

Министерство образования и науки Российской Федерации

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»  
**ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ**



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ВШТЭ

П.В.Луканин

« 28 » июня 2018 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Б1.Б.14**

(индекс дисциплины)

**Техническая термодинамика**

(Наименование дисциплины)

Кафедра: **21** Теплосиловых установок и тепловых двигателей

Код

(Наименование кафедры)

Направление подготовки: **13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

Профиль подготовки: **Промышленная теплоэнергетика**

Уровень образования: **Бакалавриат**

### План учебного процесса

| Составляющие учебного процесса  |                          | Очное обучение | Очно-заочное* обучение | Заочное* обучение |
|---|--------------------------|----------------|------------------------|-------------------|
| Контактная работа обучающихся с преподавателем по видам учебных занятий и самостоятельная работа обучающихся (часы) | Всего                    | 360            | 360                    | 360               |
|   | Аудиторные занятия       | 140            | 102                    | 40                |
|   | Лекции                   | 53             | 34                     | 20                |
|   | Лабораторные занятия     | 18             |                        | 20                |
|   | Практические занятия     | 69             | 68                     |                   |
|   | Самостоятельная работа   | 184            | 222                    | 307               |
|   | Промежуточная аттестация | 36             | 36                     | 13                |
| Формы контроля по семестрам (номер семестра)  | Экзамен                  | 4              | 5                      | 5                 |
|   | Зачет                    | 3              | 4                      | 4                 |
|   | Контрольная работа       |                |                        | 45                |
| Общая трудоемкость дисциплины (зачетные единицы)  |                          | 10             | 10                     | 10                |

| Форма обучения: | Распределение зачетных единиц трудоемкости по семестрам |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|                 | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Очная           |   |   | 5 | 5 |   |   |   |   |   |    |
| Очно-заочная    |   |   |   | 5 | 5 |   |   |   |   |    |
| Заочная         |   |   |   | 4 | 6 |   |   |   |   |    |

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


На основании учебных планов № b130301-234  
v130301-4  
z130301-234


Кафедра-разработчик: Теплосиловых установок и тепловых двигателей

Заведующий кафедрой: Коновалов П.Н. 

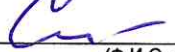
**СОГЛАСОВАНИЕ:**

Выпускающая кафедра: Теплосиловых установок и тепловых двигателей  
(наименование кафедры)

Заведующий кафедрой: Коновалов П.Н.   
(Ф.И.О. заведующего, подпись)

Методический отдел: Смирнова В.Г.   
(Ф.И.О. сотрудника отдела, подпись)

Выпускающая кафедра: Промышленной теплоэнергетики  
(наименование кафедры)

Заведующий кафедрой: Сморозин С.Н.   
(Ф.И.О. заведующего, подпись)

# 1. ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## 1.1. Место преподаваемой дисциплины в структуре образовательной программы

Блок 1: Базовая  Обязательная  Дополнительно является факультативом   
 Вариативная  По выбору

## 1.2. 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.

## 1.3. 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.

## 1.4. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

| Код компетенции  | Формулировка компетенции   | Этап формирования |
|--|--|-------------------|
| ОПК-1  | Способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий.  | 2                 |
| <b>Планируемые результаты обучения</b><br>Знать:<br>1) Схемы, конструкции, характеристики, технико-экономические показатели и особенности эксплуатации при нормальных, аварийных, послеаварийных и ремонтных режимах работы теплоэнергетического оборудования и устройств;<br>2) Тепловые, электрические и другие технологические схемы обслуживаемых объектов.<br>Уметь:<br>1) Читать и разрабатывать технологические схемы;<br>2) Оценивать техническое состояние, распознавать причины нарушений в работе теплоэнергетического оборудования;<br>3) Разрабатывать регламентирующие документы;<br>4) Работать с персональным компьютером и используемым на ТЭС программным обеспечением.<br>Владеть:<br>1) Контролем режимов работы и технического состояния тепломеханического оборудования, выявлением и учетом неисправностей и дефектов узлов, деталей, конструкций оборудования при обходе, по показаниям приборов на щите дистанционного управления, по записям о выявленных нарушениях в работе оборудования в оперативной документации;<br>2) Учетом и анализом технико-экономических показателей работы тепломеханического оборудования. |  |                   |
| ОПК-2  | Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и | 2                 |

| Код компетенции  | Формулировка компетенции  | Этап формирования |
|--|---|-------------------|
|  | моделирования, теоретического и экспериментального исследования |                   |
| <b>Планируемые результаты обучения</b>   |   |                   |
| Знать:   |   |                   |
| 1) Тенденции развития теплоэнергетики, новые виды оборудования, передовой производственный опыт по вопросам повышения эффективности и надежности тепломеханического оборудования, реконструкции и модернизации объектов теплоэнергетики; |   |                   |
| 2) Назначение и принцип работы тепломеханического оборудования;  |   |                   |
| 3) Правила технической эксплуатации, действующие организационно-распорядительные, нормативные, методические документы по вопросам эксплуатации тепломеханического оборудования.  |   |                   |
| Уметь:   |   |                   |
| 1) Определять последовательность необходимых действий при выполнении работ по эксплуатации теплоэнергетического оборудования;  |   |                   |
| 2) Излагать техническую информацию, нормы и правила в письменной форме   |   |                   |
| Владеть:   |   |                   |
| 1) Подготовкой предложений по оптимизации режимов работы, повышению уровня технической эксплуатации, экономичности работы и безопасности обслуживания оборудования;  |   |                   |
| 2) Разработкой технических условий и технических решений на технологические изменения, реконструкцию, техническое перевооружение и модернизацию тепломеханического оборудования;   |   |                   |
| 3) Подготовкой и внесением изменений в тепловые, электрические и другие технологические схемы обслуживаемых объектов;  |   |                   |
| 4) Разработкой указаний и рекомендаций по режимам эксплуатации тепломеханического оборудования.  |   |                   |

