Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Крылова Людмила Вячеславовна
Должность: Проректор по учебно-методической работе
Дата подписания: 15.1[illegible]
Уникальный программный ключ:
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
(подпись)
« 25 » марта 2026 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ Б1.О.06 СПЕЦИАЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМ

(название дисциплины)

Укрупненная группа направлений подготовки 13.00.00 Электро-и теплоэнергетика
Образовательная программа высшего образования – программа магистратуры
Направление подготовки 13.04.03 Энергетическое машиностроение
Магистерская программа: Холодильные машины и установки
Институт пищевых производств
Форма обучения, курс: 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
2026

Рабочая программа дисциплины «Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем» для обучающихся по направлению подготовки/специальности 13.04.03 Энергетическое машиностроение, профилю/магистерской программе Холодильные машины и установки, разработана в соответствии с ОПОП ВО для набора обучающихся 2026 г.

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 "09" февраля 2026 года № 24
Заведующий кафедрой холодильной и торговой техники имени Осокина В.В.

_____ К.А. Ржесик
(подпись) (фамилия и инициалы)

СОГЛАСОВАНО:
Директор института пищевых производств

_____ Д.К. Кулешов
(подпись) (фамилия и инициалы)

«_24_» февраля_ 2026 года

ОДОБРЕНО

Учебно-методическим советом ФГБОУ ВО «ДОННУЭТ»

Протокол от «25» марта 2026 года № 8

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

© Карнаух В.В., 2026 год
© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», 2026 год

1. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

<table>
<tr><td rowspan="2">Наименование показателя</td><td rowspan="2">Наименование укрупненной группы направлений подготовки, направление подготовки, профиль, программа высшего образования</td><td colspan="2">Характеристика дисциплины</td></tr>
<tr><td>очная форма обучения</td><td>заочная/ очно-заочная форма обучения</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Количество зачетных единиц – 3,0</td><td>Укрупненная группа направлений подготовки
13.00.00 Электро-и теплоэнергетика
(код, название)</td><td colspan="2" rowspan="2">обязательная</td></tr>
<tr><td>Направление подготовки
13.04.03 Энергетическое машиностроение
(код, название)</td></tr>
<tr><td>Модулей – 1</td><td rowspan="5">Магистерская программа
Холодильные машины и установки
(название)</td><td colspan="2">Год подготовки</td></tr>
<tr><td>Смысловых модулей – 3</td><td>1 -й</td><td>1 -й</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Общее количество часов – 108</td><td colspan="2">Семестр</td></tr>
<tr><td>1 -й</td><td>1 -й</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лекции</td></tr>
<tr><td rowspan="11">Количество часов в неделю для очной формы обучения: 6,75
аудиторных – 2
самостоятельной работы обучающегося – 2,9</td><td rowspan="11">Программа высшего образования – программа магистратуры</td><td>16 час.</td><td>8 час.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Практические, семинарские занятия</td></tr>
<tr><td>- час.</td><td>- час.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лабораторные занятия</td></tr>
<tr><td>16 час.</td><td>8 час.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Самостоятельная работа</td></tr>
<tr><td>45,8 час</td><td>80,4 час.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Форма промежуточной аттестации:</td></tr>
<tr><td>экзамен</td><td>экзамен</td></tr>
</table>

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 ДИСЦИПЛИНЫ

Цель 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 дисциплины:

получение знаний о методиках анализа различных процессов преобразования энергии;

получение навыков по анализу и расчету термодинамических процессов и циклов низкотемпературных систем.

3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина Б1.О.06 «Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем» относится к обязательной части ОПОП ВО.

