

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.В.10 Холодильные машины  
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	6
IV СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ	8

## І ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Целью дисциплины «Холодильные машины» 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 принципа действия и основам конструкций холодильных машин, позволяющего успешно их проектировать и эксплуатировать;
- выработка навыков решения инженерных задач, в том числе в рамках самостоятельной работы.

В результате изучения дисциплины студент должен:

*Знать:*

- принцип действия холодильной машины;
- основные виды, особенности конструкций холодильных машин;
- тепловые диаграммы.

*Уметь:*

- проводить термодинамический анализ основных процессов холодильных машин;
- разрабатывать технологические процессы холодильных машин с обеспечением высокого уровня энергосбережения;
- выполнять инженерные расчёты холодильных машин;
- анализировать, обобщать и делать выводы по результатам исследований;
- проводить измерения и наблюдения, составлять описания проводимых исследований, готовить данные для составления отчётов и научных публикаций;
- внедрять результаты исследований в практику производственного процесса;
- применять достижения новых технологий

*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
6 семестр			
1	Рабочие вещества холодильных машин. Их обозначение, свойства, область применения	7	8
2	Понятие холодильной машины. Принцип действия холодильной машины. Классификация холодильных машин	2	5
3	<b>Одноступенчатое сжатие в паровых компрессорных холодильных машинах ПКХМ.</b> Теоретические и действительные циклы и принципиальные схемы одноступенчатых ПКХМ	13	16
4	<b>Двухступенчатое сжатие в ПКХМ.</b> Причины перехода к многоступенчатому сжатию. Теоретические и действительные циклы и принципиальные схемы двухступенчатых ПКХМ	15	19
5	<b>Трёхступенчатое сжатие в ПКХМ</b>	11	17
6	<b>Газовые холодильные машины.</b> Их теоретические и действительные циклы. Особенности работы газовых холодильных машин на влажном воздухе. Газовые холодильные машины с детандерами и с вихревыми трубами	13	18
7	<b>Пароэжекторные холодильные машины (ПЭХМ).</b> Простейшая ПЭХМ. Действительные рабочие циклы пароэжекторных холодильных машин. Изменение давления в эжекторе. Оценка эффективности ПЭХМ	18	18
8	<b>Абсорбционные холодильные машины.(АБХМ).</b> Простейшая АБХМ. Диаграмма $\zeta$ – P. Действительные циклы АБХМ с раздельным и совмещённым тепло и массообменом. Оценка эффективности АБХМ. Тепло- и массообменные аппараты АБХМ	15	18
Итого		96	119

## Продолжение таблицы 1 - II ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

1	2	3	4
7 семестр			
9	Термо- газодинамические основы процессов в холодильных компрессорах и расширительных машинах. Уравнения импульсов, энергии, состояния, расхода, моментов количества движения	8	11
10	<b>Компрессоры объёмного принципа действия.</b> Поршневые компрессоры. Их классификация. Отличие действительного компрессора от теоретического. Действительные характеристики поршневого компрессора. Определение основных размеров, конструктивных и режимных параметров поршневого компрессора. Винтовые компрессоры. Их классификация. Особенности работы. Расчет винтов компрессора. Объёмные и энергетические характеристики холодильных винтовых компрессоров. Факторы, влияющие на характеристики винтовых компрессоров. Спиральные компрессоры. Их классификация, принцип работы. Выбор и расчет рабочих спиралей. Расчет рабочих процессов спирального компрессора. Ротационные компрессоры. Их классификация, принцип работы. Выбор и расчет конструктивных размеров ротационных компрессоров. Определение их производительности	18	29
11	<b>Компрессоры динамического принципа действия.</b> Центробежные компрессоры. Их классификация. Безразмерные параметры центробежного компрессора. Внутренняя мощность ступени. Коэффициент реактивности. Определение размеров рабочего колеса компрессора. Определение основных размеров, конструктивных и режимных параметров центробежного компрессора. Циклы холодильных машин с применением центробежных компрессоров. Осевые и турбокомпрессоры. Особенности работы и проектирования	10	29
12	<b>Тепло и массообменные аппараты холодильных машин.</b> Тепловые и конструктивные расчеты вспомогательного оборудования паровых компрессионных и парэжекторных холодильных машин. Особенности конструкций и обслуживания	10	20
13	<b>Охладители воды</b> Способы отвода теплоты к окружающей среде. Типы охладителей воды. Их тепловой расчет	10	12
14	<b>Подбор холодильного оборудования.</b> Проектирование машинных отделений и технологических трубопроводов.	10	18
Итого		66	119
Всего		162	238

