

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «МГТУ»)

Кафедра технологического и
холодильного оборудования

**Методические указания
к самостоятельной работе обучающихся**

По дисциплине: Б1.Б.16 Теоретические основы холодильной техники
код и наименование дисциплины

Направление подготовки/специальность 16.03.03 Холодильная, криогенная техника и
системы жизнеобеспечения
код направления/специальности

Направленность/специализация Холодильная техника и технология
наименование направленности (профиля) /специализации образовательной программы

Квалификация выпускника бакалавр
указывается квалификация (степень) выпускника в соответствии с ФГОС ВО

Кафедра-разработчик: кафедра технологического и холодильного оборудования
название кафедры-разработчика рабочей программы

Мурманск

2020

Разработчик – Голубева Ольга Алексеевна, кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры ТХО.

МУ к СР рассмотрены и одобрены на заседании кафедры - разработчика
технологического и холодильного оборудования «23» июня 2020 г., протокол
№ 8

СОДЕРЖАНИЕ

I ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	4
II ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН	5
III СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	5
IV СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ	6

І ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Целью дисциплины «Теоретические основы холодильной техники» является формирование компетенций в соответствии с ФГОС по направлению подготовки бакалавра и учебным планом для направления подготовки 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»

Задачи дисциплины:

- формирование у студентов методологического подхода к оценке теоретических основ получения низких температур, позволяющего успешно проектировать и эксплуатировать холодильную технику;
- выработка навыков решения инженерных задач, в том числе в рамках самостоятельной работы.

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- физические принципы получения низких температур;
- виды холодильных агентов, их обозначения и области применения

Уметь:

- проводить термодинамический анализ низкотемпературных процессов;
- выполнять инженерные расчёты низкотемпературных процессов;
- анализировать, обобщать и делать выводы по полученным результатам;

Владеть: терминологией, определениями и положениями изучаемой дисциплины.

Методические указания предназначены для оказания помощи обучающимся в самостоятельном постижении программы дисциплины. Для успешного освоения материала следует изучить теоретический материал по литературным источникам, указанным в каждой теме. Подтвердить полученные знания следует практическими расчётами.

II ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Таблица 1

№ п/п	Содержание разделов (модулей), тем дисциплины	Количество часов, выделяемых на самостоятельную работу по формам обучения	
		очная	заочная
1	2	3	4
1	Значение холода для развития экономики страны. Области применения холода	8	12
2	Термодинамические основы искусственного охлаждения. Физические принципы получения низких температур	12	17
3	Холодильные машины и установки. Принцип действия холодильной машины.	10	17
4	Основы рабочих процессов холодильных машин. Обратный цикл Карно. Виды обратных циклов, их характеристики	12	18
5	Рабочие вещества и хладоносители холодильных машин, установок и систем кондиционирования воздуха. Их обозначение, свойства и области применения. Экологические аспекты использования холодильных агентов	20	25
6	Тепловые диаграммы, применяемые для расчёта низкотемпературной техники	14	20
7	Термодинамические циклы одноступенчатых парокомпрессионных холодильных машин и их характеристики.	20	25
Итого		96	134

III СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

Основная литература

1. Балыкова Л. И. Кондиционирование воздуха. Компрессорные машины. Курсовое проектирование : учеб. пособие для высш. и сред. проф. учеб. заведений / Л. И. Балыкова, И. П. Сарайкина. - Москва : Вектор-ТиС, 2008. - 240 с.(51 экз.)
2. Бараненко, А. В. Практикум по холодильным установкам / А. В. Бараненко, В. С. Калюнов, Ю. Д. Румянцев. - 2-е изд., испр. и доп. - Санкт-Петербург : Профессия, 2012. - 303 с. : ил. (14 экз.)
3. Комаров Г. А. Лабораторный практикум по тепло- и хладотехнике : учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению 552400 "Технология продуктов общественного питания" и специальностям 271000" Технология рыбы и рыбных продуктов", 170600 "Машины и аппараты пищевых производств", 271300 "Пищевая инженерия малых предприятий", 070200 "Техника и физика низких температур" / Г. А. Комаров, О. А. Голубев;

М-во образования и науки Рос. Федерации, ФГБОУ ВО "Мурман. гос. техн. ун-т". - Мурманск : МГТУ, 2001, 2018. - 139 с. (184экз.)