**1.5. Дисциплины (практики) образовательной программы, в которых было начато формирование компетенций, указанных в п.1.4:**

- В задачах теплоэнергетики и теплотехнологиях (ОПК-1)
- Математика (ОПК-2)
- Физика (ОПК-2)
- Химия (ОПК-2)
- Материаловедение и технология конструкционных материалов (ОПК-2)
- Инженерная графика (ОПК-2)
- Механика (ОПК-2)
- Электротехника и электроника (ОПК-2)

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Наименование и содержание учебных модулей, тем и форм контроля   | Объем (часы)   |                       |                  |
|--|----------------|-----------------------|------------------|
|  | очное обучение | очно-заочное обучение | заочное обучение |
| <b>Учебный модуль 1. Основные законы термодинамики.</b>  |                |                       |                  |
| Тема 1. Предмет технической термодинамики и ее задачи. 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. | 8              | 8                     | 8                |
| Тема 2. Уравнения состояния идеальных газов. Основные законы идеального газа; уравнение состояния идеальных газов; универсальное уравнение состояния идеального газа.  | 15             | 10                    | 10               |
| Тема 3. Смесь идеальных газов. Основные свойства газовых смесей; способы задания смеси газов; газовая постоянная смеси газов; средняя молярная масса смеси газов; парциальные давления.  | 12             | 8                     | 8                |
| <b>Текущий контроль 1. (опрос)</b>   | 2              | 2                     | -                |
| <b>Учебный модуль 2. Реальные газы. Первый закон термодинамики.</b>  |                |                       |                  |
| Тема 4. Реальные газы.   | 16             | 10                    | 10               |

| Наименование и содержание учебных модулей, тем и форм контроля   | Объем (часы)   |                       |                  |
|--|----------------|-----------------------|------------------|
|  | очное обучение | очно-заочное обучение | заочное обучение |
| 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.  |                |                       |                  |
| 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.   | 17             | 15                    | 15               |
| <b>Текущий контроль 2.</b> (опрос)   | 2              | 2                     | -                |
| <b>Учебный модуль 3.</b> Теплоемкость газов. Термодинамические процессы.   |                |                       |                  |
| Тема 6. Теплоемкость газов. Энтропия.<br>Основные определения; удельная (массовая), объемная и молярная теплоемкости газов; аналитические выражения для теплоемкостей $c_v$ и $c_p$ ; элементы молекулярно-кинетической и квантовой теорий теплоемкости; истинная и средняя теплоемкости; отношение теплоемкостей $c_p$ и $c_v$ ; определение $q_v$ и $q_p$ 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.  | 18             | 14                    | 14               |
| Тема 7. Термодинамические процессы идеальных газов.<br>Общие вопросы исследования процессов; изохорный процесс; изобарный процесс; изотермический процесс; адиабатный процесс; политропные процессы.   | 16             | 14                    | 14               |
| <b>Текущий контроль 3.</b> (опрос)   | 2              | 2                     | -                |
| <b>Учебный модуль 4.</b> Второй закон термодинамики.   |                |                       |                  |
| Тема 8. Второй закон термодинамики.<br>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.  | 18             | 15                    | 15               |
| Тема 9. Энтропия термодинамических процессов.<br>Изменения энтропии в обратимых и необратимых процессах; обобщенный (регенеративный) цикл Карно; принцип возрастания энтропии и физический смысл второго закона термодинамики; максимальная работа; эксергия.  | 15             | 12                    | 12               |
| <b>Текущий контроль 4.</b> (опрос)   | 2              | 2                     | -                |
| <b>Учебный модуль 5.</b> Истечение и дросселирование газов и паров.  |                |                       |                  |
| Тема 10. Истечение газов и паров.<br>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 Лавалю; истечение газов с учетом трения; истечение водяного пара. | 16             | 12                    | 12               |
| 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.  | 15             | 12                    | 12               |
| <b>Текущий контроль 5.</b> (опрос)   | 2              | 2                     | -                |
| <b>Текущий контроль.</b> (контрольная работа)  | -              | -                     | <b>10</b>        |
| <b>Промежуточная аттестация по дисциплине</b> (зачет)  | <b>4</b>       | <b>4</b>              | <b>4</b>         |
| <b>Учебный модуль 6.</b> Водяной пар (реальный газ).   |                |                       |                  |
| Тема 12. Водяной пар (реальный газ).   | 9              | 15                    | 17               |

| Наименование и содержание учебных модулей, тем и форм контроля   | Объем (часы)   |                       |                  |
|--|----------------|-----------------------|------------------|
|  | очное обучение | очно-заочное обучение | заочное обучение |
| 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;   |                |                       |                  |
| Тема 13. Термодинамические процессы в парах.<br>Диаграммы $T-s$ и $h-s$ водяного пара; термодинамические процессы в парах.   | 10             | 16                    | 20               |
| <b>Текущий контроль 6.</b> (опрос)   | 2              | 2                     | -                |
| <b>Учебный модуль 7.</b> 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.   | 21             | 26                    | 26               |
| Тема 15. Способы повышения термического КПД паросиловой установки.<br>Влияние начальных и конечных параметров пара на термический КПД ПСУ; вторичный перегрев пара.  | 18             | 22                    | 24               |
| <b>Текущий контроль 7.</b> (опрос)   | 2              | 2                     | -                |
| <b>Учебный модуль 8.</b> 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. | 20             | 24                    | 24               |
| Тема 17. Регенеративный цикл паросиловой установки.<br>Термодинамический КПД регенеративного цикла паросиловой установки; уравнение теплового баланса питательного бака и подогревателей.  | 19             | 22                    | 24               |
| <b>Текущий контроль 8.</b> (опрос)   | 2              | 2                     | -                |
| <b>Учебный модуль 9.</b> 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 парозежекторной холодильной установки.   | 21             | 25                    | 28               |
| Тема 19. Циклы теплонасосных установок.<br>Цикл пароконденсационного теплового насоса; цикл пароконденсационного экологически чистого теплового насоса.  | 18             | 22                    | 24               |
| <b>Текущий контроль 9.</b> (опрос)   | 2              | 2                     | -                |
| <b>Текущий контроль.</b> (контрольная работа)  | -              | -                     | <b>20</b>        |
| <b>Промежуточная аттестация по дисциплине</b> (экзамен)  | <b>36</b>      | <b>36</b>             | <b>9</b>         |
| <b>ВСЕГО:</b>  | <b>360</b>     | <b>360</b>            | <b>360</b>       |

