

УТВЕРЖДАЮ  
 Директор ВШТЭ



## Рабочая программа дисциплины

**Б1.В.03**

Низкотемпературные процессы и установки

Учебный план: ФГОС3++b130301ЭТ-1\_21-14.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 (курс для ЗАО)		Контактная работа обучающихся			Сам. работа	Контроль, час.	Трудоё мкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
		Лекции	Практ. занятия	Лаб. занятия				
7	УП	34	17	17	40	36	4	Экзамен
	РПД	34	17	17	40	36	4	
Итого	УП	34	17	17	40	36	4	
	РПД	34	17	17	40	36	4	

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

Верхоланцев А.А.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой теплосиловых установок и тепловых двигателей

Злобин В.Г.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Сморозин С.Н.

Методический отдел:

Смирнова В.Г.

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** Является получение студентами достаточного объема знаний для обоснованного выбора и грамотной эксплуатации трансформаторов теплоты в системах производства и распределения искусственного холода и извлечение вторичной теплоты.

### 1.2 Задачи дисциплины:

- Овладеть основными знаниями в научно-технических и инженерно-практических вопросах в области систем трансформации теплоты.
- Усвоить основные направления повышения эффективности трансформаторов теплоты.
- Приобретение навыков проведения расчетов по разработке схем обеспечения объектов тепловой энергией за счет использования тепловых насосов.
- 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:

Защита от коррозии теплотехнологических установок

Техническая термодинамика

Тепломассообмен

Тепломассообменное оборудование теплоэнергетических предприятий

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**ПК-5.2: Способен выполнять специальные расчеты теплотехнологических процессов по типовым методикам**

**Знать:** принципы работы низкотемпературных установок; определять характеристики оборудования и параметров рабочих агентов в рассматриваемых системах; способы расчета различных схем низкотемпературных установок по типовым методикам.

**Уметь:** выполнять расчеты низкотемпературных установок; читать и составлять схемы низкотемпературных установок.

**Владеть:** методикой построения низкотемпературных систем.



<p>Тема 4. Виды компрессионных трансформаторов теплоты. Одноступенчатый трансформатор теплоты; двухступенчатая парокомпрессионная холодильная установка; каскадная парокомпрессионная холодильная установка. Фреоны, их свойства; сернистый ангидрид (SO<sub>2</sub>) его свойства, аммиак (NH<sub>3</sub>) его свойства. Лабораторная работа №3 "Изучение устройства и принципа действия парокомпрессионного теплового насоса".</p>		4	2	4	4		
<p>Тема 5. Ожижитель Линде. Схема установки; ожижитель с дроссельной ступенью окончательного охлаждения; T-S диаграмма. Особенности и принцип действия установок данного типа.</p>		4	2		4		
<p>Тема 6. Ожижитель Капицы. Схема детандерной установки Капицы; T-S диаграмма. Принцип действия установки.</p>		4	2		4		
<p>Раздел 3. Сорбционные трансформаторы теплоты, эксергия. Термоэлектрические холод установки.</p>							
<p>Тема 7. Абсорбционная аммиачная холод машина. Типовая схема; принцип работы; промышленное использование; свойства аммиака. Лабораторная работа №4 "Исследование работы и определение основных показателей эффективности холодильной установки".</p>		4	2	5	4		
<p>Тема 8. Абсорбционная бромистолитиевая холод машина. Типовая схема; принцип работы; промышленное использование; свойства бромистого лития. Типовая схема парожеторной холод машины, принцип работы, промышленное использование.</p>		4	2		4		Л,О
<p>Тема 9. Эксергия для различных видов энергии. Эксергетический баланс системы; диаграмма эксергия—энтальпия.</p>		4	2		4		

Тема 10. Термоэлектрические установки, основанные на эффекте Пельтье. Схема установки на полупроводниках; принцип работы; примеры использования. Магнитные установки. Принцип работы, примеры использования.		2	2		4		
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		34	17	17	40		
Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен)		2,5			33,5		
<b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>		70,5			73,5		

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовое проектирование учебным планом не предусмотрено

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

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

##### 5.1.1 Показатели оценивания

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения	Наименование оценочного средства
ПК-5.2	1. Обучающийся знает принципы работы низкотемпературных установок, правильно определяет характеристики оборудования и параметры рабочих агентов в рассматриваемых системах, правильно выбирает способы расчета различных схем низкотемпературных установок по типовым методикам. 2. Анализирует расчеты низкотемпературных установок, объясняет и составляет схемы низкотемпературных установок. 3. Владеет методикой построения низкотемпературных систем.	1. Вопросы устного собеседования 2. Практико-ориентированные задания

