

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Крылова Людмила Вячеславовна
Должность: Проректор по учебно-методической работе
Дата подписания: 29.12.2025 10:38:25
Уникальный программный код:
b066544bae1e449cd8bfce392f7224a676a271b2

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭКОНОМИКИ И
ТОРГОВЛИ ИМЕНИ МИХАИЛА ТУГАН-БАРАНОВСКОГО»**

**КАФЕДРА ХОЛОДИЛЬНОЙ И ТОРГОВОЙ ТЕХНИКИ
ИМЕНИ ОСОКИНА В.В.**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методической работе
Л.В. Крылова

« 26 » декабрь 2025 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.0.06 СПЕЦИАЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМ**

(название учебной дисциплины)

Укрупненная группа направлений подготовки 13.00.00 Электро-и теплоэнергетика

Программа высшего профессионального образования – программа магистратуры

Направление подготовки 13.04.03 Энергетическое машиностроение

Магистерская программа: Холодильные машины и установки

Институт пищевых производств

Курс, форма обучения:

очная форма обучения, 1 курс

заочная форма обучения, 1 курс

Рабочая программа адаптирована для лиц
с ограниченными возможностями
здоровья и инвалидов (при наличии таких лиц)

Донецк
2025

Рабочая программа учебной дисциплины «Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем» для обучающихся по направлению подготовки/специальности 13.04.03 Энергетическое машиностроение, профилю/магистерской программе Холодильные машины и установки, разработанная в соответствии с учебным планом, утвержденным Ученым советом ДОННУЭТ:

- в 2025 г. - для очной формы обучения;
- в 2025г. - для заочной формы обучения.

Разработчик: Карнаух В.В., профессор кафедры ХТТ, доктор технических наук, доцент

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры холодильной и торговой техники имени Осокина В.В.

Протокол от "24" февраля 2025 года № 22

Заведующий кафедрой холодильной и торговой техники имени Осокина В.В.

К.А. Ржесик
(фамилия и инициалы)

КАФЕДРА
ХОЛОДИЛЬНОЙ И
ТОРГОВОЙ ТЕХНИКИ
ИМЕНИ ОСОКИНА В.В.

СОГЛАСОВАНО:

Директор института пищевых производств
Д.К. Кулешов
(подпись) (фамилия и инициалы)



ОДОБРЕНО

Учебно-методическим советом ДОННУЭТ

Протокол от «26» февраля 2025 года № 7

Председатель Л.В.Крылова
(подпись) (инициалы, фамилия)

© Карнаух В.В., 2025 год
© ФГБОУ ВО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», 2025 год

1. ОПИСАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование показателя	Наименование укрупненной группы направлений подготовки, направление подготовки, профиль, программа высшего образования	Характеристика учебной дисциплины		
		очная форма обучения	заочная/ очно-заочная форма обучения	
Количество зачетных единиц – 3,0	Укрупненная группа направлений подготовки <u>13.00.00 Электро-и теплоэнергетика</u> (код, название)	обязательная (обязательная, вариативная)		
	Направление подготовки <u>13.04.03 Энергетическое машиностроение</u> (код, название)			
Модулей – 1	Профиль <u>Холодильные машины и установки</u> (название)	Год подготовки		
Смысовых модулей – 3		1 -й	1 -й	
Общее количество часов – 108		Семестр		
		1 -й	<u>1</u> -й	
		Лекции		
		16 час.	8 час.	
Количество часов в неделю для очной формы обучения: 6,75 аудиторных – 2 самостоятельной работы обучающегося – 2,9		Практические, семинарские занятия		
		- час.	- час.	
		Лабораторные занятия		
		16 час.	8 час.	
		Самостоятельная работа		
		45,8 час	80,4 час.	
		Индивидуальные задания:		
		3,2 часа	3,6 часа	
		ЗТМК, реферат	реферат, контрольная работа	
		Форма промежуточной аттестации:		
		экзамен	экзамен	

Соотношение количества часов аудиторных занятий и самостоятельной работы составляет:

для очной формы обучения – 32:45,8

для заочной формы обучения – 16:80,4

2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель учебной дисциплины: формирование знаний о способах получения низких температур, о свойствах вещества в области низких и сверхнизких температур и принципах построения низкотемпературных технических установок; создание у магистранта теоретической базы для изучения специальных профильных дисциплин, а также формирование навыков проведения анализа процессов преобразования энергии, имеющих место в низкотемпературных установках.

Задачи учебной дисциплины:

получение знаний о методиках анализа различных процессов преобразования энергии; получение навыков по анализу и расчету термодинамических процессов и циклов низкотемпературных систем.

3. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО

Учебная дисциплина B1.O.06 «Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем» (шифр, название учебной дисциплины в соответствии с учебным планом) относится к обязательной части ООП ВО.

Имеется логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с дисциплинами «Высшая математика», «Физика», «Химия», «Технической термодинамике», «Холодильные машины, установки и криогенная техника».