### 3. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

#### 3.1. Лекции

| Номера изучаемых тем | Очное обучение |              | Очно-заочное обучение |              | Заочное обучение |              |
|----------------------|----------------|--------------|-----------------------|--------------|------------------|--------------|
|                      | Номер семестра | Объем (часы) | Номер семестра        | Объем (часы) | Номер семестра   | Объем (часы) |
| 1                    | 3              | 2            | 4                     | 2            | 4                | 1            |
| 2                    | 3              | 2            | 4                     | 2            | 4                | 1            |
| 3                    | 3              | 2            | 4                     | 2            | 4                | 1            |
| 4                    | 3              | 4            | 4                     | 1            | 4                | 1            |
| 5                    | 3              | 4            | 4                     | 1            | 4                | 1            |
| 6                    | 3              | 4            | 4                     | 1            | 4                | 1            |
| 7                    | 3              | 4            | 4                     | 1            | 4                | 1            |
| 8                    | 3              | 3            | 4                     | 1            | 4                | 0,5          |
| 9                    | 3              | 3            | 4                     | 1            | 4                | 0,5          |
| 10                   | 3              | 4            | 4                     | 2            | 4                | 1            |

| Номера изучаемых тем | Очное обучение |              | Очно-заочное обучение |              | Заочное обучение |              |
|----------------------|----------------|--------------|-----------------------|--------------|------------------|--------------|
|                      | Номер семестра | Объем (часы) | Номер семестра        | Объем (часы) | Номер семестра   | Объем (часы) |
| 11                   | 3              | 4            | 4                     | 2            | 4                | 1            |
| 12                   | 4              | 2            | 5                     | 2            | 5                | 1            |
| 13                   | 4              | 2            | 5                     | 2            | 5                | 2            |
| 14                   | 4              | 2            | 5                     | 2            | 5                | 2            |
| 15                   | 4              | 2            | 5                     | 2            | 5                | 1            |
| 16                   | 4              | 3            | 5                     | 2            | 5                | 1            |
| 17                   | 4              | 2            | 5                     | 2            | 5                | 1            |
| 18                   | 4              | 2            | 5                     | 2            | 5                | 1            |
| 19                   | 4              | 2            | 5                     | 2            | 5                | 1            |
| <b>ВСЕГО:</b>        |                | <b>53</b>    |                       | <b>34</b>    |                  | <b>20</b>    |

### 3.2. Практические занятия

| Номера изучаемых тем | Наименование и форма занятий  | Очное обучение |              | Очно-заочное обучение |              | Заочное обучение |              |
|----------------------|---|----------------|--------------|-----------------------|--------------|------------------|--------------|
|                      |   | Номер семестра | Объем (часы) | Номер семестра        | Объем (часы) | Номер семестра   | Объем (часы) |
| 1                    | Определение параметров состояния идеального газа. Расчет абсолютного давления.  | 3              | 3            | 4                     | 4            | -                | -            |
| 2                    | Расчет состояния газа, его параметров по основным законам идеального газа.  | 3              | 2            | 4                     | 4            | -                | -            |
| 5                    | Расчетный анализ первого закона термодинамики. Определение внутренней энергии и энтальпии идеального газа.                                      | 3              | 2            | 4                     | 4            | -                | -            |
| 6                    | Расчет массовой, мольной и объемной теплоемкости. Расчет теплоемкости в зависимости от температуры газа.  | 3              | 3            | 4                     | 4            | -                | -            |
| 8                    | Расчет термодинамических процессов, анализ процессов.   | 3              | 3            | 4                     | 8            | -                | -            |
| 9                    | Изображение термодинамических процессов в рабочей и тепловой диаграммах.  | 3              | 2            | 4                     | 4            | -                | -            |
| 10                   | Определение скорости истечения пара и его массовый расход из сопла. Три режима работы сужающегося сопла.  | 3              | 3            | 4                     | 4            | -                | -            |
| 12                   | Определение параметров пара на $T$ - $s$ и $h$ - $s$ диаграммах, аналитический метод расчета параметров влажного пара.                          | 4              | 10           | 5                     | 6            | -                | -            |
| 13                   | Термодинамические процессы и их расчеты с помощью $h$ - $s$ диаграммы. Таблицы водяного пара.   | 4              | 10           | 5                     | 6            | -                | -            |
| 14                   | Изменение тепловых схем ПТУ. Изображение основных циклов ПТУ в $T$ - $s$ диаграмме, построение процесса расширения пара в $h$ - $s$ -диаграмме. | 4              | 10           | 5                     | 6            | -                | -            |

| Номера изучаемых тем | Наименование и форма занятий  | Очное обучение |              | Очно-заочное обучение |              | Заочное обучение |              |
|----------------------|---|----------------|--------------|-----------------------|--------------|------------------|--------------|
|                      |   | Номер семестра | Объем (часы) | Номер семестра        | Объем (часы) | Номер семестра   | Объем (часы) |
| 15                   | Сравнительный анализ тепловой экономичности циклов ПТУ.                               | 4              | 6            | 5                     | 6            | -                | -            |
| 18                   | Расчет двух тепловых схем холодильных установок, определение эффективности установок. | 4              | 15           | 5                     | 12           | -                | -            |
| <b>ВСЕГО:</b>        |   |                | <b>69</b>    |                       | <b>68</b>    |                  | <b>-</b>     |