##### 5.1.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
5 (отлично)	Обучающийся показывает всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умеет свободно выполнять задания, предусмотренные программой; усвоил основную и знаком с дополнительной рекомендованной литературой; может объяснить взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для последующей профессиональной деятельности; проявляет творческие способности в понимании, изложении и использовании учебного материала. Обучающийся демонстрирует правильное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения, знание размерностей физических 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.	Обучающийся демонстрирует правильное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения, знание размерностей физических 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. Даны исчерпывающие выводы и полные ответы на поставленные вопросы.
4 (хорошо)	Обучающийся показывает достаточный уровень знаний в пределах основного учебного материала, без существенных	Обучающийся демонстрирует достаточное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных

	<p>ошибок выполняет предусмотренные в программе задания; усвоил основную литературу, рекомендованную в программе; способен объяснить взаимосвязь основных понятий дисциплины при дополнительных вопросах преподавателя. Допускает не существенные погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, устраняет их без помощи преподавателя. Обучающийся демонстрирует достаточное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения, знание размерностей физических величин. Допускает незначительные погрешности при применении математического аппарата для реализации плана решения задачи. Получил правильный ответ, но испытывает затруднения с его интерпретацией.</p>	<p>законов и формул для ее решения, знание размерностей физических величин. Допускает незначительные погрешности при применении математического аппарата для реализации плана решения задачи. Получил правильный ответ и может его интерпретировать. Даны полные ответы на поставленные вопросы, но имеют место несущественные нарушения в оформлении работы или даны нечеткие выводы.</p>
<p>3 (удовлетворительно)</p>	<p>Обучающийся показывает знания основного учебного материала в минимальном объеме, необходимом для дальнейшей учебы; справляется с выполнением заданий, предусмотренных программой, допуская при этом большое количество не принципиальных ошибок; знаком с основной литературой, рекомендованной программой. Допускает существенные погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя. Обучающийся вникает в смысл условия задачи, понимает план ее решения, однако, не может в полной мере с помощью математического аппарата реализовать ее решение. Знает размерности физических величин, может сделать рисунок или схему, поясняющую решение задачи.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует достаточное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения, знание размерностей физических величин. Допускает незначительные погрешности при применении математического аппарата для реализации плана решения задачи. Получил правильный ответ, но испытывает затруднения с его интерпретацией. В работе есть отдельные существенные ошибки, присутствуют неточности в ответах, либо качество представления работы низкое.</p>
<p>2 (неудовлетворительно)</p>	<p>Обучающийся не имеет достаточного уровня знания основного учебного материала, допускает принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий, не знаком с содержанием рекомендованной литературой, не может исправить допущенные ошибки. Обучающийся не может проанализировать условие задачи, наметить план ее решения, выбрать физические законы и плохо ориентируется в физических величинах, не владеет математическим аппаратом. Как правило, оценка "не удовлетворительно" ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей</p>	<p>Отсутствие одного или нескольких обязательных элементов задания, либо многочисленные грубые ошибки в работе, либо грубые нарушения правил оформления или сроков представления работы. Неспособность ответить на вопросы по письменной работе без помощи преподавателя. Обучающийся не может проанализировать условие задачи, наметить план ее решения, выбрать физические законы и плохо ориентируется в физических величинах, не владеет математическим аппаратом.</p>

## 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 7	
1	Устройство вихревой трубы и процесс ее работы в диаграмме $T, S$ .
2	Определение основных энергетических показателей парожеторной холодильной установки.
3	Процесс работы струйного аппарата в диаграмме $h, S$ .
4	Схема парожеторной холодильной установки и цикл ее в $T, S$ - диаграмме.
5	Типы струйных трансформаторов теплоты. Устройство и принцип работы струйного аппарата.
6	Сравнение газовых компрессионных трансформаторов теплоты с регенерацией и без нее. Расчет холодильного коэффициента.
7	Схема газового компрессионного трансформатора теплоты с регенерацией и процесс его работы в $T, S$ - диаграмме.
8	Идеальный газовый трансформатор теплоты.
9	Основные методы регулирования парожеторных трансформаторов теплоты.
10	Применение двухступенчатых теплонасосных установок в системах теплоснабжения.
11	Принципиальная схема теплонасосной установки для утилизации теплоты паровоздушной смеси в картоноделательных машинах.
12	Работа парожеторных трансформаторов теплоты в режиме теплонасосной установки. Принципиальная схема теплонасосной станции для утилизации теплоты «сбросной» воды (на примере Светогорского ЦБК).
13	Каскадные парожеторные трансформаторы теплоты.
14	Цикл двухступенчатой парожеторной холодильной установки в $T, S$ - диаграмме. Расчет двухступенчатой холодильной установки.
15	Схема и принцип работы двухступенчатой парожеторной холодильной установки. Причины перехода к многоступенчатости.
16	Регенеративный теплообмен в парожеторном трансформаторе теплоты.
17	Методика расчета одноступенчатых парожеторных трансформаторов теплоты.
18	Определение основных энергетических показателей парожеторных трансформаторов теплоты.
19	Цикл одноступенчатой парожеторной установки в $T, S$ и $P, h$ - диаграммах.
20	Схема и принцип работы одноступенчатой парожеторной установки.
21	Хладоносители. Основные требования к ним.
22	Рабочие тела трансформаторов теплоты. Основные требования к ним. Рабочие тела газовых компрессионных трансформаторов теплоты и абсорбционных трансформаторов теплоты.
23	Рабочие тела трансформаторов теплоты. Основные требования к ним. Хладоагенты парожеторных трансформаторов теплоты.
24	Энергетические зоны в низкотемпературной области.
25	Диаграмма эксергия-энтальпия.
26	Определение значения эксергии для различных видов энергии. Коэффициент работоспособности теплоты.
27	Понятие эксергии. Взаимосвязь эксергии и энергии.
28	Классификация трансформаторов теплоты по виду цикла и характеру трансформации.
29	Классификация трансформаторов теплоты по периодичности и принципу работы.
30	Область применения трансформаторов.
31	Назначение трансформаторов теплоты.
32	Основные правила обслуживания, техника безопасности при эксплуатации термотрансформаторов.
33	Свойства газовых смесей. Низкотемпературное разделение газовых смесей.
34	Ожигитель Клода с внутренним охлаждением в ступени предварительного охлаждения.
35	Ожигитель Линде с внешним отводом теплоты в ступени предварительного охлаждения.
36	Ожигители с дроссельной ступенью окончательного охлаждения.
37	Газожидкостные трансформаторы теплоты. Криорефрижераторы с детандерной ступенью окончательного охлаждения.
38	Особенности газожидкостных трансформаторов теплоты. Криорефрижераторы с дроссельной ступенью окончательного охлаждения.
39	Энергетическая эффективность хладоснабжения от парожеторных и абсорбционных установок.