Знания, полученные при изучении «Специальных глав термодинамики низкотемпературных систем», будут использованы в таких дисциплинах, как: «Повышение энергетической эффективности парокомпрессионных холодильных машин», «Моделирование рабочих процессов холодильного оборудования», «Методология создания прогрессивного холодильного технологического оборудования»; при подготовке выпускной квалификационной работы.

4. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЯ), СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

В результате освоения изучения учебной дисциплины у обучающегося должны быть сформированы **компетенции и индикаторы их достижения**:

<i>Код и наименование компетенции</i>	<i>Код и наименование индикатора достижения компетенции</i>
ОПК-2. Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	ИД-1опк-2 Выбирает необходимый метод исследования для решения поставленной задачи. ИД-2опк-2 Проводит анализ полученных результатов. ИД-3опк-2 Представляет результаты выполненной работы.

уметь:

самостоятельно разбираться в методиках расчета и применять их для решения поставленной задачи; осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию; анализировать информацию о новых технологиях получения низких температур, способах их описания и практического применения;

применять законы термодинамики для анализа термодинамических процессов и циклов; применять характеристические функции и их свойства для анализа термодинамических процессов и свойств термодинамических низкотемпературных систем; применять уравнение эксергетического баланса для анализа эффективности работы низкотемпературных установок.

владеть:

навыками дискуссии по профессиональной тематике; терминологией в области методов описания низкотемпературных систем и процессов переноса теплоты; навыками термодинамического анализа, включая и эксергетический, низкотемпературных процессов и циклов; навыками применения полученной информации при расчете, подборе, модернизации низкотемпературных установок.

5. ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Смысовой модуль 1. Первый закон термодинамики в обобщенной форме

Тема 1. Типы термодинамических систем (ТС): термомеханическая, термоэлектрическая, терромагнитная. Термодинамические процессы.

Тема 2. Уравнение первого закона термодинамики для закрытых и открытых термодинамических систем. Применение первого закона термодинамики для открытой ТС при анализе основных процессов, протекающих в холодильных системах.

Тема 3. Теорема Карно. Обобщённый цикл Карно.

Особенности описания процессов, протекающих в холодильных системах.

Смысовой модуль 2. Характеристические функции и их свойства.

Дифференциальные уравнения термодинамики.

Тема 4.. Уравнение Максвелла для термодинамических систем различных типов.

Тема 5. Дифференциальные уравнения характеристических функций.

Тема 6. Общие способы получения сверхнизких температур. Теорема Нернста.

Смысовой модуль 3. Эксергетический метод термодинамического анализа

Тема 7. Понятие эксергии, анергия. Эксергия замкнутой системы. Эксергетические диаграммы

Тема 8. Уравнение эксергетического баланса. Эксергетический КПД.

Тема 9. Комбинированные термодинамические методы анализа низкотемпературных установок на основе эксергии.

6. СТРУКТУРА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Название смысловых модулей и тем	Количество часов											
	очная форма обучения						заочная форма обучения					
	всего	в том числе					всего	в том числе				
		л ¹	п ²	лаб ³	инд ⁴	СР ⁵		л	п	лаб	инд	СР
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Смысовой модуль 1. Первый закон термодинамики в обобщенной форме												
Типы термодинамических систем: термомеханическая, термоэлектрическая, терромагнитная. Термодинамические процессы.	8	2	-	1	-	5	8,5	0,5	-	-	-	8
Уравнение 1-го термодинамики для закрытых и открытых ТС. Применение 1-го	8	2	-	1	-	5	11,5	0,5	-	2	-	9

закона термодинамики для открытой ТС при анализе основных процессов, протекающих в хол. системах.												
Теорема Карно. Обобщённый цикл Карно. Особенности описания процессов, протекающих в холодильных системах.	9	2	-	2	-	5	13	2		2		9
Итого по смысловому модулю 1	25	6	-	4	-	15	33	3	-	4	-	26
Смысловой модуль 2. Характеристические функции и их свойства. Дифференциальные уравнения термодинамики												
Уравнение Максвелла для термодинамических систем различных типов.	8	1	-	2	-	5	10	1	-	-	-	9
Дифференциальные уравнения характеристических функций.	8	1	-	2	-	5	10	1	-	-	-	9
Общие способы получения сверхнизких температур. Теорема Нернста.	9	2	-	2	-	5	12	1	-	2	-	9
Итого по смысловому модулю 2	25	4	-	6	-	15	32	3	-	2	-	27
Смысловой модуль 3. Эксергетический метод термодинамического анализа												
Понятие эксергии, анергия. Эксергия замкнутой системы. Эксергетические диаграммы	9	2	-	2	-	5	9,5	0,5	-	-	-	9
Уравнение эксергетического баланса. Эксергетический КПД.	9	2	-	2	-	5	10,5	0,5	-	1	-	9
Комбинированные термодинамические методы анализа низкотемпературных	9,8	2	-	2	-	5,8	11,4	1	-	1	-	9,4