### 3.3. Лабораторные занятия

| Номера изучаемых тем | Наименование лабораторных занятий   | Очное обучение |              | Очно-заочное обучение |              | Заочное обучение |              |
|----------------------|---|----------------|--------------|-----------------------|--------------|------------------|--------------|
|                      |   | Номер семестра | Объем (часы) | Номер семестра        | Объем (часы) | Номер семестра   | Объем (часы) |
| 4                    | Определение теплоемкости воздуха при постоянном давлении.                               | 3              | 4            | -                     | -            | 4                | 3            |
| 6                    | Определение отношения теплоемкостей воздуха $c_p/c_v$ .                                 | 3              | 4            | -                     | -            | 4                | 3            |
| 7                    | Исследование термодинамических процессов  | 3              | 10           | -                     | -            | 4                | 4            |
| 12                   | Диаграмма $p-t$ водяного пара; сухой насыщенный пар.                                    | -              | -            | -                     | -            | 5                | 3            |
| 12                   | Влажный насыщенный водяной пар; уравнение Клапейрона-Клаузиуса; процесс перегрева пара. | -              | -            | -                     | -            | 5                | 3            |
| 13                   | Диаграммы $T-s$ и $h-s$ водяного пара.  | -              | -            | -                     | -            | 5                | 4            |
| <b>ВСЕГО:</b>        |   |                | <b>18</b>    |                       | <b>-</b>     |                  | <b>20</b>    |

## 4. КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Не предусмотрено

## 5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

| Номера учебных модулей, по которым проводится контроль | Форма контроля знаний | Очное обучение |        | Очно-заочное обучение |        | Заочное обучение |        |
|--|-----------------------|----------------|--------|-----------------------|--------|------------------|--------|
|  |                       | Номер семестра | Кол-во | Номер семестра        | Кол-во | Номер семестра   | Кол-во |
| 1,2,3,4,5  | опрос                 | 3              | 5      | 4                     | 5      |                  |        |
| 1-5  | контрольная работа    |                |        |                       |        | 4                | 1      |
| 6,7,8,9  | опрос                 | 4              | 4      | 5                     | 4      |                  |        |
| 6-9  | контрольная работа    |                |        |                       |        | 5                | 1      |

## 6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

| Виды самостоятельной работы обучающегося | Очное обучение |              | Очно-заочное обучение |              | Заочное обучение |              |
|--|----------------|--------------|-----------------------|--------------|------------------|--------------|
|  | Номер семестра | Объем (часы) | Номер семестра        | Объем (часы) | Номер семестра   | Объем (часы) |
| Усвоение теоретического материала        | 3              | 54           | 4                     | 60           | 4                | 90           |
| Подготовка к практическим занятиям       | 3              | 38           | 4                     | 32           | -                | -            |
| Подготовка к лабораторным занятиям       | 3              | 12           | -                     | -            | 4                | 20           |
| Выполнение контрольной работы            | -              | -            | -                     | -            | 4                | 10           |
| Подготовка к зачету                      | 3              | 4            | 4                     | 4            | 4                | 4            |



| Виды самостоятельной работы обучающегося | Очное обучение |               | Очно-заочное обучение |               | Заочное обучение |               |
|--|----------------|---------------|-----------------------|---------------|------------------|---------------|
|  | Номер семестра | Объем (часы)  | Номер семестра        | Объем (часы)  | Номер семестра   | Объем (часы)  |
| Усвоение теоретического материала        | 4              | 44            | 5                     | 74            | 5                | 147           |
| Подготовка к практическим занятиям       | 4              | 32            | 5                     | 52            | -                | -             |
| Подготовка к лабораторным занятиям       | -              | -             | -                     | -             | 5                | 20            |
| Выполнение контрольной работы            | -              | -             | -                     | -             | 5                | 20            |
| Подготовка к экзамену                    | 4              | 36            | 5                     | 36            | 5                | 9             |
| <b>ВСЕГО:</b>                            |                | <b>184+36</b> |                       | <b>222+36</b> |                  | <b>307+13</b> |

## 7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

### 7.1. Характеристика видов и используемых инновационных форм учебных занятий

| Краткая характеристика вида занятий | Используемые активные и интерактивные формы   | Объем занятий в интерактивных формах (часы) |                       |                  |
|-------------------------------------|---|---|-----------------------|------------------|
|                                     |   | очное обучение                              | очно-заочное обучение | заочное обучение |
| Лекции                              | Проблемная лекция, разбор конкретных ситуаций | 30  | 16                    | 12               |
| <b>ВСЕГО:</b>                       |   | <b>30</b>                                   | <b>16</b>             | <b>8</b>         |

### 7.2. Система оценивания успеваемости и достижений обучающихся для промежуточной аттестации

традиционная

балльно-рейтинговая

## 8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 8.1. Учебная литература

#### а) основная учебная литература

1. Кудинов И.В. Теоретические основы теплотехники. Часть I. Термодинамика [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Кудинов И.В., Стефанюк Е.В.— Электрон. текстовые данные.— Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2013.— 172 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22626>.— ЭБС «IPRbooks».
2. Злобин В.Г. Исследование термодинамических процессов [Электронный ресурс]: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Техническая термодинамика» для студентов институтов энергетики и автоматизации и безотрывных форм обучения/сост. В.Г. Злобин, С.В. Горбай, Э.Р.Алиев.— Электрон. текстовые данные.— СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2016.— 24 с.— Режим доступа: <http://nizrp.narod.ru/metod/tsuitd//2.pdf>.— ЭБ ВШТЭ.