4. Сластихин Ю. Н. Техническая эксплуатация судовых холодильных установок : учеб. для вузов по специальности "Эксплуатация судовых энергетических установок" и по направлениям уровня бакалавриата и магистратуры "Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения" / Ю. Н. Сластихин, А. И. Ейдеюс, Э. Е. Елисеев; под общ. ред. Ю. Н. Сластихин. - Москва : МОРКНИГА, 2014. – 508 с. (80 экз.)

5. Степанов О.А., Захаренко С.О. Основы трансформации теплоты: учебник / О.А. Степанов, С.О. Захаренко. – Санкт-Петербург, Лань, 2019. – 128 с. <https://e.lanbook.com/reader/book/122152/#2>

6. Технологические машины и оборудование [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. 151000.62 "Технологические машины и оборудование" профиль "Пищевая инженерия малых предприятий" / В. А. Похольченко [и др.]; Федер. агентство по рыболовству, Мурман. гос. техн. ун-т. - Электрон. текстовые дан. (1 файл : 23 Мб). - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2014. - Доступ из локальной сети Мурман. гос. техн. ун-та. - Загл. с экрана. - Имеется печ. аналог 2014 г.

Дополнительная литература

7. Бредихин С. А. Технологическое оборудование рыбоперерабатывающих производств : учеб. пособие [для бакалавров] / С. А. Бредихин, И. Н. Ким, Т. И. Ткаченко. - Москва : МОРКНИГА, 2013. - 736 с. (90 экз.)

8. Колиев И. Д. Судовые холодильные установки : учеб. пособие для вузов / И. Д. Колиев; М-во образования и науки Украины, Одес. нац. мор. акад. - Одесса : Фенікс, 2009. - 261 с. (3 экз.)

9. Судовой механик : справочник. В 3 т. Т. 2 / [Фока А. А. и др.] ; под ред. А. А. Фока ; Трансп. акад. Украины. - Одесса : Фенікс, 2010. - 1028 с. (3 экз.)

10. Цирельман Н.М. Техническая термодинамика: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2018. – 352 с. <https://e.lanbook.com/reader/book/107965/#2>

IV СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕМА 1

Значение холода для развития экономики страны. Области применения холода

Целевая установка

При изучении этой темы обучающийся должен:

знать основные области применения холода, современный уровень и основные направления развития низкотемпературной техники;

уметь проанализировать современное состояние вопроса по определённой области применения холода или виду низкотемпературной техники

Методические указания

Ни одна область техники не может обойтись без холода, практически любое производство на определенном этапе требует поддержания температурного уровня ниже нуля. Вопросы теплообмена и теплового баланса холодильных камер, трюмов и скороморозильных аппаратов стоят не на последнем месте при производстве пищевой продукции и требуют большого внимания. Применение холода обеспечивает сохранение качества сырья и готовых продуктов. Незнание основных закономерностей получения низких температур может привести к неверному подбору холодильного оборудования, нарушению режимов хранения продукции и, как следствие, свести на нет результат работы нескольких производств, множества людей. В пищевой промышленности холодильные машины и установки используются для непосредственного получения холода, например, в скороморозильных аппаратах, а также для тепло-влажностной обработки воздуха в кондиционерах.

При рассмотрении направлений развития хладотехники следует обратить внимание на способы повышения эффективности промышленного использования холода, снижения затрат на его производство, применение вторичных энергоресурсов для получения низких температур.

Литература: [1], с.113; [2], с.89-90; [7], с.130-132

Вопросы и задачи для самопроверки

1. Перечислите известные Вам области применения холода.
2. Для каких целей применяется холод в пищевой промышленности?
3. Каковы основные направления совершенствования холодильных процессов и оборудования?

ТЕМА 2

Термодинамические основы искусственного охлаждения. Физические принципы получения низких температур

Литература: [5], с.5-8; [7], с.345-351; [8], с.41-56.

Целевая установка

При изучении данной темы студент должен:

знать термодинамические основы процессов получения низких температур и устройства для их осуществления;

уметь определять границы применения физических принципов получения низких температур

Методические указания

На изучение данной темы необходимо обратить особое внимание, поскольку она является основополагающей для понимания физической сущности процессов получения холода.

«Холод» - понятие условное. Холодом принято считать теплоту, температурный уровень которой ниже температуры окружающей среды

Физическая природа тепла и холода одинакова, разница состоит только в скорости движения молекул и атомов. Когда тепло отводится, движение молекул замедляется и тело охлаждается. Если тепло подводится, движение молекул ускоряется и тело нагревается, т.е. причина тепла и холода — движение молекул, из которых состоит любое физическое тело.

