

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 21.09.2023 14:02:42  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по учебной  
и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б.В.Пекаревский  
« 21 » января 2022 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА**

Направление подготовки  
**15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств**

Направленность программы бакалавриата  
**Автоматизация технологических процессов и производств**

Квалификация  
**Бакалавр**

Форма обучения  
**Заочная**

**Факультет механический**  
**Кафедра процессов и аппаратов**

Санкт-Петербург  
2022

Б1.О.18

Должность разработчика	Подпись	Ученое звание, инициалы, фамилия
доцент	_____	Е.А.Томильцев

Рабочая программа дисциплины «Техническая термодинамика и теплотехника» обсуждена на заседании кафедры процессов и аппаратов

протокол от « 29 » 12 2021 г. № 4

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ О.М. Флисюк

Одобрено учебно-методической комиссией механического факультета

протокол от « 18 » 01 2022 г. № 6

Председатель

\_\_\_\_\_ А.Н. Луцко

### СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки «Управление в технических системах»	_____	И.В.Рудакова
Директор библиотеки	_____	Т.Н.Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления	_____	М.З.Труханович
Начальник УМУ	_____	С.Н.Денисенко

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	04
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы.....	05
3. Объем дисциплины .....	05
4. Содержание дисциплины	
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.....	06
4.2. Занятия лекционного типа.....	07
4.3. Занятия семинарского типа.....	08
4.3.1. Семинары, практические занятия .....	08
4.4. Самостоятельная работа.....	08
4.4.1. Темы контрольных работ.....	09
4.4.2. Примеры вариантов индивидуальных заданий.....	09
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	09
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.....	10
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины .....	10
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины .....	11
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.....	11
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	
10.1. Информационные технологии.....	11
10.2. Программное обеспечение.....	12
10.3. Базы данных и информационные справочные системы.....	12
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	12
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья .....	12
Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации....	13

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

В результате освоения образовательной программы бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции <sup>1</sup>	Код и наименование индикатора достижения компетенции <sup>2</sup>	Планируемые результаты обучения (дескрипторы) <sup>3</sup>
<p><b>ОПК-9</b> Способен внедрять и осваивать новое технологическое оборудование</p>	<p><b>ОПК-9.5</b> Использует знания термодинамического анализа для обоснования и выбора технологического оборудования при проведении технологических процессов и решении профессиональных задач</p>	<p><b>Знать:</b> теоретические основы энергетической сущности технологических процессов (ЗН-1); основные виды машин и аппаратов, базирующихся на энергетических преобразованиях и энергоемких процессах химической технологии (ЗН-2); основы промышленного получения тепловой, механической и электрической энергии (ЗН-3). <b>Уметь:</b> рассчитать основные параметры работы холодильной установки, выбирать оптимальные условия проведения процесса, отвечающие минимуму энергозатрат (У-1). <b>Владеть:</b> методами термодинамического анализа процессов, протекающих в аппаратах и машинах (Н-1); выбирать оптимальные условия проведения процессов, отвечающих минимумам энергозатрат и потерь энергии (Н-2).</p>
<p><b>ОПК-11</b> Способен проводить научные эксперименты с использованием современного исследовательского оборудования и приборов, оценивать результаты исследований</p>	<p><b>ОПК-11.1</b> Использует знания термодинамических процессов с газами для постановки задачи управления компрессорными установками</p>	<p><b>Знать:</b> особенности реального компрессора (ЗН-1); способы получения низких температур (ЗН-2). <b>Уметь:</b> производить расчеты термодинамических процессов с газами и парами, в том числе в машинах и аппаратах химических производств (У-1); производить расчеты термодинамических процессов с парами (У-2); рассчитать мощность компрессора и расход отводимой теплоты, выбирать оптимальные условия проведения процессов, отвечающих минимумам энергозатрат (У-3); <b>Владеть:</b> методами термодинамического анализа процессов, протекающих в компрессорах (Н-3).</p>

<sup>1</sup> Содержание и номер компетенции в точности соответствует ФГОС ВО и отображается в матрице компетенций для конкретной дисциплины

<sup>2</sup> Код индикатора присваивается руководителем направления подготовки, отображается в матрице компетенции и доводится разработчикам РПД. Повторение кодов индикаторов для конкретной компетенции, реализуемой разными дисциплинами, не допускается

<sup>3</sup> Дескрипторы переносятся из матрицы компетенций без смены формулировок

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина относится к дисциплинам обязательной части (Б1.О.18) и изучается на 2 курсе во 2 семестре и на 3 курсе в 1 семестре.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин «Математика», «Физика».