#### б) дополнительная учебная литература

3. Ефремов Ю.С. Статистическая физика и термодинамика [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ Ю.С.Ефремов.— Электрон. текстовые данные.— М.:Директ-Медиа, 2015.-208 с.— Режим доступа: <http://www.knigafund.ru/books/184145>.— ЭБС «КнигаФонд».
4. Лисейкина Т.А. Курс физики. Раздел шестой. Статистическая физика и термодинамика [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Лисейкина Т.А., Пинегина Т.Ю., Черевко А.Г.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2013.— 122 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45476>.— ЭБС «IPRbooks».
5. Цирлин А.М. Методы и результаты оптимизационной термодинамики [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ А.М.Цирлин.— Электрон. текстовые данные.— М.:Директ-Медиа, 2015.-278 с. Режим доступа: <http://www.knigafund.ru/books/183167>.— ЭБС «КнигаФонд».

### 8.2. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Не предусмотрено

### 8.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины

1. Электронная библиотека СПб ГУПТД - <http://www.iprbookshop.ru>.
2. Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД - [http://nizrp.narod.ru/ebmu\\_m.htm](http://nizrp.narod.ru/ebmu_m.htm).
3. Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД - <http://www.knigafund.ru>.

### 8.4. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

1. Microsoft Windows 8.1.
2. Microsoft Office Professional 2013.
3. PTC Mathcad 15.

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

1. Стандартно оборудованная аудитория.
2. Компьютерный класс с мультимедийным комплексом и выходом в интернет.
3. Видеопроектор с экраном.
4. Учебная лаборатория тепловых двигателей.
5. Лабораторная установка по определению коэффициента адиабаты воздуха.
6. Лабораторная установка по исследованию термодинамических процессов.

### 8.6. Иные сведения и (или) материалы

1. Демонстрационные, раздаточные материалы.
2. Каталоги энергетического оборудования.
3. Комплект плакатов.
4. Наборы слайдов на электронном носителе.
5. Макеты элементов тепловых двигателей и холодильных машин.
6. Натурные образцы элементов проточных частей турбин.

## 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

| Виды учебных занятий и самостоятельная работа обучающихся | Организация деятельности обучающегося  |
|---|--|
| Лекция  | Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины.<br>Конспект лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы и формулировки; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины.<br>Проверка терминов, понятий: осуществлять с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь.<br>Работа с теоретическим материалом: найти ответ на вопросы в рекомендуемой литературе, если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации или на практическом занятии и др. |
| Практические занятия                                      | Работа с теоретическими положениями курса, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Анализ заданий на практических занятиях, решение задач по алгоритмам указанных работ, анализ полученных результатов, формулировка выводов и др.   |
| Лабораторная работа                                       | Работа с конспектом лекций, изучение методических указаний по выполнению лабораторных работ, знакомство с лабораторным оборудованием, порядком его использования, техникой безопасности при выполнении лабораторных работ, анализ полученных результатов, формулирование выводов.  |
| Самостоятельная работа                                    | Расширение и закрепление знаний, умений и навыков, усвоенных на практических занятиях путем самостоятельной проработки учебно-методических материалов по дисциплине и другим источникам информации. Решение практических задач; проработка конкретных ситуаций; использование интернет-ресурса.<br>Для выполнения контрольной работы и подготовке к зачету и экзамену необходимо проработать, рекомендуемую литературу, каталоги энергетического оборудования, составить алгоритмы ответов на вопросы по зачету и экзамену, продумать ответы на возможные дополнительные вопросы преподавателя.  |

## 10. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 10.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### 10.1.1. Показатели оценивания компетенций на этапах их формирования

| Код компетенции (этап освоения) | Показатели оценивания компетенций   | Наименование оценочного средства  | Представление оценочного средства в фонде  |
|---------------------------------|---|---|--|
| ОПК-1 (2)                       | <p>1. Излагает знание тепловых схем, конструкций, характеристик, технико-экономических показателей и особенностей эксплуатации при различных режимах теплоэнергетического оборудования и устройств.</p> <p>2. Демонстрирует умение читать и разрабатывать технологические схемы, оценивать параметры технического состояния, распознавать причины нарушений в работе теплоэнергетического оборудования.</p> <p>3. Использует способы расчета параметров работы и технического состояния теплоэнергетического оборудования и устройств.</p>        | <p>1. Устное собеседование.</p> <p>2. Типовое практическое задание.</p> | <p>1. Перечень вопросов к зачету и экзамену (94 вопроса).</p> <p>2. Перечень типовых заданий (10 задач).</p> |
| ОПК-2 (2)                       | <p>1. Излагает знание назначения, особенностей конструкции и принципов работы теплоэнергетического оборудования</p> <p>2. Демонстрирует умение определять последовательность необходимых действий при выполнении работ по эксплуатации и рассчитывать параметры эксплуатации теплоэнергетического оборудования.</p> <p>3. Использует предложения по оптимизации режимов работы, повышению уровня технической эксплуатации, экономичности работы и безопасности обслуживания и оценкой условий эксплуатации теплоэнергетического оборудования.</p> | <p>1. Устное собеседование.</p> <p>2. Типовое практическое задание.</p> | <p>1. Перечень вопросов к зачету и экзамену (94 вопроса).</p> <p>2. Перечень типовых заданий (10 задач).</p> |