установок на основе эксергии.												
Итого по смысловому модулю 3	27,8	6	-	6	-	15,8	31,4	2	-	2	-	27,4
Всего по смысловым модулям	77,8	16	-	16	-	45,8	96,4	8	-	8	-	80,4
Катт					0,8						1,2	
СРЭк												
ИК												
КЭ					2						2	
КаттЭк					0,4						0,4	
Контроль						27					8	
Всего часов	108	16	-	16	3,2	72,8	108	8		8	11,6	80,4

- Примечания: 1. л – лекции;
 2. п – практические (семинарские) занятия;
 3. лаб – лабораторные занятия;
 4. инд – индивидуальные занятия;
 5. СР – самостоятельная работа;

7. ТЕМЫ СЕМИНАРСКИХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Название темы	Количество часов	
		очная форма	заочная форма
1	Курсом не предусмотрены		
2			
....			
Всего:			

8. ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

Номер п/п	Название темы	Количество	
		очная форма	заочная форма
Смысловой модуль 1. Первый закон термодинамики в обобщенной форме			
1	Типы термодинамических систем: термомеханическая, термоэлектрическая, терромагнитная. Термодинамические процессы.	1	-
2	Уравнение первого закона термодинамики для закрытых и открытых т/д систем. Применение первого закона термодинамики для открытой системы при анализе основных процессов, протекающих в холодильных системах.	1	2
3	Теорема Карно. Обобщённый цикл Карно. Особенности описания процессов, протекающих в холодильных системах.	2	2

Смысовой модуль 2. Характеристические функции и их свойства. Дифференциальные уравнения термодинамики			
4.	Уравнение Максвелла для термодинамических систем различных типов.	2	-
5.	Дифференциальные уравнения характеристических функций.	2	-
6.	Общие способы получения сверхнизких температур. Теорема Нернста.	2	2
Смысовой модуль III. Эксергетический метод термодинамического анализа			
7.	Понятие эксергии, анергия. Эксергия замкнутой системы. Эксергетические диаграммы	2	-
8.	Уравнение эксергетического баланса. Эксергетический КПД.	2	-
9.	Комбинированные термодинамические методы анализа низкотемпературных установок на	2	2
Всего:		16	8
9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА			
Номер п/п	Название темы	Количество	
		очная форма	заочная форма
Смысовой модуль 1. Первый закон термодинамики в обобщенной форме			
1	Типы термодинамических систем: термомеханическая, термоэлектрическая, терромагнитная. Термодинамические процессы.	5	8
2	Уравнение первого закона термодинамики для закрытых и открытых т/д систем. Применение первого закона термодинамики для открытой системы при анализе основных процессов, протекающих в холодильных системах.	5	9
3	Теорема Карно. Обобщённый цикл Карно. Особенности описания процессов, протекающих в холодильных системах.	5	9
Смысовой модуль 2. Характеристические функции и их свойства. Дифференциальные уравнения термодинамики			
4.	Уравнение Максвелла для термодинамических систем различных типов.	5	9
5.	Дифференциальные уравнения характеристических функций.	5	9
6.	Общие способы получения сверхнизких температур. Теорема Нернста.	5	9
Смысовой модуль 3. Эксергетический метод термодинамического анализа			

7.	Понятие эксергии, анергия. Эксергия замкнутой системы. Эксергетические диаграммы	5	9
8.	Уравнение эксергетического баланса. Эксергетический КПД.	5	9
9.	Комбинированные термодинамические методы анализа низкотемпературных установок на основе эксергии.	5,8	9,4
	Всего:	45,8	80,4

10. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ

В ходе реализации учебной дисциплины используются следующие дополнительные методы обучения, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в зависимости от их индивидуальных особенностей:

1) для слабовидящих:

- лекции оформляются в виде электронного документа;
- письменные задания оформляются увеличенным шрифтом или заменяются устным ответом;

2) для глухих и слабослышащих:

- лекции оформляются в виде электронного документа;
- письменные задания выполняются на компьютере в письменной форме;
- зачёт проводится в письменной форме на компьютере; возможно проведение в форме тестирования с использованием Moodle.

3) для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- лекции оформляются в виде электронного документа;
- письменные задания заменяются устным ответом;
- зачёт проводятся в устной форме.

При необходимости предусматривается увеличение времени для подготовки ответа.

Процедура проведения промежуточной аттестации для обучающихся устанавливается с учётом их индивидуальных психофизических особенностей. Промежуточная аттестация может проводиться в несколько этапов.

При проведении процедуры оценивания результатов обучения предусматривается использование технических средств, необходимых в связи с индивидуальными особенностями обучающихся. Эти средства могут быть предоставлены университетом, или могут использоваться собственные технические средства.

Проведение процедуры оценивания результатов обучения допускается с использованием дистанционных образовательных технологий.

Обеспечивается доступ к информационным и библиографическим ресурсам в сети Интернет для каждого обучающегося в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

1) для слепых и слабовидящих:

- в печатной форме увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла.

2) для глухих и слабослышащих:

- в печатной форме;
- в форме электронного документа.

3) для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме;
- в форме электронного документа;

- в форме аудиофайла.

11. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Темы рефератов

1. Третий закон термодинамики. Формулировка и основное содержание.
2. Схема и цикл работы (в $p-v$ и $T-s$ координатах) воздушной холодильной машины. Примеры практического применения.
3. Схема и цикл работы ($p-v$ и $T-s$ координатах) среднетемпературной паровой холодильной машины. Примеры практического применения.
4. Схема и цикл работы ($p-v$ и $T-s$ координатах) низкотемпературной паровой холодильной машины. Примеры практического применения.
5. Уравнения, описывающие процессы дросселирования газов и паров.
6. Работа с фазовыми таблицами ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers*).
7. Методика экспергетического анализа холодильной установки. Пример.
8. Методика экспергетического анализа теплового насоса. Пример.
9. Принципы проектирования низкотемпературных технических установок.
10. Свойства веществ в области низких и сверхнизких температур.
11. Схемы криогенных установок. Характеристика основных узлов.
12. Схемы многоконтурных криогенных установок. Примеры применения.
13. Термодинамический анализ каскадной холодильной установки.
14. Назначение криогенных и низкотемпературных машин.
15. Принципиальные конструктивные схемы рекуперативных криогенных теплообменников. Виды теплообменных поверхностей. Конструктивные особенности.
16. Особенности теплообмена при криогенных температурах. Изменение термодинамических свойств криоагентов.
17. Перспективы применения СПГ (сжиженный природный газ) в России.
18. Принципы построения низкотемпературных технических установок.
19. Схемы криогенных установок. Характеристика основных узлов.
20. Современные рабочие вещества низкотемпературной техники. Критерии выбора.
21. Современные программные продукты для расчета и подбора низкотемпературного оборудования. Примеры.
22. Этапы жизненного цикла низкотемпературной установки.
23. Перспективы применения CO₂ как хладагента низкотемпературных установок. Примеры.
24. Перспективы применения гибридных низкотемпературных установок, работающих на CO₂. Примеры.
25. Низкотемпературные установки с искусственным интеллектом. Примеры применения. Инновационные направления развития низкотемпературных систем.

Контрольная работа

Задача 1. В сосуде объемом V л заключен воздух при давлении p бар и температуре 20°C. Параметры среды: $p_0 = 1$ бар, $t_0 = 20^\circ\text{C}$. Определить максимальную полезную работу $l_{\text{пол}}$, которую может произвести сжатый воздух, находящийся в сосуде. Исходные данные принять из таблицы.

№ варианта	объем сосуда, V , л	давление в сосуде, p , бар	температура воздуха в сосуде, °C	давление среды, p , бар	температура среды, °C
1	300	50	20		20
2	250	48	18		22

3	280	45	15	1	22
4	240	45	17		20
5	310	52	20		24
6	300	50	20		22
7	280	48	18		20
8	290	45	15		22
9	310	50	17		24
0	300	48	20		20

Задача 2.

Выполнить энергетический и эксергетический анализ воздушной холодильной установки с холодопроизводительностью Q_x , МДж/ч. Давление воздуха, поступающего в холодильную камеру, $p_1 = 1$ бар, температура $t_4 = -20$ °C. Температура воздуха перед компрессором t_1 , °C. В теплообменнике воздух охлаждается до температуры $t_3 = 25$ °C (рис.1). В холодильной камере поддерживается температура t_c , температура окружающей среды t_{cp} °C. Воздух считать идеальным газом с постоянной теплоемкостью, определяемой по классической теории. Исходные данные принять из таблицы.

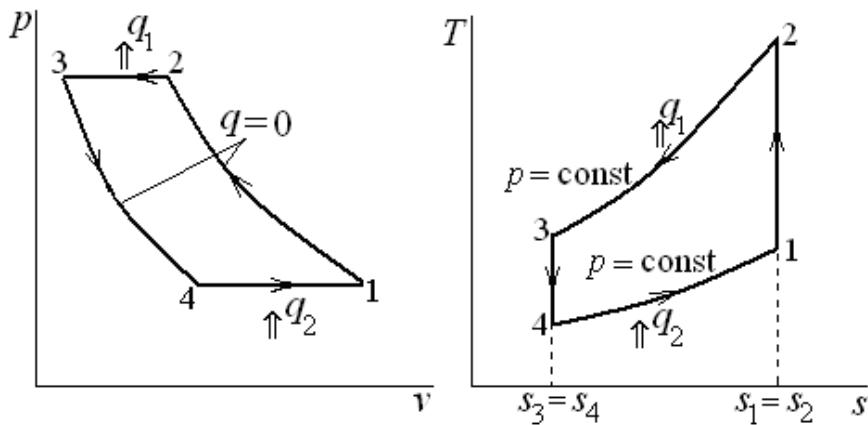


Рис. 1. Диаграммы воздушной холодильной установки к задаче 2

Таблица – Исходные данные

№ варианта	холодопроизводительность Q_x , МДж/ч	температура воздуха перед компрессором t_1 , °C	температура окружающей среды, t_{cp} °C	температура среды в холодильной камере, °C
1	100	-5	24	-2
2	150	-4		-4
3	180	0		-4
4	140	-7		-5
5	110	-5		-1
6	100	-7		0
7	160	-4		-2
8	150	-6		-3
9	110	-1		-4
0	100	-5		-2

Задача 3

Выполнить эксергетический анализ теплового насоса. В качестве низкопотенциального источника теплоты использована вода с расчетной температурой $t_{b1} = +5$ °C; Исходные данные принять из таблицы.