Полученные в процессе изучения дисциплины знания, умения и навыки могут быть использованы при изучении дисциплины «Процессы и аппараты», проектно-конструкторской, производственно-технологической, научно-исследовательской работе бакалавра и при выполнении выпускной квалификационной работы.

## 3. Объем дисциплины.

Вид учебной работы	Всего, академических часов
	Заочная форма обучения
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/ академических часов)	3/ 108
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>12</b>
занятия лекционного типа	4
занятия семинарского типа, в т.ч.	8
семинары, практические занятия	8
лабораторные работы	–
КСР	-
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>87</b>
<b>Форма текущего контроля (Кр)</b>	<b>Кр(2), Инд.задание</b>
<b>Форма промежуточной аттестации (экзамен)</b>	<b>Экзамен (9)</b>

#### 4. Содержание дисциплины.

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, академ. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, академ. часы	Формируемые компетенции	Формируемые индикаторы
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы			
1.	Основные законы термодинамики. Основы термодинамического анализа.	1	1	-	15	ОПК-9	ОПК-9.5
2.	Процессы идеального газа.	0,5	1	-	10	ОПК-9 ОПК-11	ОПК-9.5 ОПК-11.1
3.	Реальные газы.	1	2	-	7	ОПК-11	ОПК-11.1
4.	Многоступенчатое сжатие. Выбор числа ступеней. Компрессия газов.	0,5	2	-	5	ОПК-9 ОПК-11	ОПК-9.5 ОПК-11.1
5.	Холодильные установки.	0,5	1	-	5	ОПК-9 ОПК-11	ОПК-9.5 ОПК-11.1
6.	Тепловые двигатели. Промышленное получение энергии.	0,5	1	-	10	ОПК-9 ОПК-11	ОПК-9.5 ОПК-11.1
7	Решение индивидуальных задач	-	-	-	35	ОПК-9 ОПК-11	ОПК-9.5 ОПК-11.1

#### 4.2. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	Уравнение состояния. Диаграммы состояния. Термодинамический процесс, равновесность, обратимость. Понятие истинной и средней теплоемкостей. Уравнение Майера. Первый закон термодинамики для закрытых и открытых систем. Второй закон термодинамики. Примеры. Основы термодинамического анализа. Метод циклов. Метод характеристических функций. Эксергетический метод анализа.	1	–
2	Политропный процесс. Уравнения процесса. Расчет термодинамических величин. Расчет энтропии и ее изменения в политропном процессе. Частные процессы идеального газа.	0,5	–
3	Фазовые превращения первого и второго рода. Диаграммы состояния $p - T$ , $p - v$ , $T - s$ , $i - s$ для реальных газов. Критическая точка. Тройная точка. Аномальные свойства воды. Определение параметров состояния. Расчет частных процессов и их изображение на диаграммах состояния.	1	–
4	Цикл идеального компрессора одноступенчатого и многоступенчатого. Расчет мощности и отводимой теплоты. Особенности реального компрессора и их учет.	0,5	–
5	Принципы получения низких температур. Парокомпрессионная холодильная установка. Требования к хладагентам.	0,5	–
6	Промышленное получение энергии. Цикл Ренкина.	0,5	–

### 4.3. Занятия семинарского типа.

#### 4.3.1. Семинары, практические занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
2	Процессы идеального газа. Уравнение состояния. Уравнения процессов. Частные виды процессов. Определение параметров состояния. Расчет энергетических характеристик процесса (теплоты, работы). Расчет энтропии и ее изменения в процессах идеального газа.	1	Разбор конкретных ситуаций
2	Термодинамический анализ политропного процесса по диаграммам состояния. Влияние величины показателя политропы на характер процесса и значения термодинамических величин.	1	–
1	Расчет эксергии и ее изменения в процессах идеального газа. Эксергетический КПД.	1	Разбор конкретных ситуаций
4	Многоступенчатое сжатие. Выбор числа ступеней.	1	Разбор конкретных ситуаций
3	Определение параметров реальных газов по диаграммам состояния.	1	–
3	Расчет процессов реального газа по диаграмме $i - s$ .	2	Разбор конкретных ситуаций
5	Парокомпрессионная холодильная установка. Расчет холодопроизводительности, затрат мощности, расхода хладагента, эффективности работы. Виды циклов, изображение на диаграммах состояний $T - s$ и $p - i$ .	1	Разбор конкретных ситуаций