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

Знания, полученные при изучении «Специальных глав термодинамики низкотемпературных систем», будут использовании 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 ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

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

Код и наименование компетенции	*Код и наименование индикатора достижения компетенции*
ОПК-2. Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	ИД-1$_{ОПК-2}$ Выбирает необходимый метод исследования для решения поставленной задачи. ИД-2$_{ОПК-2}$ Проводит анализ полученных результатов. ИД-3$_{ОПК-2}$ Представляет результаты выполненной работы.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

знать: способы получения низких температур, свойства веществ в области низких и сверхнизких температур и принципы построения, расчета и подбора низкотемпературных установок;

уметь: самостоятельно разбираться в методиках углубленного термодинамического 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 практической

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

владеть: навыками дискуссии по профессиональной тематике; терминологией в области методов описания низкотемпераутрных 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 ДИСЦИПЛИНЫ

Смысловой модуль 1. Первый закон термодинамики в обобщенной форме

Тема 1. Типы термодинамических систем (ТС): термомеханическая, термоэлектрическая, термомагнитная. 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. Обобщѐнный цикл Карно.

Особенности описания процессов, протекающих в холодильных системах.

Смысловой 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.

Смысловой 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 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]	Пр[4]	СР[5]		л	п	лаб	Пр	СР
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Смысловой модуль 1. Первый закон термодинамики в обобщенной форме												
Типы термодинамических систем: термомеханическая, термоэлектрическая, термомагнитная. Термодинамические процессы.	**8**	2	-	1	-	5	8,5	0,5	-	-	-	8
Уравнение 1-го термодинамики для закрытых и открытых ТС. Применение 1-го закона	**8**	2	-	1	-	5	11,5	0,5	-	2	-	9

термодинамики для открытой ТС при анализе основных процессов, протекающих в хол. системах.												
Теорема Карно. Обобщѐнный цикл Карно. Особенности описания процессов, протекающих в холодильных системах.	**9**	2	-	2	-	5	13	2		2		9
Всего 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
Всего 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 установок на основе эксергии.	**9,8**	2	-	2	**-**	5,8	11,4	1	-	1	-	9,4

Всего 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**	
Итого	**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. Пр – прочие виды работы (ИК, Катт, КЭ, Каттэк)
5. СР – самостоятельная работа;
6. ИК – индивидуальные консультации;
7. Катт – контактная работа на аттестацию в период теоретического обучения;
8. СРэк – самостоятельная работа в период экзаменационных сессий;
9. КЭ – консультации перед экзаменом
10. Каттэк – контактная работа на аттестацию в период экзаменационных сессий.

7. ТЕМЫ СЕМИНАРСКИХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

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

8. ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Название темы	Количество	
		очная форма	заочная форма
Смысловой модуль 1. Первый закон термодинамики в обобщенной форме			
1	Типы термодинамических систем: термомеханическая, термоэлектрическая, термомагнитная. 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. Обобщѐнный цикл Карно. Особенности описания процессов, протекающих в холодильных системах.	2	2
Смысловой 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
Смысловой модуль 3. 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

№ п/п	Название темы	Количество	
		очная форма	заочная форма
Смысловой модуль 1. Первый закон термодинамики в обобщенной форме			
1	Типы термодинамических систем: термомеханическая, термоэлектрическая, термомагнитная. 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. Обобщѐнный цикл Карно. Особенности описания процессов, протекающих в холодильных системах.	5	9
Смысловой 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
Смысловой 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 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;
   - зачѐт проводятся 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;
   - зачѐт проводятся в устной форме.

При необходимости предусматривается увеличение времени для подготовки ответа.

Процедура проведения промежуточной аттестации для обучающихся устанавливается с учѐтом 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. СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Система оценивания по учебной дисциплине, изучаемой в очной форме обучения

Форма контроля	**Макс. количество баллов**	
	За одну работу	**Всего**
Текущий контроль: - дискуссия, устный опрос, собеседование (по каждой теме дисциплины) - реферат (по темам, изучаемым в дисциплине) - тестирование (по каждому модулю) - разноуровневые задачи и задания (по каждой теме дисциплины)	1 10 5	5 10 20
Промежуточная аттестация	экзамен	60
Итого за семестр	100	

* в соответствии с утвержденными оценочными материалами по дисциплине

Система оценивания по учебной дисциплине, изучаемой в заочной форме обучения*

Форма контроля	**Макс. количество баллов**	
	За одну работу	**Всего**
Текущий контроль: - дискуссия, устный опрос, собеседование (по каждой теме дисциплины) - реферат (по темам, изучаемым в дисциплине) - тестирование (по каждому модулю) - разноуровневые задачи и задания (по каждой теме дисциплины)	1 10 5	5 10 20
Промежуточная аттестация	экзамен	60
Итого за семестр	100	

* в соответствии с утвержденными оценочными материалами по дисциплине

Перечень типовых вопросов к экзамену:

1. Какие существуют способы получения низких температур ?
2. Что такое термодинамическая система? Виды ТС.
3. В чѐм 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 термомагнитную систему?
13. Какие основные диаграммы характеризуют термомагнитную 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-энтальпия: 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.