№ варианта	Холодильный агент	Требуемая теплопроизводительность на расчетном режиме, кВт	Средняя температура воздуха в помещении, °C	Температуру наружного воздуха (окружающей среды) t_{oc}
1	R152	10	$t_{возд} = 22$	-20
2	R134a	8		-15
3	R600a	5		-10
4	R123	12		-5
5	R152	10		0
6	R142b	8		-5
7	R600a	7		-10
8	R134a	10		-15
9	R600a	5		-20
0	R142b	7		-10

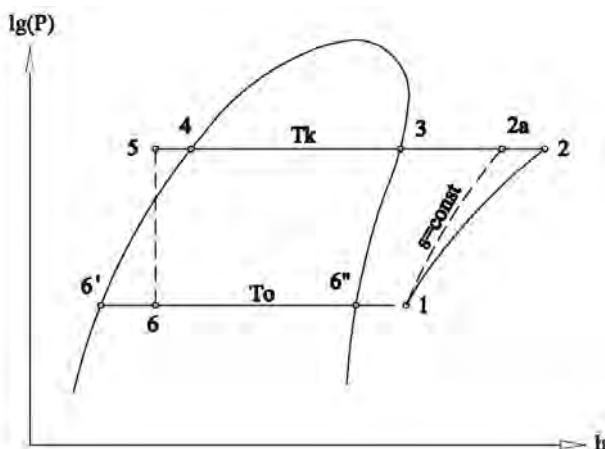


Рис. 2. Цикл теплового насоса к задаче 3

Рекомендации к задаче: принимается, что конструкция конденсатора, ограждений и принятый способ конвективного переноса обеспечивается при разности температур конденсации и воздуха $\Delta T_{возд} = T_k - T_{возд} = 27K$;

Дополнительно принять:

Охлаждение воды в испарителе $\Delta T_v = T_{v1} - T_{v2} = 3K$;

Недорекуперация в испарителе $\Delta T_i = T_{v2} - T_o = 4K$;

Перегрев пара в испарителе $\Delta T_{пп} = T_1 - T_o = 5K$;

Переохлаждение холодильного агента в конденсаторе $\Delta T_{пo} = T_4 - T_5 = 2K$.

12. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Система оценивания по учебной дисциплине по очной и заочной формам обучения*

Форма контроля	Макс. количество баллов	
	За одну работу	Всего
Текущий контроль: - дискуссия, устный опрос, собеседование (по каждой теме дисциплины)	1	5

- реферат (по темам, изучаемым в дисциплине)	10	10
- тестирование (по каждому модулю)	5	20
- разноуровневые задачи и задания (по каждой теме дисциплины)		
Промежуточная аттестация	экзамен	60
Итого за семестр		100

* в соответствии с утвержденными оценочными материалами по учебной дисциплине

Перечень вопросов к экзамену:

1. Какие существуют способы получения низких температур ?
 2. Что такое термодинамическая система? Виды ТС.
 3. В чём проявляется взаимодействие системы с окружающей средой?
 4. Чем определяется тип взаимодействия системы с окружающей средой?
 5. Чем определяется тип термодинамической системы?
 6. Что такое термомеханическая система?
 7. Что такое термоэлектрическая система?
 8. Что такое открытая система?
 9. Что такое обратимые процессы. Примеры.
 10. Что такое необратимые процессы. Примеры.
 11. Уравнение Максвелла.
 12. Какие параметры состояния определяют терромагнитную систему?
 13. Какие основные диаграммы характеризуют терромагнитную систему?
 14. Как выглядит в общем виде уравнение состояния термоэлектрической системы?
 15. Формулировки первого закона термодинамики и его применение.
 16. Формулировки второго закона термодинамики и его применение.
 17. Энтропия. Принципы существования и возрастания энтропии.
 18. Постулат Клаузиуса и его анализ.
 19. Цикл Карно термоэлектрической системы в диаграммах.
 20. Что такое характеристическая функция?
 21. Как характеристическая функция связана с работой системы?
 22. Что такое свободная энергия? Что такое внутренняя энергия?
 23. Элементы, входящие в систему охлаждения.
 24. Характеристика фазовых диаграмм холодильных агентов.
 25. Особенности параметров состояния холодильных агентов при температуре ниже нуля.
 26. Третий закон термодинамики (теорема Нернста-Планка).
 27. Что такое эксергия? Что такое анергия? Какова связь эксергии и анергии?
 28. Закон Гюи-Стодолы и его трактовка. Внутренние и внешние потери эксергии.
 29. Как записывается выражение для эксергии замкнутой термодинамической системы?
 30. Как записывается выражение для эксергии потока теплоты?
 31. Как записывается выражение для эксергии потока вещества?
 32. Диаграмма эксергия-энталпия: назначение, области, изолинии.
 33. Уравнение эксергетического баланса энергопреобразующей установки.
 34. Эксергетический анализ теплообменного аппарата.
 35. Как определить эксергию смеси?
 36. Уравнение эксергетического баланса для низкотемпературной системы?
 37. Алгоритм эксергетического анализа парокомпрессионной холодильной установки.
- Пример.
38. Алгоритм эксергетического анализа пароэжекторной холодильной установки.
- Пример.