#### 4.4. Самостоятельная работа обучающихся.

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
2	Термодинамика, как наука об энергии. Основные способы передачи энергии. Параметры состояния системы (рабочего тела). Термодинамика газового потока	15	Устный опрос
2	Влажный воздух	10	Устный опрос
5	Абсорбционная холодильная установка	7	Устный опрос
3	Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Интегральные формы уравнения. Уравнение Ван-дер-Ваальса, метастабильные состояния.	20	Устный опрос
2-5	Решение индивидуальных задач	35	Проверка индивидуальных заданий



#### 4.4.1. Темы контрольных работ

Расчет термодинамических величин политропного процесса.  
Расчет одноступенчатых и многоступенчатых компрессоров.  
Расчет процессов реальных газов.  
Расчет парокомпрессионных холодильных установок.

#### 4.4.2. Примеры вариантов индивидуальных заданий

№ 1. Углекислый газ массой 2 кг сжимается от давления 1 бар до давления 60 бар. Начальная температура 30°C, конечная 500°C.

Определить показатель политропы, начальный и конечный объем газа, теплоту и работу процесса, изменение внутренней энергии, энтропии и эксергии, начальные и конечные значения энтропии и эксергии.

Изобразить процесс в  $p - v$  и  $T - s$  координатах и проанализировать его.

№ 2. В компрессоре, производительностью  $\dot{V}_1$ , необходимо сжимать газ от атмосферного давления до давления  $P_K$ . Температура газа в каждой ступени не должна превышать  $t_{max}$ . Начальная температура газа равна  $t_1$ . Сжатие политропное, показатель политропы равен  $n$ .

Определить минимальное число ступеней компрессора, затрачиваемую мощность, температуру газа после сжатия, расход охлаждающей воды при изменении температуры воды на  $\Delta t_6$ . Определить также затрачиваемую мощность и температуру газа после сжатия в одноступенчатом компрессоре и при изотермическом сжатии.

№ 3. 2,5 м<sup>3</sup> водяного пара с влажностью 18 % и давлением 8 бар расширяется вначале изобарно до состояния с температурой 400°C, а затем адиабатно до состояния 1 бар.

Определить изменение внутренней энергии пара, количество передаваемой теплоты и работу для совокупности процессов. Изобразить процессы на  $i - s$ ,  $p - v$  и  $T - s$  диаграммах.

№ 4. Парокомпрессионная холодильная установка производит  $m_{л}$  льда с температурой  $t_{л}$  из воды с температурой  $t_{в}$ . В холодильной установке осуществляется цикл с переохлаждением конденсата на  $\Delta t_{п}$ . Давление хладагента в испарителе  $p_{и}$ , температура конденсации  $t_{к}$ , температура пара перед компрессором  $t_1$ .

Определить холодопроизводительность установки, расход хладагента, холодильный коэффициент, теоретическую мощность двигателя компрессора, теоретически максимальный холодильный коэффициент (для обратного цикла Карно). Определить также температуру и давление в узловых точках цикла. Изобразить цикл в  $\lg p - i$ ,  $T - s$  и  $p - v$  координатах.

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

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <http://media.technology.edu.ru>

## 6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («удовлетворительно») освоения предусмотренных элементов компетенций.

Результаты дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена.

К сдаче экзамена допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля.

Экзамен предусматривает выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и комплектуются вопросами (заданиями) двух видов: теоретический вопрос (для проверки знаний) и комплексная задача (для проверки умений и навыков).

При сдаче экзамена, студент получает два вопроса из перечня вопросов и задачу, время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин.