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

<table>
<tr><th colspan="9">Максимальное количество баллов за текущий контроль и самостоятельную работу</th><th colspan="3">Максимальная сумма баллов</th></tr>
<tr><th colspan="3">Смысловой модуль 1</th><th colspan="3">Смысловой модуль 2</th><th colspan="3">Смысловой модуль 3</th><th rowspan="3">Текущий контроль</th><th rowspan="3">Экзамен</th><th rowspan="3">Все виды учебной деятельности</th></tr>
<tr><td>Т1</td><td>Т2</td><td>Т3</td><td>Т4</td><td>Т5</td><td>Т6</td><td>Т7</td><td>Т8</td><td>Т9</td></tr>
<tr><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr>
<tr><td colspan="3">12</td><td colspan="3">13</td><td colspan="3">15</td><td>40</td><td>60</td><td>100</td></tr>
</table>

Государственная шкалы оценивания академической успеваемости

Сумма баллов за все виды учебной деятельности	По государственной шкале
90 - 100	5 «Отлично» / «зачтено»
75 - 89	4 «Хорошо» / «зачтено»
60 - 74	3 «Удовлетворительно» / «зачтено»
менее 60	2 «Неудовлетворительно» / «не зачтено»

13. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. 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", 2026. – 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.

Дополнительная литература:

1. 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
2. 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
3. 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.
4. Бродянский В.М., Семенов А. М. Термодинамические основы криогенной техники. – М.: Энергия, 1980. – 455с.
5. 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", 2026. – 259 с. – ISBN 978-5-9729-2148-5. – EDN RKLWDD.

6. 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

7. 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

Учебно-методические издания:

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. Исследование рабочих процессов парокомпрессионных преобразователей энергии : практикум / Д. А. Угланов, 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

5. Лекция на канале RUTUBE «Дистанционное обучение ДонНУЭТ» по теме «Фазовые диаграммы реальных газов — как инструмент инженерных расчетов», ссылка https://rutube.ru/video/a97ce914dc18c563f4c3f0ecd29c7fbe/

6. 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/

7. Лекция на канале RUTUBE «Дистанционное обучение ДонНУЭТ» по теме «Об использовании программного продукта REFPROP для инженерных расчетов», ссылка https://rutube.ru/video/f816ac29086c9dcc3a928c4bcfcdf207/

8. Лекция на канале RUTUBE «Дистанционное обучение ДонНУЭТ» по теме «О применении симуляционной программы DWSIM для решения задач термодинамики. Часть 1», ссылка https://rutube.ru/video/14ffec635ba7c32c84ceeb960dd392bc/.

9. Лекция на канале RUTUBE «Дистанционное обучение ДонНУЭТ» по теме «I-d Диаграмма состояния влажного воздуха: структура и область применения», ссылка https://rutube.ru/video/5c23476b49a66a0e13bb00ede28c9946/

14. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ

7. 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.

8. 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.

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

10. 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.

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

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

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

14. Book on lime : дистанционное образование : электронная библиотечная система / издательство КДУ МГУ им. М.В. Ломоносова. – Москва : КДУ, cop. 2017 –. – URL:https://bookonlime.ru. – Текст . Изображение. Устная речь : электронные.

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

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

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

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

19. 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 авторизированных пользователей. – Текст : электронный.

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

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

22. 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.

15. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Учебная аудитория для проведения лекций.
2. Учебная аудитория для проведения лабораторных занятий
3. Читальный зал библиотеки № 7304 для проведения СРС
4. Компьютеры с выходом в сеть Интернет, доступ к электронно-библиотечной системе

Комплект фазовых диаграмм рабочих тел для низкотемпературной техники.
Модель холодильного прибора.
Модель парокомпрессионного теплового насоса типа «воздух-вода»

16. КАДРОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

ФИО педагогического работника, участвующего в реализации образовательной программы	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 и пищевых производств, инженер-механик, диплом доктора технических наук ДОК №005148	1. Удостоверение о повышении квалификации № 612400031805 от 09.06.2023г. «Организационно-методические аспекты разработки и реализации программ высшего образования по направлениям подготовки физико-технические науки и технологии», 36 ч. ФГБОУВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону. 2. Удостоверение № 612400044003 о повышении квалификации ДГТУ «Научно-технологическое развитие РФ в области АПК и машиностроения» с 17-19.09.2024г. ; 3. Удостоверение № 7220324004406 о повышении квалификации Тюменский гос.университет «Методика антикоррупционного

				просвещения и воспитания в организациях высшего образования», 18 часов, г. Тюмень; 4.Диплом № ПП 002266 от 15.01.2026г. программа профессиональной переподготовки по программе «Промышленная теплоэнергетика» на базе ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», кол-во 260 часов, г. Йошкар Ола. 5.Удостоверение № 692417488791 от 04.03.2026г. о прохождении дополнительной профессиональной программы «Стартап как диплом: вопросы руководства и подготовки», кол-во часов 36, на базе ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г.Тверь. 6. Удостоверение о повышении квалификации №770400862745 от 30 декабря 2025г. «Профессиональный английский для сотрудников и менеджеров предприятий», 108 час. ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва. 7.Удостоверение о повышении квалификации №1815 от 17 февраля 2026г. «Статистика, эконометрическое модели-рование и системный анализ», 72 часа, частное учреждение доп.проф. образования «Институт повышения квалификации ПРОФИТ» (г. Ярославль)

АННОТАЦИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.О.06 СПЕЦИАЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМ

(шифр и наименование дисциплины)

Направление подготовки 13.04.03 Энергетическое машиностроение
(код и наименование направления подготовки)

Профиль Холодильные машины и установки
(наименование профиля/)

Трудоемкость дисциплины: 3 з.е.

Планируемые результаты обучения по дисциплине:

знать: способы получения низких температур, свойства веществ в области низких и сверхнизких температур и принципы построения, расчета и подбора низкотемпературных установок;

уметь: самостоятельно разбираться в методиках углубленного термодинамического 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 практической реализации; применять законы термодинамики для анализа термодинамических процессов и циклов; применять характеристические функции и их свойства для анализа термодинамических процессов и свойств термодинамических низкотемпераутрных систем; применять уравнение эксергетического баланса для анализа эффективности работы низкотемпературных установок.

владеть: навыками дискуссии по профессиональной тематике; терминологией в области методов описания низкотемпераутрных 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.

Компетенции выпускников и индикаторы их достижения

Код и наименование компетенции	*Код и наименование индикатора достижения компетенции*
ОПК-2. Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	ИД-1$_{ОПК-2}$ Выбирает необходимый метод исследования для решения поставленной задачи. ИД-2$_{ОПК-2}$ Проводит анализ полученных результатов. ИД-3$_{ОПК-2}$ Представляет результаты выполненной работы.

Смысловые модули и темы дисциплины:

Смысловой модуль 1. Первый закон термодинамики в обобщенной форме

Тема 1. Типы термодинамических систем (ТС): термомеханическая, термоэлектрическая, термомагнитная. 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.

Смысловой 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.

Смысловой 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.

Форма промежуточной аттестации: экзамен

Разработчик

Карнаух Виктория Викторовна, д-р.техн.наук, доцент
(ФИО, ученая степень, ученое звание научно-педагогического работника) *(подпись)*

Заведующий кафедрой

Ржесик Константин Адольфович, д-р.экон.наук, доцент
(ФИО, ученая степень, ученое звание заведующего кафедрой) *(подпись)*

КАФЕДРА ХОЛОДИЛЬНОЙ И ТОРГОВОЙ ТЕХНИКИ ИМЕНИ ОСОКИНА В.В.