#### 10.1.2. Описание шкал и критериев оценивания сформированности компетенций

##### Критерии оценивания сформированности компетенций

| Оценка по традиционной шкале | Критерии оценивания сформированности компетенций  |   |
|------------------------------|---|---|
|                              | Устное собеседование  | Практическое задание  |
| 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. | Обучающийся демонстрирует правильное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения, знание размерностей термодинамических 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. |
| хорошо                       | Обучающийся показывает достаточный  | Обучающийся демонстрирует   |

|                     |  |  |
|---------------------|--|--|
|                     | 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.   | достаточное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения, знание размерностей термодинамических величин. Допускает незначительные погрешности при применении математического аппарата для реализации плана решения задачи. Получил правильный ответ и может его интерпретировать.  |
| удовлетворительно   | Обучающийся показывает знания 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.  | Обучающийся демонстрирует достаточное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения, знание размерностей термодинамических величин. Допускает незначительные погрешности при применении математического аппарата для реализации плана решения задачи. Получил правильный ответ, но испытывает затруднения с его интерпретацией. |
| 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.  | Обучающийся вникает в смысл условия задачи, понимает план ее решения, однако, не может в полной мере с помощью математического аппарата реализовать ее решение. Не знает размерности термодинамических величин, не может сделать рисунок или схему, поясняющую решение задачи.   |
| Зачтено             | Обучающийся показывает всестороннее и глубокое знание основных термодинамических законов, свободно ориентируется в основных понятиях, терминах и определениях; усвоил основную и знаком с дополнительной литературой; может объяснить взаимосвязь основных физических законов и их значение для последующей профессиональной деятельности; проявляет творческие способности в использовании учебного материала. Обучающийся демонстрирует правильное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения. Умеет применять математический аппарат для реализации плана решения задачи и, если это необходимо. Получил правильный ответ и может его интерпретировать. |  |
| Не зачтено          | 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 зачете существенные ошибки и не может устранить их даже под руководством преподавателя. Обучающийся вникает в смысл условия задачи, понимает план ее решения, однако, не может в полной мере с помощью математического аппарата реализовать ее решение.  |  |

## 10.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций

### 10.2.1. Перечень вопросов к зачету и экзамену, разработанный в соответствии с установленными этапами формирования компетенций

| № п/п | Формулировка вопросов   | № темы |
|-------|---|--------|
| 1     | Основные термодинамические параметры состояния. Единицы измерения в системе СИ.                                     | 1      |
| 2     | Определения и свойства термодинамических систем   | 1      |
| 3     | Термодинамический процесс. Наименование и определяющие признаки   | 1      |
| 4     | Теплота и работа, как разные формы передачи энергии   | 1      |
| 5     | Термодинамическое равновесие. Равновесные и неравновесные Термодинамическое равновесие. Равновесные и неравновесные | 1      |
| 6     | Понятие об идеальном газе. Основные законы идеальных газов  | 2      |
| 7     | Уравнение состояния идеальных газов. Удельная газовая постоянная  | 2      |
| 8     | Универсальное уравнение состояния идеального газа. Универсальная газовая  | 2      |

| № п/п | Формулировка вопросов   | № темы |
|-------|---|--------|
|       | постоянная  |        |
| 9     | Основные свойства газовых смесей  | 3      |
| 10    | Способы задания смеси газов. Закон Дальтона   | 3      |
| 11    | Газовая постоянная смеси газов  | 3      |
| 12    | Средняя молярная масса смеси газов. Парциальные давления  | 3      |
| 13    | Термодинамические свойства реальных газов   | 4      |
| 14    | Уравнение состояния Ван-дер-Ваальса   | 4      |
| 15    | Анализ уравнения Ван-дер-Ваальса  | 4      |
| 16    | $Pv$ -диаграмма при фазовых переходах жидкости и газа (диаграмма Эндрюса)                                     | 4      |
| 17    | Уравнение Ван-дер-Ваальса в приведенных параметрах состояния. Критические параметры вещества                  | 4      |
| 18    | Уравнение состояния для реальных газов М. П. Вукаловича и И. И. Новикова                                      | 4      |
| 19    | Закон сохранения и превращения энергии. Внутренняя энергия  | 5      |
| 20    | Аналитическое выражение работы процесса   | 5      |
| 21    | Обратимые и необратимые термодинамические процессы  | 5      |
| 22    | Общее аналитическое выражение первого закона термодинамики  | 5      |
| 23    | Внутренняя энергия и энтальпия как энергетические функции состояния идеального газа                           | 5      |
| 24    | Определения удельной (массовой), объемной и молярной теплоемкости газов. Их взаимосвязь                       | 6      |
| 25    | Аналитические выражения для теплоемкостей $c_v$ и $c_p$ . Зависимость теплоемкости от температуры             | 6      |
| 26    | Элементы молекулярно-кинетической и квантовой теорий теплоемкости   | 6      |
| 27    | Истинная и средняя теплоемкости. Отношение теплоемкостей $c_p$ и $c_v$  | 6      |
| 28    | Определение $q_v$ и $q_p$ для идеальных газов по таблицам теплоемкостей                                       | 6      |
| 29    | Теплоемкость смесей идеальных газов. Приближенные значения теплоемкостей                                      | 6      |
| 30    | Энтропия. Вычисление энтропии идеального газа для обратимых и необратимых процессов.                          | 6      |
| 31    | Изображение и сопоставление тепловых процессов в $pv$ и $Ts$ – диаграмма                                      | 6      |
| 32    | Общие вопросы исследования термодинамических процессов идеальных газов. Изохорный процесс                     | 7      |
| 33    | Изобарный и изотермический процессы   | 7      |
| 34    | Адиабатный и политропные процессы   | 7      |
| 35    | Основные положения второго закона термодинамики. Круговые термодинамические процессы и циклы                  | 8      |
| 36    | Термический КПД и холодильный коэффициент циклов  | 8      |
| 37    | Прямой обратимый цикл Карно   | 8      |
| 38    | Обратный обратимый цикл Карно и его термический КПД   | 8      |
| 39    | Теорема Карно   | 8      |
| 40    | Свойства обратимых и необратимых циклов. Математическое выражение второго закона термодинамики                | 9      |
| 41    | Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах  | 9      |
| 42    | Обобщенный (регенеративный) цикл Карно  | 9      |
| 43    | Формулировка и физическая сущность второго закона термодинамики   | 9      |
| 44    | Максимальная работа. Понятие эксергии, потери работоспособности в необратимых процессах и эксергетический КПД | 9      |
| 45    | Первый закон термодинамики в применении к потоку движущегося газа   | 10     |
| 46    | Работа проталкивания. Дальнейшее развитие уравнения первого закона термодинамики для потока                   | 10     |
| 47    | Располагаемая работа при истечении газа, ее расчет  | 10     |
| 48    | Адиабатный процесс истечения газа. Истечение капельной жидкости   | 10     |
| 49    | Скорость истечения и массовый расход идеального газа из сужающегося сопла                                     | 10     |
| 50    | Анализ уравнения массового расхода идеального газа и критическое давление                                     | 10     |
| 51    | Критическая скорость и максимальный расход идеального газа  | 10     |
| 52    | Основные условия течения идеального газа по каналам переменного сечения                                       | 10     |
| 53    | Случаи истечения идеального газа из сужающегося сопла   | 10     |
| 54    | Истечение идеального газа из комбинированного сопла Лавала  | 10     |
| 55    | Истечение газов с учетом трения. Истечение водяного пара.   | 10     |
| 56    | Дросселирование газа. Уравнение процесса дросселирования.   | 11     |
| 57    | Исследование процесса дросселирования. Эффект Джоуля-Томпсона.  | 11     |