Пример экзаменационного билета:

### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. Термодинамическая система. Взаимодействие системы с окружающей средой. Открытая, закрытая, адиабатная, изолированная, термодинамические системы
2. Промышленное производство энергии. Цикл Ренкина. Схема установки. Расчет основных характеристик. Изображение в  $T - s$  диаграмме. Влияние температуры испарения и температуры конденсации на к.п.д.
3. Задача

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1

## 7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины

### а) печатные издания

1. Техническая термодинамика: учебное пособие / Л.И. Лавров, О.Н. Круковский, А.В. Марков, Е.А. Томильцев. – Санкт-Петербург: Синтез, 2009. – 116 с. - ISBN 5-93808-039-8
2. Лавров, Л.И. Расчет энтропии и ее изменений в процессах идеального газа с анализом по диаграммам P-V, T-S: учебное пособие / Л.И. Лавров, Е.А. Томильцев: Минобрнауки России, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра процессов и аппаратов. — Санкт-Петербург: [б. и.], 2009. – 16 с.
3. Лавров, Л.И. Процессы идеального газа и расчеты основных энергетических величин: учебное пособие / Л.И. Лавров, Е.А. Томильцев: Минобрнауки России, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра процессов и аппаратов. — Санкт-Петербург: [б. и.], 2009. – 25 с.
4. Лавров, Л.И. Эксергия и эксергетический КПД: учебное пособие / Л.И. Лавров, А.А. Копейкина: Минобрнауки России, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра процессов и аппаратов. — Санкт-Петербург: [б. и.], 2010. – 16 с.
5. Лавров, Л.И. Определение и расчеты параметров и процессов реальных газов с фазовыми переходами: учебное пособие / Л.И. Лавров, Е.А. Томильцев: Минобрнауки России, Санкт-Петербургский государственный технологический

институт (технический университет), Кафедра процессов и аппаратов. — Санкт-Петербург: [б. и.], 2013. – 33 с.

6. Лавров, Л.И. Превращение теплоты в работу : учебное пособие / Л. И. Лавров, Е. А. Томильцев : Минобрнауки России , Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра процессов и аппаратов . - Санкт-Петербург: [б. и.], 2013. - 22 с.

#### **б) электронные издания**

1. Лавров, Л.И. Термодинамические циклы: учебное пособие / Л.И. Лавров, А.А. Копейкина, Е.А. Морос: Минобрнауки России, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра процессов и аппаратов. — Санкт-Петербург: [б. и.], 2010. – 36 с.// СПбГТИ: электронная библиотека - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 02.11.2020). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

### **8 Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины**

Интернет-ресурсы: проводить поиск в различных системах, таких как [www.yandex.ru](http://www.yandex.ru), [www.google.ru](http://www.google.ru), [www.rambler.ru](http://www.rambler.ru), [www.yahoo.ru](http://www.yahoo.ru) и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем на лекционных занятиях.

С компьютеров института открыт доступ к:

eLIBRARY.RU : научная электронная библиотека : сайт. – Москва, 2000 – . URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 02.11.2020). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

Лань : электронно - библиотечная система : сайт. – Санкт-Петербург, 2016 – . URL: [https:// e.lanbook.com](https://e.lanbook.com) (дата обращения: 02.11.2020).

### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

Все виды занятий по дисциплине «Техническая термодинамика и теплотехника» проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

СТП СПбГТИ 040-02. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

СТО СПбГТИ 018-2014. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 048-2009. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является:

- плановость в организации учебной работы;
- серьезное отношение к изучению материала;
- постоянный самоконтроль.

На занятия студент должен приходить, имея багаж знаний и вопросов по уже изученному материалу.

### **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

#### **10.1. Информационные технологии.**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

- взаимодействие с обучающимися посредством электронной информационно-образовательной среды.

#### **10.2. Программное обеспечение.**

- Microsoft Office 2013 sp1 (Microsoft Word, Microsoft Excel);
- Mathcad 14.

#### **10.3. Базы данных и информационные справочные системы.**

Справочно-поисковая система «Консультант-Плюс».

<http://www.spcpa.ru/> - Интерактивный учебник по высшей математике.

<http://www.allmath.ru/> - Математический портал.

<http://www.exponenta.ru/> - Образовательный математический сайт.

#### **11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для ведения лекционных занятий используется аудитория на 16 посадочных мест.  
Для ведения практических занятий используется аудитория на 16 посадочных мест.

#### **12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебные процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014г.

