74        | Схема реального регенеративного цикла ПСУ и его изображение в диаграмме T-S.                                                           |
| 75        | Уравнения теплового баланса питательного бака и подогревателей регенеративного цикла ПСУ.                                              |
| 76        | Холодильная установка, работающая по циклу Карно. Холодильный коэффициент.                                                             |
| 77        | Цикл паровой компрессионной холодильной машины.                                                                                        |
| 78        | Цикл воздушной холодильной машины.                                                                                                     |
| 79        | Абсорбционные холодильные установки.                                                                                                   |
| 80        | Цикл парозежекторной холодильной установки.                                                                                            |
| 81        | Цикл парокомпрессионного теплового насоса и парокомпрессионного экологически чистого теплового насоса.                                 |
| 82        | Анализ тепловой экономичности разомкнутого цикла ГТУ.                                                                                  |

|     |                                                                                                      |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 83  | Влияние параметров рабочего тела на тепловую экономичность идеального и реального цикла ГТУ.         |
| 84  | Регенеративный цикл ГТУ.                                                                             |
| 85  | Регенеративный цикл ГТУ с двухступенчатым сжатием и расширением рабочего тела.                       |
| 86  | Методика термодинамического расчета многоступенчатой ГТУ. Эксергетический анализ циклов ГТУ.         |
| 87  | Цикл парогазовой установки с котлом-утилизатором.                                                    |
| 88  | Парогазовые установки со сбросом газов в топку парового котла (ПГУ с низконапорным парогенератором). |
| 89  | Парогазовые установки с высоконапорными парогенераторами.                                            |
| 90  | Полузависимая парогазовая установка.                                                                 |
| 91  | Принцип работы поршневых ДВС.                                                                        |
| 92  | Термодинамический анализ циклов ДВС с подводом теплоты к рабочему телу при постоянном объеме.        |
| 93  | Термодинамический анализ циклов ДВС с подводом теплоты к рабочему телу при постоянном давлении.      |
| 94  | Термодинамический анализ цикла ДВС со смешанным подводом теплоты к рабочему телу.                    |
| 95  | Сравнение термодинамической экономичности циклов ДВС.                                                |
| 96  | Основные принципиальные схемы и циклы атомных электростанций.                                        |
| 97  | Методика термодинамического расчета цикла АЭС на насыщенном водяном паре.                            |
| 98  | Термодинамические особенности двухконтурного цикла АЭС на насыщенном водяном паре.                   |
| 99  | Термодинамические особенности трехконтурного цикла АЭС на перегретом водяном паре.                   |
| 100 | Эксергетический анализ тепловой экономичности цикла ПТУ АЭС.                                         |

### 5.3.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено.

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

Задание №1.

Для идеального газа температурный коэффициент объемного расширения  $\beta_r = 1/273,15$  был получен при изобарном нагреве от 0 до 1°C. Определить числовые значения  $\beta_r$  при 200°C и 400°C.

Задание №2.

Из комбинированного сопла газовой турбины вытекают продукты сгорания при давлении  $P_2 = 0,13$  МПа. При входе в сопло давление газов равно  $P_1 = 0,1$  МПа при температуре 1200 К. Массовый расход, газов  $m = 0,8$  кг/с. Истечение считать адиабатным, а показатель адиабаты  $k = C_p/C_v = 1,35$ . Продукты сгорания обладают свойствами воздуха. Трением в канале сопла и входной скоростью пренебречь. Определить минимальное и выходное сечения сопла, а также температуру газов при выходе из сопла.

## 5.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения

### 5.4.1 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»

### 5.4.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная ☐ + Письменная ☐ + Компьютерное тестирование ☐ Иная ☐

### 5.4.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

- Возможность пользоваться справочными таблицами, разрешенными слайдами схем и рисунков, калькулятором;
- Время на подготовку ответа по билету на экзамене 45 минут;
- На защиту курсовой работы предоставляется не более 15 минут, включая ответы на вопросы.

