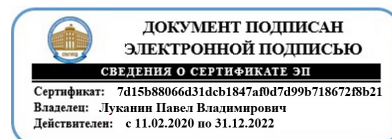


УТВЕРЖДАЮ  
Директор ВШТЭ



## Рабочая программа дисциплины

**Б1.О.25** Техническая термодинамика

Учебный план: ФГОС3++b130301-1\_19-14.plx

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

Направление подготовки:  
(специальность) 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки: Энергетика теплотехнологий  
(специализация)

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

### План учебного процесса

| Семестр<br>(курс для ЗАО) |     | Контактная работа обучающихся |                   |              | Сам.<br>работа | Контроль,<br>час. | Трудоём-<br>кость,<br>ЗЕТ | Форма<br>промежуточной<br>аттестации |
|---------------------------|-----|-------------------------------|-------------------|--------------|----------------|-------------------|---------------------------|--------------------------------------|
|                           |     | Лекции                        | Практ.<br>занятия | Лаб. занятия |                |                   |                           |                                      |
| 3                         | УП  | 34                            | 17                | 17           | 40             | 36                | 4                         | Экзамен                              |
|                           | РПД | 34                            | 17                | 17           | 40             | 36                | 4                         |                                      |
| 4                         | УП  | 34                            | 34                |              | 40             | 36                | 4                         | Экзамен                              |
|                           | РПД | 34                            | 34                |              | 40             | 36                | 4                         |                                      |
| Итого                     | УП  | 68                            | 51                | 17           | 80             | 72                | 8                         |                                      |
|                           | РПД | 68                            | 51                | 17           | 80             | 72                | 8                         |                                      |

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

Составитель (и):

Кандидат технических наук, доцент  
старший преподаватель  
ассистент

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Злобин В.Г.  
Горбай С.В.  
Липатов М.С.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой теплосиловых установок и  
тепловых двигателей

\_\_\_\_\_

Коновалов П.Н.

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:

Физика для теплоэнергетиков

Гидрогазодинамика

Введение в специальность

Химия

Материаловедение, технологии конструкционных материалов

Математика

Электротехника и электроника

Физика

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**ОПК-3: 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 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

| Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий                                                                                                                                                                                                                                         | Семестр<br>(курс для<br>ЗАО) | Контактная работа |               |                | СР<br>(часы) | Инновац.<br>формы<br>занятий | 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 |                              | 3                 | 2             |                | 3            |                              |                               |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |   |   |    |   |  |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|----|---|--|---|
| Тема 2. Уравнения состояния идеальных газов.<br>Основные законы идеального газа; уравнение состояния идеальных газов; универсальное уравнение состояния идеального газа.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 3 | 2 |    | 3 |  |   |
| 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.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 3 | 2 |    | 4 |  |   |
| Раздел 2. Реальные газы. Первый закон термодинамики.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |    |   |  |   |
| 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.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 3 | 1 |    | 3 |  | О |
| 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.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 3 | 2 |    | 3 |  |   |
| Раздел 3. 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. Лабораторная работа №1 "Определения отношения теплоемкостей $C_p$ к $C_v$ ". | 3 | 1 | 5  | 6 |  | Л |
| Тема 7. Термодинамические процессы идеальных газов.<br>Общие вопросы исследования процессов; изохорный процесс; изобарный процесс; изотермический процесс; адиабатный процесс; политропные процессы. Лабораторная работа №2 "Исследование изотермического процесса", Лабораторная работа №3 "Исследование изобарного процесса", Лабораторная работа №4 "Исследование изохорного процесса", Лабораторная работа №5 "Исследование адиабатного процесса".                                                                                                                                                                                                                         | 3 | 1 | 12 | 8 |  |   |
| Раздел 4. Второй закон термодинамики.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |    |   |  |   |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |   |     |    |    |      |  |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|----|----|------|--|---|
| Тема 8. Второй закон термодинамики. 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.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   | 3   | 2  |    | 2    |  | О |
| Тема 9. Энтропия термодинамических процессов. Изменения энтропии в обратимых и необратимых процессах; обобщенный (регенеративный) цикл Карно; принцип возрастания энтропии и физический смысл второго закона термодинамики; максимальная работа; эксергия.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   | 3   | 1  |    | 2    |  |   |
| 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 Лавалю; истечение газов с учетом трения; истечение водяного пара. |   | 4   | 2  |    | 4    |  |   |
| Тема 11. Дросселирование газов и паров. смешение газов. Дросселирование газа; уравнение процесса дросселирования; исследование процесса дросселирования. эффект Джоуля — Томсона; дросселирование Вандер-Ваальсова газа; кривая инверсии; дросселирование или мятие водяного пара; смешение газов; изменение энтропии идеальных газов при смешении.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |   | 3   | 1  |    | 2    |  |   |
| Итого в семестре (на курсе для ЗАО)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |   | 34  | 17 | 17 | 40   |  |   |
| Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |   | 2,5 |    |    | 33,5 |  |   |
| Раздел 6. Водяной пар (реальный газ).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 4 |     |    |    |      |  | О |
| Тема 12. Водяной пар (реальный газ). 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;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |   | 5   | 4  |    | 5    |  |   |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |    |  |      |  |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----|--|------|--|---|
| Тема 13. Термодинамические процессы в парах.<br>Диаграммы T-s и h-s водяного пара; термодинамические процессы в парах.                                                                                                                                                                                                                                                    | 4   | 4  |  | 5    |  |   |
| 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.                                                                                                  | 5   | 4  |  | 5    |  | О |
| Тема 15. Способы повышения термического КПД паросиловой установки. Влияние начальных и конечных параметров пара на термический КПД ПСУ; вторичный перегрев пара.                                                                                                                                                                                                          | 4   | 4  |  | 5    |  |   |
| Раздел 8. Основы теплофикации.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |    |  |      |  |   |
| Тема 16. Основы теплофикации. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии. 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. | 4   | 4  |  | 5    |  | О |
| Тема 17. Регенеративный цикл паросиловой установки. Термодинамический КПД регенеративного цикла паросиловой установки; уравнение теплового баланса питательного бака и подогревателей.                                                                                                                                                                                    | 4   | 4  |  | 5    |  |   |
| Раздел 9. Циклы холодильных и теплонасосных установок.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |    |  |      |  |   |
| Тема 18. Циклы холодильных машин и установок. Цикл паровой компрессионной холодильной машины; цикл воздушной холодильной машины; абсорбционные холодильные установки; цикл парозежекторной холодильной установки.                                                                                                                                                         | 4   | 5  |  | 5    |  | О |
| Тема 19. Циклы теплонасосных установок. Цикл парокомпрессионного теплового насоса; цикл парокомпрессионного экологически чистого теплового насоса.                                                                                                                                                                                                                        | 4   | 5  |  | 5    |  |   |
| Итого в семестре (на курсе для ЗАО)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 34  | 34 |  | 40   |  |   |
| Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2,5 |    |  | 33,5 |  |   |
| <b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 141 |    |  | 147  |  |   |

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовое проектирование учебным планом не предусмотрено

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

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

### 5.1.1 Показатели оценивания

| Код компетенции | Показатели оценивания результатов обучения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Наименование оценочного средства                                                                                                 |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-3           | <p>Обучающийся:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>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.</li> <li>2. Использует основные законы термодинамики, термодинамические соотношения, термодинамические свойства рабочих тел для расчета параметров работы и технического состояния теплоэнергетического оборудования и устройств.</li> <li>3. Умеет определять последовательность необходимых действий при выполнении расчетов термодинамических процессов, циклов и их показателей;</li> <li>4. Владеет методикой разработки технических условий и решений на технологические изменения, реконструкцию, техническое перевооружение и модернизацию теплотехнического оборудования;</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вопросы устного собеседования.</li> <li>2. Практико-ориентированные задания</li> </ol> |