**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации по  
дисциплине «Техническая термодинамика и теплотехника»**

**1. Перечень компетенций и этапов их формирования.**

<b>Компетенции</b>		
<b>Индекс</b>	<b>Формулировка</b>	<b>Этап формирования</b>
<b>ОПК-9</b>	Способен внедрять и осваивать новое технологическое оборудование	промежуточный
<b>ОПК-11</b>	Способен проводить научные эксперименты с использованием современного исследовательского оборудования и приборов, оценивать результаты исследований	промежуточный

## 2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
<b>ОПК-9.5</b> Использует знания термодинамического анализа для обоснования и выбора технологического оборудования при проведении технологических процессов и решении профессиональных задач	<b>Знает</b> теоретические основы энергетической сущности технологических процессов (ЗН-1), основные виды машин и аппаратов, базирующихся на энергетических преобразованиях и энергоемких процессах химической технологии (ЗН-2). <b>Владет</b> методами термодинамического анализа процессов, протекающих в аппаратах и машинах (Н-1)	Правильные ответы на вопросы №1-6, 14-18 к экзамену	Перечисляет с ошибками основные виды машин и аппаратов хим. технологии	Может перечислить методы ТД анализа процессов, знает теоретические основы сущности технологических процессов, основные виды аппаратов и машин.	Способен выбирать тот или иной метод ТД для решения инженерных задач, свободно ориентируется в основных видах машин и аппаратов химической технологии
	<b>Умеет</b> рассчитать основные параметры работы холодильной установки, выбирать оптимальные условия проведения процесса, отвечающие минимуму энергозатрат (У-4).	Правильные ответы на вопросы №31-38 к экзамену	С ошибками может рассчитать основные параметры холодильной установки	Знает способы получения низких температур. Может построить цикл холодильной машины в диаграммах и рассчитать основные параметры холодильной установки	На основании П закона ТД может обосновать получение температуры ниже окружающей среды. Свободно ориентируется в диаграммах различных хладагентов и может выбирать оптимальные условия проведения процесса с расчетом основных параметров холодильной установки.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	<b>Знает</b> основы промышленного получения тепловой, механической и электрической энергии (ЗН-5)	Правильные ответы на вопросы №39-43 к экзамену	Имеет представление об основах получения энергии	Хорошо понимает основы получения тепловой и электр. энергии. С помощью наводящих вопросов может объяснить цикл Ренкина, по которому работает ТЭЦ.	Свободно ориентируется в основных способах получения энергии. Знает основные этапы работы ТЭЦ по циклу Ренкина, может производить расчеты КПД такой станции.
	<b>Владеет</b> методами термодинамического анализа процессов, протекающих в компрессорах (Н-2).	Правильные ответы на вопросы №29-30 к экзамену	Слабо ориентируется в ТД. циклах. С ошибками рассчитывает мощность, отводимое тепло при работе компрессора	Понимает суть ТД циклов. Умеет рассчитать мощность, отводимое тепло как одноступенчатого, так и многоступенчатого компрессора с небольшими ошибками	Хорошо владеет методами ТД анализа процессов в компрессоре, знает особенности реального компрессора, может рассчитать мощность, отводимое тепло, расход охл. воды в компрессоре

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
<b>ОПК-11.1</b> Использует знания термодинамических процессов с газами для постановки задачи управления компрессорными установками	<b>Умеет</b> производить расчеты термодинамических процессов с газами (У-1)	Правильные ответы на вопросы №7-13, 25-28 к экзамену	Имеет представление о понятиях идеального и реального газа, их уравнениях состояния, производит расчеты недостающих параметров и ТД величин с ошибками	Может производить расчеты ТД величин политропного и частных процессов идеальных газов, изображать ход этих процессов в диаграммах p-v и T-S	Способен самостоятельно выбирать способ определения недостающих параметров, ТД величин и провести анализ процесса по диаграммам p-v и T-S, легко ориентируется в терминах

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	<b>Умеет</b> производить расчеты термодинамических процессов с парами (У-2)	Правильные ответы на вопросы №19-24 к экзамену	С ошибками может на диаграммах водяного пара определять необходимые точки и их параметры	С небольшими ошибками может изобразить процесс в диаграммах водяного пара, рассчитать требуемые ТД величины	Свободно ориентируется в диаграммах водяного пара, может правильно определить параметры и провести расчет ТД величин
	<b>Знает</b> особенности реального компрессора (ЗН-3). <b>Умеет</b> рассчитать мощность компрессора и расход отводимой теплоты, выбирать оптимальные условия проведения процессов, отвечающих минимумам энергозатрат (У-3). <b>Владеет</b> методами термодинамического анализа процессов, протекающих в компрессорах (Н-3)	Правильные ответы на вопросы №29-30 к экзамену	Слабо ориентируется в ТД. циклах. С ошибками рассчитывает мощность, отводимое тепло при работе компрессора	Понимает суть ТД циклов. Умеет рассчитать мощность, отводимое тепло как одноступенчатого, так и многоступенчатого компрессора с небольшими ошибками	Хорошо владеет методами ТД анализа процессов в компрессоре, знает особенности реального компрессора, может рассчитать мощность, отводимое тепло, расход охл. воды в компрессоре
	<b>Знает</b> способы получения низких температур (ЗН-4).	Правильные ответы на вопросы №31-38 к экзамену	С ошибками может рассчитать основные параметры холодильной установки	Знает способы получения низких температур. Может построить цикл холодильной машины в диаграммах и рассчитать основные параметры холодильной установки	На основании П закона ТД может обосновать получение температуры ниже окружающей среды. Свободно ориентируется в диаграммах различных хладагентов и может выбирать оптимальные условия проведения процесса с расчетом основных параметров холодильной установки.