Охлаждение — это процесс отвода тепла или отдачи работы, сопровождающийся понижением температуры. Охлаждение осуществляется с участием не менее двух тел: охлаждаемого и охлаждающего. Количество тепла, которое может поглотить охлаждающее тело, определяет его охлаждающий эффект или холодопроизводительность.

Естественное охлаждение осуществляется теплообменом с окружающей средой, искусственное — холодильной машиной.

Колебания температуры в природных условиях создают возможность сохранения при аккумуляции естественного холода. Наиболее распространенное тело, сохраняющее естественный холод, — водный лед.

Из физических принципов получения низких температур особое внимание следует обратить на дросселирование и расширение с совершением внешней работы, как на часто применяемые. Физическая сущность дросселирования состоит в том, что изменение температуры после сужения в канале обуславливается, во-первых, работой, связанной с разностью объемных энергий потока до и после расширения, и, во-вторых, работой против внутренних сил притяжения отдельных молекул движущей среды. Дросселирование используют в паровых, а расширение с получением внешней работы - в газовых холодильных машинах.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение понятия «холод».
2. Что называется искусственным охлаждением?
3. На какие группы подразделяются процессы искусственного охлаждения?
4. Сформулируйте первый закон термодинамики.
5. Перечислите физические принципы получения низких температур.
6. В чём суть принципа вихревого эффекта?
7. Изобразите схему и опишите принцип работы установки для искусственного охлаждения с использованием принципа термоэлектрического эффекта.

8. Какие фазовые превращения вещества могут быть использованы для процесса охлаждения?

9. Какой принцип получения низких температур реализует поршневой детандер?

10. К какой группе физических принципов получения низких температур можно отнести растворение соли в воде?

ТЕМА 3

Холодильные машины и установки. Принцип действия холодильной машины.

Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:

знать принцип действия холодильной машины и классификацию холодильных машин и установок, теоретические процессы, протекающие в холодильной машине;

уметь классифицировать холодильные машины при решении конкретных инженерных задач

Методические указания

При изучении данной темы следует учитывать, что холодильные установки применяются при большой холодопроизводительности, чем холодильные машины. Тип холодильной машины или холодильной установки зависит от условий промышленного производства и эксплуатации. Конструктивно холодильная установка всегда более сложная, чем холодильная машина. Для работы холодильной машины необходимо и достаточно наличие ИНТ, ИВТ и рабочего вещества.

К ИНТ можно отнести охлаждаемый продукт или вещество в технологическом процессе, воздух в охлаждаемой камере, промежуточный тепло- и хладоноситель. Температура ИНТ при отводе от него теплоты может быть постоянной или переменной. К ИВТ относятся нагреваемое тело или промежуточный теплоноситель, окружающая среда и т.д. Температура ИВТ также может быть постоянной (например, окружающая среда) или переменной (например, нагреваемая вода). Рабочее вещество непосредственно осуществляет термодинамический цикл, изменяя или не изменяя фазовое состояние.

Зависимость холодопроизводительности компрессора и потребляемой мощности от температурного режима называют характеристикой холодильной машины. Каждой холодильной машине свойственна определенная характеристика, которая учитывает особенности конструкции, термодинамического цикла, осуществляемого в машине, и свойства рабочего вещества.

Литература: [5], с.5-8; [7], с.345-351; [8], с.41-56.

Вопросы и задачи для самопроверки

1. Начертите схему холодильной машины и расскажите, как работает машина.
2. Для чего служит компрессор, конденсатор, дроссельный вентиль, испаритель?
3. Что называется, удельной объёмной и массовой холодопроизводительностью?
4. От чего зависит удельная объёмная холодопроизводительность и как она изменяется при изменении условий работы?
5. От чего зависят температуры конденсации и кипения?
6. Дайте определение процессов кипения, испарения, парообразования и конденсации.
7. Какой пар называется сухим насыщенным, влажным насыщенным, перегретым?
8. Как изменяется теплота парообразования при изменении давления?
9. Какие параметры характеризуют состояние влажного, сухого и перегретого пара?
10. Что называется холодильной установкой?

ТЕМА 4

Основы рабочих процессов холодильных машин. Обратный цикл Карно. Виды обратных циклов, их характеристики

Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:

знать теоретические процессы, протекающие в обратных циклах; виды обратных циклов; параметры характеризующие обратные циклы и позволяющие определить их эффективность;

уметь оценивать эффективность обратных циклов

Методические указания

В соответствии со вторым законом термодинамики непрерывное искусственное охлаждение не может происходить без затраты энергии. Совокупность процессов, которые при этом осуществляет рабочее тело, называется обратным круговым процессом или обратным термодинамическим циклом. В прямом круговом процессе, или прямом термодинамическом цикле, тепло переносится от горячего тела к холодному (окружающей среде); при этом совершается работа. В обратном цикле тепло переносится от холодного тела к нагретому (окружающей среде); при этом затрачивается работа. Обратный цикл,

в котором тепло от охлаждаемой среды передается окружающей среде (воде или воздуху), называется холодильным циклом.