### 5.1.2 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. | 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.  |
| 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.                                                                                                     | 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 и может его интерпретировать.                    |
| 3 (удовлетворительно)   | Обучающийся показывает знания учебного материала в минимальном объеме; может сформулировать термодинамические законы, понятия и определения термодинамических процессов, но при этом, допуская большое количество принципиальных 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. |
| 2 (неудовлетворительно) | Обучающийся не имеет достаточного уровня знания дисциплины; не может сформулировать основные термодинамические законы; плохо ориентируется в основных понятиях и определениях; плохо знаком с                                                                                                                                                                                                                                   | 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                                                                                                                                                                 |

|  |                                                                                                                                         |                                                                                                  |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | основной литературой; допускает при ответе на экзамене существенные ошибки и не может устранить их даже под руководством преподавателя. | сделать рисунок или схему, поясняющую решение задачи. Обучающийся отказывается выполнять задание |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|

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

### 5.2.1 Перечень контрольных вопросов

| № п/п     | Формулировки вопросов                                                                                         |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Семестр 3 |                                                                                                               |
| 1         | Смешение газов. Изменение энтропии идеальных газов при смешении.                                              |
| 2         | Дросселирование водяного пара.                                                                                |
| 3         | Дросселирование Ван-дер-Ваальсова газа. Кривая инверсии.                                                      |
| 4         | Исследование процесса дросселирования. Эффект Джоуля-Томпсона.                                                |
| 5         | Дросселирование газа. Уравнение процесса дросселирования.                                                     |
| 6         | Истечение газов с учетом трения. Истечение водяного пара.                                                     |
| 7         | Истечение идеального газа из комбинированного сопла Лаваля                                                    |
| 8         | Случаи истечения идеального газа из сужающегося сопла                                                         |
| 9         | Основные условия течения идеального газа по каналам переменного сечения                                       |
| 10        | Критическая скорость и максимальный расход идеального газа                                                    |
| 11        | Анализ уравнения массового расхода идеального газа и критическое давление                                     |
| 12        | Скорость истечения и массовый расход идеального газа из сужающегося сопла                                     |
| 13        | Адиабатный процесс истечения газа. Истечение капельной жидкости                                               |
| 14        | Располагаемая работа при истечении газа, ее расчет                                                            |
| 15        | Работа проталкивания. Дальнейшее развитие уравнения первого закона термодинамики для потока                   |
| 16        | Первый закон термодинамики в применении к потоку движущегося газа                                             |
| 17        | Максимальная работа. Понятие эксергии, потери работоспособности в необратимых процессах и эксергетический КПД |
| 18        | Формулировка и физическая сущность второго закона термодинамики                                               |
| 19        | Обобщенный (регенеративный) цикл Карно                                                                        |
| 20        | Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах                                                        |
| 21        | Свойства обратимых и необратимых циклов. Математическое выражение второго закона термодинамики                |
| 22        | Теорема Карно                                                                                                 |
| 23        | Обратный обратимый цикл Карно и его термический КПД                                                           |
| 24        | Прямой обратимый цикл Карно                                                                                   |
| 25        | Термический КПД и холодильный коэффициент циклов                                                              |
| 26        | Основные положения второго закона термодинамики. Круговые термодинамические процессы и циклы                  |
| 27        | Адиабатный и политропные процессы                                                                             |
| 28        | Изобарный и изотермический процессы                                                                           |
| 29        | Общие вопросы исследования термодинамических процессов идеальных газов. Изохорный процесс                     |
| 30        | Изображение и сопоставление тепловых процессов в $Pv$ и $Ts$ – диаграмма                                      |
| 31        | Энтропия. Вычисление энтропии идеального газа для обратимых и необратимых процессов.                          |
| 32        | Теплоемкость смесей идеальных газов. Приближенные значения теплоемкостей                                      |
| 33        | Определение $qv$ и $qr$ для идеальных газов по таблицам теплоемкостей                                         |
| 34        | Истинная и средняя теплоемкости. Отношение теплоемкостей $Cp$ и $Cv$                                          |
| 35        | Элементы молекулярно-кинетической и квантовой теорий теплоемкости                                             |
| 36        | Аналитические выражения для теплоемкостей $Cv$ и $Cp$ . Зависимость теплоемкости от температуры               |
| 37        | Определения удельной (массовой), объемной и молярной теплоемкости газов. Их взаимосвязь                       |
| 38        | Внутренняя энергия и энтальпия как энергетические функции состояния идеального газа                           |
| 39        | Общее аналитическое выражение первого закона термодинамики                                                    |
| 40        | Обратимые и необратимые термодинамические процессы                                                            |
| 41        | Аналитическое выражение работы процесса                                                                       |
| 42        | Закон сохранения и превращения энергии. Внутренняя энергия                                                    |
| 43        | Уравнение состояния для реальных газов М.П. Вукаловича и И.И. Новикова                                        |
| 44        | Уравнение Ван-дер-Ваальса в приведенных параметрах состояния. Критические параметры вещества                  |