### 3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации. Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ОПК-9, ОПК-11:

1. Термодинамическая система. Взаимодействие системы с окружающей средой. Открытая, закрытая, адиабатная, изолированная, термодинамическая системы.
2. Экстенсивные и интенсивные параметры состояния. Уравнения состояния для идеального и реального газов (уравнение Клапейрона-Менделеева и уравнение Ван-дер-Ваальса).
3. Зависимость количества передаваемой теплоты, работы закрытой и открытой систем от параметров состояния. Изображение работы и теплоты в  $p - v$  и  $T - s$  диаграммах.
4. Понятие истинной и средней теплоемкостей. Уравнение Майера. Расчет теплоемкостей  $c_p$  и  $c_v$  идеального газа. Зависимость теплоемкости от показателя политропы (формула и график).
5. Внутренняя энергия, энтальпия. Физический смысл. Расчет изменения внутренней энергии и энтальпии идеального газа.
6. Первый закон термодинамики (первое и второе уравнения). Физический смысл, различные формы записи.
7. Термодинамический процесс. Равновесность. Обратимость. Политропный процесс. Вывод уравнений политропного процесса.
8. Расчет термодинамических величин (работы закрытой и открытой систем, количества теплоты, изменения внутренней энергии и энтальпии) в политропном процессе.
9. Расчет энтропии и ее изменения в политропном процессе.
10. Частные процессы идеального газа. Изображение на диаграммах состояния.
11. Частные процессы идеального газа. Расчет термодинамических величин (работы закрытой и открытой систем, количества теплоты, изменения внутренней энергии и энтальпии).
12. Анализ политропного процесса по диаграммам состояния.
13. Определение показателя политропы. Расчет произвольного процесса идеального газа.
14. Прямые и обратные циклы. Определение эффективности циклов (коэффициент полезного действия, холодильный коэффициент, отопительный коэффициент). Циклы как метод термодинамического анализа.
15. Прямой цикл Карно. Основные выводы, получаемые при анализе цикла Карно.
16. Второй закон термодинамики. Физический смысл, математическое выражение. Примеры (неравновесный теплообмен).
17. Характеристические функции. Аналитические выражения, области применения.
18. Эксергия. Физический смысл. Вывод уравнения для расчета эксергии и ее изменения в термодинамическом процессе. Эксергетический к.п.д.
19. Реальный газ. Фазовые превращения первого и второго рода.
20. Реальный газ. Диаграммы состояния  $p - T$ ,  $p - v$ ,  $T - s$ ,  $i - s$ . Критическая точка. Тройная точка. Пограничные кривые. Изображение частных процессов на диаграммах состояния.
21. Определение параметров состояния реального газа на пограничных кривых. Определение параметров состояния влажного и перегретого пара.
22. Вывод уравнений для расчета теплоты парообразования. Зависимость теплоты парообразования от температуры и давления. Изображение в  $T - s$  координатах.
23. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Вывод уравнения, физический смысл. Интегральные формы уравнения. Связь уравнения с диаграммой состояния  $p - T$ .
24. Реальные газы. Расчет частных процессов и их изображение на диаграммах состояния  $p - v$ ,  $T - s$ ,  $i - s$ .
25. Течение газов через конфузور. Предельная скорость течения. Учет трения.