39. Алгоритм эксергетического анализа теплового насоса. Пример.
 40. Комбинированные термодинамические методы анализа низкотемпературных установок на основе эксергии.

13. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БАЛЛОВ, КОТОРЫЕ ПОЛУЧАЮТ ОБУЧАЮЩИЕСЯ (для экзамена)

Максимальное количество баллов за текущий контроль и самостоятельную работу									Максимальная сумма баллов		
Смысlovой модуль №1			Смысlovой модуль №2			Смысlovой модуль № 3			Текущий контроль	Экзамен	Все виды учебной деятельности
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9			
4	4	4	4	4	5	5	5	5			
12			13			15			40	60	100

Соответствие государственной шкалы оценивания академической успеваемости

Сумма баллов за все виды учебной деятельности	По государственной шкале	Определение
90 - 100	«Отлично» (5)	отличное выполнение с незначительным количеством неточностей
80 - 89	«Хорошо» (4)	в целом правильно выполненная работа с незначительным количеством ошибок (до 10%)
75 - 79		в целом правильно выполненная работа с незначительным количеством ошибок (до 15%)
70 - 74	«Удовлетворительно» (3)	неплохо, но со значительным количеством недостатков
60 - 69		выполнение удовлетворяет минимальные критерии
35 - 59	«Неудовлетворительно» (2)	с возможностью повторной аттестации
0 - 34		с обязательным повторным изучением дисциплины

14. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

- Карнаух, В. В. Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем : учебное пособие. Для обучающихся по инженерным направлениям подготовки очной и заочной форм обучения, а также для тех, кто интересуется низкотемпературными системами / В. В. Карнаух, П. А. Трубаев, Б. Ю. Байда. – Инфра-Инженерия : ООО "Инфра-Инженерия", 2025. – 108 с. – ISBN 978-5-9729-2336-6. – EDN ESGUTB.

2. Техническая термодинамика [Текст] : учебник / М-во образования и науки Донец. Нар. Респ., Гос. орг. высш. проф. образования «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Донецкий национальный технический университет» ; коллектив авт.: Карнаух В.В., Бирюков А.Б., Ржесик К.А., Лебедев А.Н. – Донецк : ДонНУЭТ, 2020. – 486с. ISBN 978-5-91556-928-6.
3. Теплотехника [Электронный ресурс] : учебник для вузов / А. А. Александров [и др.] ; ред. А. М. Архарова, В. Н. Афанасьева . — 5-е изд. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. — Локал. компьютер сеть НБ ДонНУЭТ.
4. Амирханов, Д. Г. Техническая термодинамика : учебное пособие / Д. Г. Амирханов, Р. Д. Амирханов ; под редакцией Е. И. Шевченко. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. — 264 с. — ISBN 978-5-7882-1664-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/63486.html>
5. Расщепкин, А. Н. Теплообменные аппараты низкотемпературной техники : учебное пособие / А. Н. Расщепкин, В. А. Ермолаев. — Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2012. — 169 с. — ISBN 978-5-89289-729-7. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/14393.html>

Дополнительная литература:

1. Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем : методические рекомендации для самостоятельной работы обучающихся по направлению подготовки 13.04.03 Энергетическое машиностроение : (магистерская программа Холодильные машины и установки), очной и заочной форм обучения / Карнаух В.В., Байда Б.Ю., Коновал А.С. ; Министерство образования и науки Донецкой Народной Республики ; Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского. – Донецк : ДонНУЭТ, 2021. – 30 с.
2. Карнаух, В. В. Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем [Электронный ресурс] : конспект лекций для студентов направления 13.04.03 Энергетическое машиностроение (магистерская программа: Холодильные машины и установки), очной и заочной форм обучения / В. В. Карнаух; М-во образования и науки ДНР, ГО ВПО "Донец. нац. ун-т экономики и торговли им. Михаила Туган-Барановского", Каф. холод. и торг. техники имени Осокина В.В. - Донецк : ДонНУЭТ, 2020. - Локал. компьютер сеть НБ ДонНУЭТ.
3. Карнаух, В. В. Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем [Текст] : метод. указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления подготовки 14.04.03 Энергетическое машиностроение (магистерская программа: Холодильные машины и установки) очной и заочной форм обучения / В. В. Карнаух ; М-во образования и науки ДНР, ГО ВПО "Донец. нац. ун-т экономики и торговли им. Михаила Туган-Барановского", Каф. холод. и торг. техники имени Осокина В. В. - Донецк : ДонНУЭТ, 2020. - 41, [2] с. : рис., табл.
4. Трубаев, П. А. Термодинамический и эксергетический анализ в теплотехнологии : монография / П. А. Трубаев. — Москва : Инфра-Инженерия, 2019. — 228 с. — ISBN 978-5-9729-0279-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/86652.html>
5. Павлова, И. Б. Методы термодинамического анализа эффективности теплоэнергетических установок : учебное пособие по курсу «Термодинамика» / И. Б. Павлова ; под редакцией В. И. Хвесюк. — Москва : Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2011. — 112 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/31077.html>