|           |                                                                                                                                         |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 45        | Pv-диаграмма при фазовых переходах жидкости и газа (диаграмма Эндрюса)                                                                  |
| 46        | Анализ уравнения Ван-дер-Ваальса                                                                                                        |
| 47        | Уравнение состояния Ван-дер-Ваальса                                                                                                     |
| 48        | Термодинамические свойства реальных газов                                                                                               |
| 49        | Средняя молярная масса смеси газов. Парциальные давления                                                                                |
| 50        | Газовая постоянная смеси газов                                                                                                          |
| 51        | Способы задания смеси газов. Закон Дальтона                                                                                             |
| 52        | Основные свойства газовых смесей                                                                                                        |
| 53        | Универсальное уравнение состояния идеального газа. Универсальная газовая постоянная                                                     |
| 54        | Уравнение состояния идеальных газов. Удельная газовая постоянная                                                                        |
| 55        | Понятие об идеальном газе. Основные законы идеальных газов                                                                              |
| 56        | Термодинамическое равновесие. Равновесные и неравновесные Термодинамическое равновесие. Равновесные и неравновесные                     |
| 57        | Теплота и работа, как разные формы передачи энергии                                                                                     |
| 58        | Термодинамический процесс. Наименование и определяющие признаки                                                                         |
| 59        | Определения и свойства термодинамических систем                                                                                         |
| 60        | Основные термодинамические параметры состояния. Единицы измерения в системе СИ.                                                         |
| Семестр 4 |                                                                                                                                         |
| 61        | Цикл парокompрессионного экологически чистого теплового насоса.                                                                         |
| 62        | Цикл парокompрессионного теплового насоса.                                                                                              |
| 63        | Цикл парозежекторной холодильной установки.                                                                                             |
| 64        | Абсорбционные холодильные установки.                                                                                                    |
| 65        | Цикл воздушной холодильной машины.                                                                                                      |
| 66        | Цикл паровой компрессионной холодильной машины.                                                                                         |
| 67        | Холодильная установка, работающая по циклу Карно. Холодильный коэффициент.                                                              |
| 68        | Уравнения теплового баланса питательного бака и подогревателей регенеративного цикла ПСУ.                                               |
| 69        | Схема реального регенеративного цикла ПСУ и его изображение в диаграмме T-S.                                                            |
| 70        | Термодинамический КПД регенеративного цикла паросиловой установки.                                                                      |
| 71        | Цикл ПСУ с турбинами с двумя и одним регулируемым отборами пара (с одним производственным или теплофикационным или двумя одновременно). |
| 72        | Цикл ПСУ с противодавленческими турбинами (турбины типа «Р»).                                                                           |
| 73        | Теплофикационные циклы. Цикл ПСУ с ухудшенным вакуумом в конденсаторе.                                                                  |
| 74        | Тепловой баланс теплофикационной паросиловой установки.                                                                                 |
| 75        | Тепловой баланс конденсационной паросиловой установки.                                                                                  |
| 76        | Пути повышения термического КПД паросиловых установок. Вторичный перегрев пара.                                                         |
| 77        | Влияние конечного давления P2 на термический КПД ПСУ.                                                                                   |
| 78        | Влияние начальной температуры пара T1 на термический КПД ПСУ.                                                                           |
| 79        | Влияние начального давления P1 на термический КПД ПСУ.                                                                                  |
| 80        | Удельные расходы пара и теплоты. Относительный внутренний и абсолютный КПД цикла Ренкина.                                               |
| 81        | Термический КПД цикла Ренкина с учетом работы насоса.                                                                                   |
| 82        | Основной цикл паросиловой установки (цикл Ренкина) на перегретом паре без учета работы насоса.                                          |
| 83        | Изотермический и адиабатный термодинамические процессы водяного пара.                                                                   |
| 84        | Изохорный и изобарный термодинамические процессы водяного пара.                                                                         |
| 85        | Диаграмма h-S водяного пара.                                                                                                            |
| 86        | Диаграмма T-S водяного пара.                                                                                                            |
| 87        | Процесс перегрева пара. Параметры перегретого пара.                                                                                     |
| 88        | Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.                                                                                                         |
| 89        | Влажный насыщенный водяной пар. Параметры влажного насыщенного пара.                                                                    |
| 90        | Сухой насыщенный пар. Полная теплота сухого насыщенного пара. Таблицы сухого насыщенного пара.                                          |
| 91        | Процесс парообразования. Внешняя и внутренняя теплоты парообразования.                                                                  |
| 92        | Процесс подогрева жидкости. График подогрева жидкости в T-S координатах.                                                                |
| 93        | p-V - диаграмма водяного пара.                                                                                                          |
| 94        | T-p – диаграмма фазовых переходов вещества. Основные понятия и определения процессов фазовых переходов.                                 |