26. Получение сверхзвуковых скоростей. Сопло Лаваля.
27. Дросселирование. Дроссель-эффект.
28. Струйные аппараты. Принцип работы. Схема аппарата. Коэффициент инжекции. Изображение в  $i - s$  координатах.
29. Цикл идеального компрессора одноступенчатого и многоступенчатого. Расчет мощности и отводимой теплоты. Изображение в  $p - v$  и  $T - s$  диаграммах.
30. Особенности реального компрессора и их учет.
31. Методы получения низких температур. Основные параметры характеризующие работу холодильной установки. Обратный цикл Карно.
32. Воздушная холодильная установка. Схема установки. Расчет основных характеристик. Изображение в  $p - v$  и  $T - s$  диаграммах.
33. Парокомпрессионная холодильная установка. Схема установки. Расчет основных характеристик. Изображение в  $T - s$  и  $p - i$  диаграммах.
34. Парокомпрессионная холодильная установка. Схема установки. Виды циклов и их изображение в  $T - s$  диаграмме. Требования к хладагентам.
35. Парокомпрессионная холодильная установка. Схема установки. Изображение холодопроизводительности и затраченной работы в  $p - i$  и  $T - s$  диаграммах. Влияние температуры испарения и температуры конденсации на холодильный коэффициент.
36. Абсорбционная холодильная установка. Схема установки. Принцип работы. Коэффициент использования теплоты.
37. Пароэжекторная холодильная установка.
38. Термотрансформаторы. Принцип работы. Коэффициент преобразования теплоты.
39. Промышленное производство энергии. Цикл Ренкина. Схема установки. Расчет основных характеристик. Изображение в  $T - s$  диаграмме. Влияние температуры испарения и температуры конденсации на к.п.д.
40. Циклы тепловых двигателей. Основные допущения, используемые при анализе циклов. Невозможность реализации цикла с высоким к.п.д. Циклы Отто и Дизеля. Их сравнение.
41. Цикл газовой турбины. Схема установки. К.п.д. цикла. Сравнение с циклами Отто и Дизеля.
42. Первичные источники энергии. Их характеристика. Основные энергоемкие процессы.
43. Вторичные энергоресурсы (ВЭР). Классификация. Повышение потенциала ВЭР. Примеры использования ВЭР (многокорпусное выпаривание, выпаривание с тепловым насосом.)

### Примеры задач на экзамене:

№ 1. Газ политропно расширяется. Объем газа увеличивается от  $V_1$  до  $V_2$ . Начальная температура газа  $t_1$ , начальное давление  $p_1$ . Показатель политропы  $n$ .

Определить конечные температуру, давление, энтропию и эксергию газа, а также количество переданной теплоты, работу, совершенную газом, изменение внутренней энергии, энтропии и эксергии газа. Температура окружающей среды  $t_{oc}$ , давление окружающей среды  $p_{oc} = 1$  бар.

Изобразить процесс в  $p - v$  и  $t - s$  координатах и проанализировать его.

№ 2. Определить мощность трехступенчатого компрессора, если в нем сжимается  $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$  азота от давления 1 бар до давления 64 бара. Сжатие политропное, показатель политропы 1,25. Начальная температура азота  $27^\circ\text{C}$ .

Определить также количество тепла, отводимое в цилиндрах и промежуточных теплообменниках компрессора и удельную эксергию сжатого газа.

Температура окружающей среды  $27^\circ\text{C}$ , давление 1 бар.

№ 3.  $1,8 \text{ м}^3$  водяного пара с влажностью 10% вначале изотермически расширяется от давления 20 бар до давления 3 бара, а затем адиабатно расширяется до давления 1,6 бара.

Определить теплоту процесса, работу расширения и изменение внутренней энергии пара. Изобразить процесс на  $i - s$ ,  $p - v$ ,  $T - s$  диаграммах.

№ 4. В парокомпрессионной холодильной установке, работающей на фреоне 22, осуществляется сухой цикл без переохлаждения конденсата. Температура хладагента при испарении минус  $10^{\circ}\text{C}$ , при конденсации  $35^{\circ}\text{C}$ . Холодопроизводительность установки 96 кВт.

Определить эффективность установки (холодильный коэффициент), расход хладагента, теоретическую мощность двигателя компрессора, давления в конденсаторе и испарителе. Определить также теоретически максимальный холодильный коэффициент.

К экзамену допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. При сдаче экзамена, студент получает два вопроса из перечня, приведенного выше и задачу.

Время подготовки студента к устному ответу на вопросы - до 30 мин.

#### **4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СТП СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКДВ Порядок проведения зачетов и экзаменов.

По дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Шкала оценивания на экзамене балльная («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»).