40	Определение основных энергетических показателей абсорбционных трансформаторов теплоты (на примере бромисто-литиевой установки).
41	Процесс работы бромисто-литиевой установки в диаграмме - h, $\xi$ .
42	Применение абсорбционных бромисто-литиевых машин для повышения эффективности теплофикации. Абсорбционный тепловой насос.
43	Схема и принцип работы абсорбционных бромисто-литиевых трансформаторов теплоты.
44	Определение основных энергетических показателей абсорбционных трансформаторов теплоты (на примере водоаммиачной установки).
45	Процесс работы водоаммиачной холодильной установки в h, $\xi$ - диаграмме.
46	Схема и принцип работы водоаммиачной холодильной установки.
47	Физико-химический принцип действия абсорбционных трансформаторов теплоты.
48	Абсорбционный трансформатор теплоты (общие понятия). Отличие от других трансформаторов теплоты. Рабочие тела абсорбционных трансформаторов теплоты.

### 5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено.

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

Задача 1. Определить эксергетический к.п.д. системы ( $\eta$ ), если величина энергии вводимой в систему  $\sum E_{вх} = 560$  кВт, а величина энергии выводимой из системы  $\sum E_{вых} = 550$  кВт.

Задача 2. Определить величины эксергии (E), если известны коэффициент работоспособности энергии:  $\omega = 0,97$  и количество энергии:  $\Xi = 560$  кВт.

## 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

Успешная защита расчетно-графической работы в ходе семестра обучения является допуском к экзамену. Время на подготовку ответа на экзамене составляет 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>				
П.В. Луканин	Технологические энергоносители предприятий (Низкотемпературные энергоносители) [Текст]: учебное пособие	М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП	2009	<a href="http://nizrp.narod.ru/tep_lukanin.htm">http://nizrp.narod.ru/tep_lukanin.htm</a>
Семикопенко, И. А., Карпачев, Д. В.	Холодильная техника	Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ	2014	<a href="http://www.iprbookshop.ru/28417.html">http://www.iprbookshop.ru/28417.html</a>
<b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>				
Т. Ю. Короткова, А. Д. Монашенко	Технологические энергоносители предприятий [Текст] : методические указания к лабораторным	М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. - СПб. : ВШТЭ СПбГУПТД	2019	<a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/2019_06_19_05.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/2019_06_19_05.pdf</a>

Парамонов, А. М.	Технологические энергоносители предприятий	Омск: Омский государственный технический университет	2017	<a href="http://www.iprbookshop.ru/78511.html">http://www.iprbookshop.ru/78511.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/>
4. Росстандарт. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии <https://www.gost.ru/portal/gost/>

## 6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

MicrosoftWindows 8  
MicrosoftOfficeProfessional 2013  
PTC Mathcad 15

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

Аудитория	Оснащение
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска
Учебная аудитория	Специализированная мебель, доска
А-203	Лабораторные установки для определения влажности, зольности и выхода летучих веществ топлива, лабораторная установка для определения теплоты сгорания топлива, стенд учебный "Автоматизированная котельная на газообразном и жидком топливе", лабораторная установка Тепловой насос с МПСО, компьютерные тренажеры