6. Казаков В.Г., Луканин П.В., Смирнова О.С. Эксергетические методы оценки эффективности теплотехнологических установок: учебное пособие. (Рекомендовано ФГБОУВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ») / СПб ГТУРП. - СПб., 2013.- 93 с.: ил.20. - ISBN 978-5-91646-051-3.

7. Бродянский В.М., Семенов А. М. Термодинамические основы криогенной техники. – М.: Энергия, 1980. – 455с.

8. Карнаух, В. В. Совершенствование процессов охлаждения оборотной воды и использования ее теплоты на предприятиях пищевых производств / В. В. Карнаух, А. Б. Бирюков. – Вологда, Москва : ООО "Инфра-Инженерия", 2025. – 259 с. – ISBN 978-5-9729-2148-5. – EDN RKLWDD.

Электронные ресурсы:

- 1.Дистанционный курс в системе Moodle.
2. Исследование рабочих процессов парокомпрессионных преобразователей энергии : практикум / Д. А. Уланов, В. В. Карнаух, О. В. Тремкина [и др.]. – Самара : Издательство Самарского университета, 2024. – 96 с. – ISBN 978-5-7883-2142-4. – EDN DLBFUT. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=80552158>
3. Лекция на канале RUTUBE «Дистанционное обучение ДонНУЭТ» по теме «О применении критериев TEWI, LCCP и LCC для сравнения энергопреобразующих холодильных систем» ссылка:
<https://rutube.ru/video/b89cdb7a9bdeaf0e9aeb5f44c31553e0/>
4. Лекция на канале YOUTUBE «Дистанционное обучение ДонНУЭТ» по теме холодильные агенты, Режим доступа:
<https://www.youtube.com/watch?v=VC4xrWazdpI&t=114s>
5. Лекция на канале YOUTUBE «Дистанционное обучение ДонНУЭТ» по теме «Фазовые диаграммы реальных газов» Режим доступа:
<https://www.youtube.com/watch?v=ZyZvM5nQknA&t=102s>

15. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ

1.Автоматизированная библиотечная информационная система Unilib UC : версия 2.110 // Научная библиотека Донецкого национального университета экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского. – [Донецк, 2021–]. – Текст : электронный.

2.Электронный каталог Научной библиотеки Донецкого национального университета экономики и торговли им. Михаила Туган-Барановского. – Донецк : НБ ДОННУЭТ, 1999–. – URL:<http://catalog.donnuet.ru>. – Текст : электронный.

3.Автоматизированная интегрированная библиотечная система (АИБС) «МегаПро». – Москва : ООО «Дата Экспресс», 2024–. – Текст : электронный.

4.IPR SMART : весь контент ЭБС Ipr books : цифровой образовательный ресурс / ООО «Ай Пи Эр Медиа». – Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2007 –. – URL:<http://www.iprbookshop.ru>. – Режим доступа: для авторизированных пользователей. – Текст. Аудио. Изображения : электронные.

5.Лань : электронная-библиотечная система. – Санкт-Петербург : Лань, сор. 2011–2024. – URL:<https://e.lanbook.com/> – Режим доступа: для авторизированных пользователей. – Текст : электронный.

6.СЭБ : Консорциум сетевых электронных библиотек / Электронная-библиотечная система «Лань» при поддержке Агентства стратегических инициатив. – Санкт-Петербург : Лань, сор. 2011–2024. – URL:<https://seb.e.lanbook.com/> – Режим доступа : для пользователей организаций – участников, подписчиков ЭБС «Лань». – Текст : электронный.

7.Polpred : электронная библиотечная система : деловые статьи и интернет-сервисы / ООО «Полпред Справочники». – Москва : Полпред Справочники, сор. 1997–2024. – URL:<https://polpred.com>. – Текст : электронный.

8.Book on lime : дистанционное образование : электронная библиотечная система / издательство КДУ МГУ им. М.В. Ломоносова. – Москва : КДУ, сор. 2017 –. – URL:<https://bookonline.ru>. – Текст . Изображение. Устная речь : электронные.

9.Информио : электронный справочник / ООО «РИНФИЦ». – Москва : Издательский дом «Информио», 2009 – . – URL: <https://www.informio.ru>. – Текст : электронный.