### 5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено

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

Задание №1.

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

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

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

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

### 5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная

☒

Письменная

☒

Компьютерное тестирование

☐ Иная

☐

### 5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

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

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Учебная литература

| Автор                                          | Заглавие                                                                                                                                                                                                                 | Издательство                                                      | Год издания | Ссылка                                                                                                  |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>6.1.1 Основная учебная литература</b>       |                                                                                                                                                                                                                          |                                                                   |             |                                                                                                         |
| Крайнов А. В.,<br>Пашков Е. Н.                 | Термодинамика и теплопередача. Часть 1. Термодинамика                                                                                                                                                                    | Томск: Томский политехнический университет                        | 2017        | <a href="http://www.iprbookshop.ru/84039.html">http://www.iprbookshop.ru/84039.html</a>                 |
| В.Г. Злобин, С.В. Горбай, Т.Ю. Короткова       | Техническая термодинамика [Текст]. Ч.2. Водяной пар. Циклы тепловых установок: учебное пособие                                                                                                                           | М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД | 2016        | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/6.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/6.pdf</a> |
| В.Г. Злобин, С.В. Горбай, Т.Ю. Короткова       | Техническая термодинамика [Текст]. Ч.1. Основные законы термодинамики. Циклы тепловых двигателей: учебное пособие                                                                                                        | М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД | 2016        | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/5.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/5.pdf</a> |
| <b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b> |                                                                                                                                                                                                                          |                                                                   |             |                                                                                                         |
| В.Г. Злобин, С.В. Горбай, Э.Р. лиев            | Исследование термодинамических процессов [Текст]: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Техническая термодинамика» для студентов институтов энергетики и автоматизации и безотрывных форм обучения | М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД | 2016        | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/2.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/2.pdf</a> |

|                                        |                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                              |      |                                                                                                                                 |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Комаров А. А.                          | Термодинамика и статистическая физика. Руководство к решению задач. Часть 1                                                                                                                                                      | Алматы: Казахский национальный университет им. аль-Фараби                                    | 2013 | <a href="http://www.iprbookshop.ru/59892.html">http://www.iprbookshop.ru/59892.html</a>                                         |
| С.В. Горбай, М.С. Липатов              | Техническая термодинамика [Текст] : методические указания к выполнению контрольных работ для обучающихся Института безотрывных форм обучения                                                                                     | М-во науки и высшего образования РФ, ВШТЭ СПбГУПТД.- СПб. : 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. Горбай, М.С. Липатов | Определение отношения теплоемкостей воздуха Ср/Сv [Текст]: методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Техническая термодинамика» для студентов институтов энергетики и автоматизации и безотрывных форм обучения | М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД                            | 2017 | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/7.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/7.pdf</a>                         |
| Козырев А. В.                          | Термодинамика и молекулярная физика                                                                                                                                                                                              | Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Эль 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                                                 |