| № п/п | Формулировка вопросов   | № темы |
|-------|---|--------|
| 58    | Дросселирование Ван-дер-Ваальсова газа. Кривая инверсии.  | 11     |
| 59    | Дросселирование водяного пара.  | 11     |
| 60    | Смешение газов. Изменение энтропии идеальных газов при смешении.  | 11     |
| 61    | $T-p$ – диаграмма фазовых переходов вещества. Основные понятия и определения процессов фазовых переходов.                               | 12     |
| 62    | $p-V$ – диаграмма водяного пара.  | 12     |
| 63    | Процесс подогрева жидкости. График подогрева жидкости в $T-S$ координатах.  | 12     |
| 64    | Процесс парообразования. Внешняя и внутренняя теплоты парообразования.  | 12     |
| 65    | Сухой насыщенный пар. Полная теплота сухого насыщенного пара. Таблицы сухого насыщенного пара.  | 12     |
| 66    | Влажный насыщенный водяной пар. Параметры влажного насыщенного пара.  | 12     |
| 67    | Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.   | 12     |
| 68    | Процесс перегрева пара. Параметры перегретого пара.   | 12     |
| 69    | Диаграмма $T-S$ водяного пара.  | 13     |
| 70    | Диаграмма $h-S$ водяного пара.  | 13     |
| 71    | Изохорный и изобарный термодинамические процессы водяного пара.   | 13     |
| 72    | Изотермический и адиабатный термодинамические процессы водяного пара.   | 13     |
| 73    | Основной цикл паросиловой установки (цикл Ренкина) на перегретом паре без учета работы насоса.  | 14     |
| 74    | Термический КПД цикла Ренкина с учетом работы насоса.   | 14     |
| 75    | Удельные расходы пара и теплоты. Относительный внутренний и абсолютный КПД цикла Ренкина.   | 14     |
| 76    | Влияние начального давления $p_1$ на термический КПД ПСУ.   | 15     |
| 77    | Влияние начальной температуры пара $t_1$ на термический КПД ПСУ.  | 15     |
| 78    | Влияние конечного давления $p_2$ на термический КПД ПСУ.  | 15     |
| 79    | Пути повышения термического КПД паросиловых установок. Вторичный перегрев пара.   | 15     |
| 80    | Тепловой баланс конденсационной паросиловой установки.  | 16     |
| 81    | Тепловой баланс теплофикационной паросиловой установки.   | 16     |
| 82    | Теплофикационные циклы. Цикл ПСУ с ухудшенным вакуумом в конденсаторе.  | 16     |
| 83    | Цикл ПСУ с противодавленческими турбинами (турбины типа «Р»).   | 16     |
| 84    | Цикл ПСУ с турбинами с двумя и одним регулируемым отборами пара (с одним производственным или теплофикационным или двумя одновременно). | 16     |
| 85    | Термодинамический КПД регенеративного цикла паросиловой установки.  | 17     |
| 86    | Схема реального регенеративного цикла ПСУ и его изображение в диаграмме $T-S$ .   | 17     |
| 87    | Уравнения теплового баланса питательного бака и подогревателей регенеративного цикла ПСУ.   | 17     |
| 88    | Холодильная установка, работающая по циклу Карно. Холодильный коэффициент.  | 18     |
| 89    | Цикл паровой компрессионной холодильной машины.   | 18     |
| 90    | Цикл воздушной холодильной машины.  | 18     |
| 91    | Абсорбционные холодильные установки.  | 18     |
| 92    | Цикл парожеткорной холодильной установки.   | 18     |
| 93    | Цикл пароконденсационного теплового насоса.   | 19     |
| 94    | Цикл пароконденсационного экологически чистого теплового насоса.  | 19     |