10.Университетская библиотека онлайн : электронная библиотечная система. – ООО «Директ-Медиа», 2006– . – URL:<https://biblioclub.ru/> – Режим доступа: для авторизованных пользователей. – Текст : электронный.

11.Научно-информационный библиотечный центр имени академика Л.И. Абалкина / Российский экономический университет имени В.Г. Плеханова. – Москва : KnowledgeTree Inc., 2008– . – URL:<http://liber.rea.ru/login.php>. – Режим доступа: для авторизованных пользователей. – Текст : электронный.

12.Библиотечно-информационный комплекс / Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации. – Москва : Финансовый университет, 2019– . – URL:<http://library.fa.ru/> – Режим доступа: для авторизованных пользователей. – Текст : электронный.

13.Зональная научная библиотека имени Ю.А. Жданова / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2016 – . – URL:<https://library.lib.sfedu.ru/> – Режим доступа: для авторизованных пользователей. – Текст : электронный.

14.Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: информационно-аналитический портал / ООО Научная электронная библиотека. – Москва : ООО Научная электронная библиотека, сор. 2000–2024. – URL:<https://elibrary.ru>. – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей. – Текст : электронный.

15.CYBERLENINKA : Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» / [Е. Кисляк, Д. Семячкин, М. Сергеев ; ООО «Итеос»]. – Москва : КиберЛенинка, 2012 – . – URL:<http://cyberleninka.ru>. – Текст : электронный.

16.Национальная электронная библиотека : НЭБ : федеральная государственная информационная система / Министерство культуры Российской Федерации [и др.]. – Москва : Российская государственная библиотека : ООО ЭЛАР, [2008 –]. – URL:<https://rusneb.ru/> – Текст. Изображение : электронные.

1. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Комплект фазовых диаграмм рабочих тел для низкотемпературной техники.

Модель холодильного прибора.

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1. Учебная аудитория для проведения лекций. 2. Учебная аудитория для проведения лабораторных работ 3. Читальный зал библиотеки № 7306 для проведения самостоятельной работы	1. Учебная мебель, доска, мультимедийный проектор, экран, стенды. 2. Учебная мебель, доска 3. Компьютеры с выходом в сеть Интернет, доступ к электронно-библиотечной системе	Операционная система Microsoft Windows XP Professional OEM (2005 г.); Microsoft Office 2003 Standard Academic от 14.09.2005 г. Adobe Acrobat Reader (бесплатная версия); 360 Total Security (бесплатная версия); АБИС "UniLib" (2003 г.)

2. КАДРОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Фамилия, имя, отчество	Условия привлечения (по основному месту работы, на условиях внутреннего/ внешнего совместительства; на условиях договора гражданско-правового характера (далее – договор ГПХ)	Должность, ученая степень, ученое звание	Уровень образования, наименование специальности, направления подготовки, наименование присвоенной квалификации	Сведения о дополнительном профессиональном образовании*
Карнаух Виктория Викторовна	По основному месту работы	Должность-профессор кафедры холодильной и торговой техники имени В.В. Осокина, доктор технических наук, ученое звание – доцент	Высшее, оборудование перерабатывающих пищевых производств, инженер-механик, диплом доктора технических наук ДОК №005148	<p>1. Сертификат о прохождении очного повышения квалификации по программе «Энергомашиностроение» (объем 36 час.) в институте двигателей и энергетических установок ФГАОУВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П.Королева», г. Самара) с 18 по 29 апреля 2022г.</p> <p>2. Свидетельство о повышении квалификации № 771802829972 от 27.05.2022г. «Работа в электронной информационно-образовательной среде» ФГБОУВО «Российский экономический университет имени Г.В.Плеханова», г. Москва;</p> <p>3. Свидетельство о повышении квалификации № 771802829900 от 27.05.2022г. «Цифровая трансформация управления» ФГБОУВО «Российский экономический университет имени Г.В.Плеханова», г. Москва.</p> <p>4. Удостоверение о повышении квалификации № 612400031805 от 09.06.2023г. «Организационно-методические аспекты разработки и реализации программ высшего образования по направлениям подготовки</p>

				<p>физико-технические науки и технологии» ФГБОУВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону.</p> <p>5. Удостоверение № 612400044003 о повышении квалификации ДГТУ «Научно-технологическое развитие РФ в области АПК и машиностроения» с 17-19.09.2024г. ;</p> <p>6. Удостоверение № 7220324004406 о повышении квалификации Тюменский гос.университет «Методика антикоррупционного просвещения и воспитания в организациях высшего образования;</p> <p>выписка из протокола заседания кафедры № 5 от 14.10.2024 о внедрении результатов в учебный процесс</p> <p>7. Программа профессиональной переподготовки по программе «Промышленная теплоэнергетика» на базе ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», кол-во 260 часов. Диплом №ПП 002266 от 15.01.2025г.</p> <p>8. Удостоверение № 692417488791 от 04.03.2025г. о прохождении дополнительной профессиональной программы «Стартап как диплом: вопросы руководства и подготовки», кол-во часов 36, на базе ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»</p>
--	--	--	--	--