Наиболее совершенный в термодинамическом отношении обратный цикл Карно осуществляется с минимальной затратой работы.

Эффективность холодильного цикла оценивается холодильным коэффициентом ϵ . Холодильным коэффициентом называется отношение количества тепла, отведенного от охлаждаемого источника, к затраченной работе.

Литература: [5], с.5-8; [7], с.345-351; [8], с.41-56.

Вопросы и задачи для самопроверки

1. Что называется, замкнутым процессом или циклом?
2. Какое минимальное число процессов составляет цикл?
3. В чем состоит назначение цикла Карно?
4. Из каких процессов состоит цикл Карно?
5. Какие виды цикла Карно существуют?
6. Какой параметр оценивает эффективность цикла Карно?
7. Изобразите цикл Карно в диаграммах v - P и s - T .
8. Какие виды обратных циклов Вам известны?
9. Какие параметры характеризуют эффективность различных обратных циклов?
10. Изобразите обратные циклы в диаграмме s - T .

ТЕМА 5

Рабочие вещества и хладоносители холодильных машин, установок и систем кондиционирования воздуха. Их обозначение, свойства, область применения

Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:

знать обозначения и свойства часто применяемых холодильных агентов и хладоносителей; влияние холодильных агентов и хладоносителей на человека и окружающую среду; области применения групп хладагентов и хладоносителей;

уметь по условному обозначению написать название холодильного агента; проанализировать влияние свойств холодильного агента и хладоносителя на показатели и характеристики холодильной машины; на основании выполненного анализа подобрать хладагент и хладоноситель для заданных условий

Методические указания

В качестве холодильных агентов используются как неорганические (аммиак, вода, углекислота), так и органические (хладоны) вещества. Следует помнить, что «фреон» - торговая марка, принадлежащая американской фирме «Дюпон». В России вместо термина «фреон» используют термин «хладон».

Хладоны - фторхлорпроизводные предельных углеводородов: метана, этана, пропана, бутана. Фтор, хлор и бром содержатся во хладагонах в различных соотношениях. При изучении этой темы следует обратить внимание на тенденции замены экологически опасных холодильных агентов на более современные и безопасные. Например, широко применявшийся ранее R12 сегодня заменяется на R134a. Большинство рабочих веществ, потенциально возможных для использования в холодильной технике сочетают как положительные, так и отрицательные свойства. При выборе хладагента необходимо проанализировать совокупность всех качеств и факторов, характеризующих как работу холодильной машины, так и конструктивные особенности ее отдельных элементов.

Правильно выбранный холодильный агент обеспечивает экономичность, надежность и безопасность эксплуатации холодильных машин и установок.

Хладоноситель — это промежуточное вещество, предназначенное для отвода тепла от охлаждаемых объектов и передачи его хладагенту. Такая передача тепла обычно происходит на некотором расстоянии от охлаждаемого объекта. Хладоносители подразделяются на жидкие и газообразные. К жидким относятся вода, рассолы (водные растворы солей), растворы этиленгликоля, глицерин и др. Газообразными теплоносителями являются воздух и другие газы.

К хладоносителям предъявляются следующие требования: низкая температура замерзания и незначительная вязкость при низких температурах; достаточно высокая теплоемкость; дешевизна, безвредность, негорючесть, нейтральность к конструкционным материалам; стабильность свойств.

Наиболее доступные хладоносители: воздух, вода и водные растворы солей.

Литература: [3], с.75-92; [4], с. 201-247; [5], с. 10-19; [8], с.22-34; [9], с.423-427; [10], с.247-248.

Вопросы и задачи для самопроверки

1. Перечислите требования, предъявляемые к холодильным агентам.
2. На какие группы по экологической безопасности делятся холодильные агенты?
3. Какое сырьё используют для производства холодильных агентов
4. Привести характеристики аммиака, R-134a, R-.407c
5. Какие материалы разрушает аммиак?
6. Опишите меры оказания первой помощи при отравлении аммиаком?

7. В чём хранят холодильные агенты?
8. Чем обусловлен переход от однокомпонентных холодильных агентов на многокомпонентные?
9. Объясните принципы обозначения холодильных агентов этанового ряда
10. Какие хладоносители чаще используются в промышленных холодильных установках?