### 10.2.2. Вариант типовых заданий, разработанных в соответствии с установленными этапами формирования компетенций

| № п/п | Условия типовых заданий  | Ответ  |
|-------|--|--|
| 1     | Для идеального газа температурный коэффициент объемного расширения $\beta_p = 1/273,15$ был получен при изобарном нагреве от $0$ до $1^\circ\text{C}$ . Определить числовые значения $\beta_p$ при $200$ и $400^\circ\text{C}$ . | Из формулы (4.9) имеем, что температурный коэффициент объемного расширения идеального газа $\beta_p = (1/V)(\partial V / \partial T)_p$ . Но из уравнения Клапейрона нашли, что частная производная $(\partial V / \partial T)_p = R/p$ , поэтому $\beta_p = (1/V)(\partial V / \partial T)_p = (1/V)(R/p) = 1/T$ , т. е. при любой абсолютной температуре $\beta_p$ равен обратной величине этой температуры и не зависит от давления. Следовательно, |

| № п/п | Условия типовых заданий   | Ответ  |
|-------|---|--|
|       |   | $\beta_{p200} = 1/(200 + 273,15) = 1/T = 0,002151/ K;$ $\beta_{p400} = 1/(400 + 273,15) = 1/T = 0,0014851/ K$ <p>Температурный коэффициент давления идеального газа <math>\beta_v = (1/p)(\partial p/\partial T)_v</math> при заданных температурах равен <math>\beta_p</math>, поэтому числовые значения:</p> $\beta_{p200} = 1/T = 0,002151/ K = \beta_{v200};$ $\beta_{p400} = 1/T = 0,0014851/ K = \beta_{v400}$ <p>Это равенство получается при подстановке значения частной производной <math>(\partial p/\partial T)_v = R/V</math> в уравнение (4.10), а из него и следует, что <math>\beta_v = 1/T = \beta_p</math>.</p>  |
| 2     | <p>Из комбинированного сопла газовой турбины вытекают продукты сгорания при давлении <math>p_2 = 1,3 \cdot 10^5</math> Па. При входе в сопло давление газов равно <math>p_1 = 10,0 \cdot 10^5</math> Па при температуре <math>1200</math> К (<math>927^\circ\text{C}</math>). Массовый расход, газов <math>m = 0,8</math> кг/с. Истечение считать адиабатным, а показатель <math>k = c_p/c_v = 1,35</math>. 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.</p> | <p>Определим критическое отношение давлений по данным задачи:</p> $\beta_k = p_k/p_1 = (2/k + 1)^{k/(k-1)} = (2/1,35 + 1)^{1,35/(1,35-1)} = 0,537.$ <p>Для нашей задачи отношение давлений <math>\beta = p_2/p_1 = 1,3/10 = 0,13 &lt; \beta_k = 0,537</math>. Следовательно, обязательно надо применить комбинированное сопло <i>Лавала</i>. Определим скорость газов и критическом сечении сопла:</p> $w_k = \sqrt{2k/(k+1)p_1 v_1} = \sqrt{2k/(k+1)RT_1} = \text{м/с.}$ $\sqrt{2[1,35/(1,35+1)]287 \cdot 1200} = 629$ <p>Зная критическую скорость и массовый расход газов, можно определить площадь критического сечения сопла (минимальное) —</p> $a_{\text{мин}} = mv_k/w_k = 0,8 \cdot 0,546 / 629 =$ $0,000694 \text{ м}^2 = 694 \text{ мм}^2$ <p>где <math>v_k = v_1/\beta_k^{1/k} = 0,3444 / 0,537^{1/1,35}</math> м<sup>3</sup>/кг, а <math>v_1 = 0,546</math></p> <p>определено по формуле Клапейрона:</p> $v_1 = RT_1/p_1 = 287 \cdot 1200 / 10,0 \cdot 10^5 = 0,3444 \text{ м}^3/\text{кг.}$ <p>Диаметр критического сечения сопла</p> $d_k = \sqrt{a_{\text{мин}}/0,785} = \sqrt{694/0,785} = 29,8 \text{ мм.}$ <p>Длину суживающейся части сопла берем равной диаметру критического сечения (из конструктивных соображений) <math>l_1 = 30</math> мм. Определим скорость газов и выходном сечении сопла:</p> $w_b = \sqrt{2[k/(k-1)]p_1 v_1 (p_2/p_1)^{(k-1)/k}} = \text{м/с.}$ $\sqrt{2[k/(k-1)]RT_1(1 - \beta^{(k-1)/k})} = 782$ <p>Зная выходную скорость газов, можно определить площадь выходного сечения сопла:</p> $a_e = mv_2/w_b = 0,8 \cdot 1,524 / 782 = 0,001559 \text{ м}^2 = 1559 \text{ мм}^2,$ <p>где <math>v_2 = v_1/\beta^{1/k} = 0,3444 / 0,13^{1/1,35} = 1,524</math> м<sup>3</sup>/кг.</p> <p>Диаметр выходного сечения сопла</p> $D = \sqrt{a_e/0,785} = \sqrt{1559/0,785} = 44,6 \text{ мм.}$ <p>Длину расширяющейся части сопла <math>l_2</math> определим по уравнению <math>l_2 = (D - d_k)/(2 \text{tg} \Omega/2)</math>. Угол конусности насадка принимаем равным <math>10^\circ</math>, <math>\text{tg} 10^\circ = 0,17633</math>; <math>l_2 = (44,6 - 29,8)/0,17498 = 85</math> мм.</p> <p>Длина сопла газовой турбины</p> $l = l_1 + l_2 = 30 + 85 = 115 \text{ мм.}$ <p>Температуру газов при выходе из сопла <math>T_2</math> определим из уравнения Клапейрона:</p> $T_2 = p_2 v_2 / R = 1,3 \cdot 10^5 \cdot 1,524 / 287 = 693 \text{ К} = 420^\circ\text{C.}$ |

**10.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности), характеризующих этапы формирования компетенций**

**10.3.1. Условия допуска обучающегося к сдаче зачета и экзамена и порядок ликвидации академической задолженности**

Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся

**10.3.2. Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине**

устная  письменная  компьютерное тестирование  иная

**10.3.3. Особенности проведения зачета и экзамена**

- Возможность пользоваться справочными таблицами, разрешенными слайдами схем и рисунков, калькулятором;
- Время на подготовку ответа на зачете 30 минут, по билету на экзамене 45 минут.