## 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, 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/tsuidt/6.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuidt/6.pdf</a> |

|                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                             |      |                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Крайнов, А. В.,<br>Пашков, Е. Н.               | Термодинамика и<br>теплопередача. Часть 1.<br>Термодинамика                                                                                                                                                                                                       | Томск: Томский<br>политехнический<br>университет                                                            | 2017 | <a href="http://www.iprbookshop.ru/84039.html">http://www.iprbookshop.ru/84039.html</a>                                         |
| В.Г. Злобин, С.В.<br>Горбай, Т.Ю.<br>Короткова | Техническая<br>термодинамика [Текст].<br>Ч.1. Основные законы<br>термодинамики. Циклы<br>тепловых двигателей:<br>учебное пособие                                                                                                                                  | М-во образования и<br>науки РФ, ВШТЭ<br>СПбГУПТД. – СПб.:<br>ВШТЭ СПбГУПТД                                  | 2016 | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/5.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/5.pdf</a>                         |
| <b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                             |      |                                                                                                                                 |
| Комаров, А. А.                                 | Термодинамика и<br>статистическая физика.<br>Руководство к решению<br>задач. Часть 1                                                                                                                                                                              | Алматы: Казахский<br>национальный<br>университет им. аль-<br>Фараби                                         | 2013 | <a href="http://www.iprbookshop.ru/59892.html">http://www.iprbookshop.ru/59892.html</a>                                         |
| В.Г. Злобин, С.В.<br>Горбай, М.С.<br>Липатов   | Определение отношения<br>теплоемкостей воздуха<br>Cp/Cv [Текст]:<br>методические указания к<br>лабораторной работе по<br>дисциплине «Техническая<br>термодинамика» для<br>студентов институтов<br>энергетики и<br>автоматизации и<br>безотрывных форм<br>обучения | М-во образования и<br>науки РФ, ВШТЭ<br>СПбГУПТД. – СПб.:<br>ВШТЭ СПбГУПТД                                  | 2017 | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/7.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/7.pdf</a>                         |
| С.В. Горбай, М.С.<br>Липатов                   | Техническая<br>термодинамика [Текст] :<br>методические указания к<br>выполнению контрольных<br>работ для обучающихся<br>Института безотрывных<br>форм обучения                                                                                                    | М-во науки и высшего<br>образования РФ, ВШТЭ<br>СПбГУПТД.- СПб. :<br>ВШТЭ СПбГУПТД                          | 2019 | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/2019_08_26_01.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/2019_08_26_01.pdf</a> |
| В.Г. Злобин, С.В.<br>Горбай, Э.Р. лиев         | Исследование<br>термодинамических<br>процессов [Текст]:<br>методические указания к<br>лабораторным работам по<br>дисциплине «Техническая<br>термодинамика» для<br>студентов институтов<br>энергетики и<br>автоматизации и<br>безотрывных форм<br>обучения         | М-во образования и<br>науки РФ, ВШТЭ<br>СПбГУПТД. – СПб.:<br>ВШТЭ СПбГУПТД                                  | 2016 | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd//2.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd//2.pdf</a>                       |
| Козырев, А. В.                                 | Термодинамика и<br>молекулярная физика                                                                                                                                                                                                                            | Томск: Томский<br>государственный<br>университет систем<br>управления и<br>радиоэлектроники, Эль<br>Контент | 2012 | <a href="http://www.iprbookshop.ru/13871.html">http://www.iprbookshop.ru/13871.html</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

MicrosoftOfficeProfessional 2013

Диаграмма HS для воды и водяного пара v2.5

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

| Аудитория            | Оснащение                                                                                                                                                                                        |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Лекционная аудитория | Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска                                                                                                                                    |
| Учебная аудитория    | Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска                                                                                                                                    |
| А-207                | Лабораторные установки для испытания различных конструкций теплообменных аппаратов, лабораторная установка Теплоснабжение с МПСО, лабораторный стенд по исследованию термодинамических процессов |
| А-003                | Лабораторная установка для определения отношения теплоемкостей воздуха, калориметр для определения общей жесткости, термостат вискозиметрический                                                 |