ТЕМА 6

Тепловые диаграммы, применяемые для расчёта низкотемпературной техники

Целевая установка

При изучении этой темы обучающийся должен:

знать виды тепловых диаграмм, принципы их построения, области применения;

уметь изобразить циклы холодильных машин в тепловых диаграммах; перевести цикл холодильной машины из одной тепловой диаграммы в другую

Методические указания

В теории низкотемпературных процессов наибольшее применение нашла диаграмма i -lg P . Сетку диаграммы составляют горизонтальные линии — изобары и вертикальные линии — изоэнтальпы. Для более отчетливого изображения тепловых процессов обычно по оси ординат применяют логарифмический масштаб (lg P). На диаграмме нанесены линии постоянных параметров t , s , x , v . Преимуществом диаграммы i -lg P является то, что теплота и работа в этой диаграмме изображаются не площадями, а отрезками по оси абсцисс. Так, удельная теплота парообразования, подведенная в процессе парообразования (изотермическом процессе) равна разности удельных энтальпий конца и начала процесса.

Литература: [4], с.9 - 11; [6], с.33 - 35; [8], с.41-56.

Вопросы и задачи для самопроверки

1. Перечислите известные Вам тепловые диаграммы. Назовите их свойства.
2. Как называется линия на диаграмме, характеризующая постоянное давление?
3. Что характеризует на диаграмме критическая точка?
4. Какие области на диаграмме выделяет пограничная кривая?

5. Где на диаграмме располагаются точки, характеризующие состояния насыщенной жидкости и сухого насыщенного пара?
6. В чём преимущество диаграммы $i\text{-lg } P$ перед другими диаграммами.
7. Как определить удельную теплоту конденсации по диаграмме $i\text{-lg } P$?
8. Как определить удельную работу сжатия компрессора по диаграмме $i\text{-lg } P$?
9. Можно ли по диаграмме $i\text{-lg } P$ определить работу цикла холодильной машины?
10. Как называется линия на диаграмме, характеризующая постоянное давление?

ТЕМА 7

Термодинамические циклы одноступенчатых парокомпрессионных холодильных машин и их характеристики

Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:

знать классификацию, принципы действия и особенности одноступенчатых ПКХМ, области их применения, условия использования на всасывании и при сжатии различных состояний пара холодильного агента;

уметь по исходным данным построить цикл холодильной машины в $i\text{-lg } P$ и $S\text{-}T$ диаграммах, определить основные параметры точек и характеристик цикла.

Методические указания

Следует иметь в виду, что парокомпрессионные холодильные машины нашли наибольшее распространение при производстве холода. В пищевой промышленности, например, требуемые температурные режимы чаще всего позволяют использовать одноступенчатые ПКХМ.

Холодильная машина с детандером позволяет осуществлять термодинамический цикл практически идентичный обратному циклу Карно. Однако, поршневые детандеры достаточно громоздки, поршень совершает возвратно-поступательное движение с трением и требует частого ремонта, поэтому в большинстве холодильных машин вместо детандера используют дроссельный вентиль. Использование дросселя увеличивает необратимые потери в термодинамическом цикле, но он более надежен и прост в эксплуатации.

Обучающийся должен знать, что всасывание в компрессор перегретого пара обеспечивает защиту от влажного хода компрессора и может увеличить удельную массовую холодопроизводительность холодильной машины. Использование регенеративного теплообменника на хладонах позволяет повысить экономичность и эффективность холодильного цикла.

Литература: [1], с.116-125; [3], с.94-104; [8], с.41-48; [10], с.254-260

Вопросы и задачи для самопроверки

1. Из каких основных термодинамических процессов состоит цикл работы одноступенчатой ПКХМ с дроссельным вентилем?
2. Что такое холодильный коэффициент? Что он оценивает?
3. Как определить по диаграмме $i - \lg P$ удельную массовую холодопроизводительность?
4. Как определить по диаграмме $i - \lg P$ удельную теоретическую работу сжатия компрессора?
5. Каково назначение испарителей?
6. Каково назначение и принцип действия конденсаторов?
7. Для чего необходимо переохлаждение холодильного агента в конденсаторе?
8. Опишите, как работает конденсатор.
9. Изобразите в диаграмме $i - \lg P$ процессы, происходящие в испарителе.
10. Процесс фазового превращения холодильного агента построен в диаграмме $i - \lg P$ в области влажного пара. Можно ли определить давление вещества, если известна его температура?