## III СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

## 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. Дейнего Ю. Г. Эксплуатация судовых энергетических установок, механизмов и систем : практ. советы и рекомендации : учеб. для вузов / Ю. Г. Дейнего. - Москва : Моркнига, 2011. - 337 с (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. (184 экз.)

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 : 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, ФГБОУ ВПО "Мурман. гос. техн. ун-т". - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2014. - 166 с. (52 экз.)

7. 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**

8. 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.)

9. 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.)

10. 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.)

11. 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

Рабочие вещества холодильных машин. Их обозначение, свойства, область применения

#### Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:

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

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

#### Методические указания

В качестве холодильных агентов используются как неорганические (аммиак, вода, уголекислота), так и органические (фреоны) вещества. Фреоны - фторхлорпроизводные предельных углеводородов: метана, этана, пропана, бутана. Фтор, хлор и бром содержатся во фреонах в различных соотношениях. Следует помнить, что «фреон» - торговая марка, принадлежащая американской фирме «Дюпон». В России вместо термина «фреон» используют термин «хладон».

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.

Литература: [3], с.75-92; [4], с. 201-247; [5], с. 10-19; [9], с.22-34; [10], с.423-427; [11], 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 2

Понятие холодильной машины. Принцип действия холодильной машины.  
Классификация холодильных машин

### Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:

**знать** принцип действия холодильной машины и классификацию холодильных машин;

**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.

Литература: [5], с.5-8; [8], с.345-351; [9], 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?

## ТЕМА 3

### Одноступенчатое сжатие в паровых компрессорных холодильных машинах ПКХМ.

Теоретические и действительные циклы и принципиальные схемы одноступенчатых ПКХМ

#### 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  $i - \lg P$  и  $S - T$  диаграммах, определить основные параметры точек и характеристик цикла.

#### Методические указания

Следует иметь в виду, что пароконденционные 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 хладагонах позволяет повысить экономичность и эффективность холодильного цикла.

Литература: [1], с.116-125; [3], с.94-104; [9], с.41-48; [11], 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?

### ТЕМА 4

**Двухступенчатое сжатие в ПКХМ.** Причины перехода к многоступенчатому сжатию. Теоретические и действительные циклы и принципиальные схемы двухступенчатых ПКХМ

## Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:

**знать** причины перехода к многоступенчатому сжатию, принципы и особенности двухступенчатых холодильных машин; отличительные особенности действительных циклов этих машин от теоретических; различие полного и неполного промежуточного охлаждения, однократного и двукратного дросселирования; области применения двухступенчатых холодильных машин;

**уметь** определить промежуточное давление для двухступенчатых циклов холодильных машин; составлять тепловой и материальный баланс второй ступени циклов холодильной машины, промежуточного сосуда; провести сравнительный анализ двухступенчатых холодильных машин

## Методические указания

Обучающийся должен иметь ввиду, что двухступенчатые холодильные машины нашли широкое применение, например, в пищевой промышленности при получении температур ниже минус  $25^{\circ}\text{C}$ .

Промежуточное давление в двухступенчатом цикле может быть определено несколькими способами. Как показывают расчеты, промежуточные давления, определенные разными способами, отличаются незначительно, поэтому для инженерных расчетов чаще всего промежуточное давление определяется как среднее геометрическое давлений кипения и конденсации.

Холодильные машины с однократным дросселированием имеют меньшую эффективность, чем холодильные машины, работающие по циклу с двукратным дросселированием. Однако, из-за ряда эксплуатационных преимуществ нашли более широкое применение, чем машины с двукратным дросселированием.

Обучающийся должен уметь выполнять энергетический анализ различных сложных циклов и подбирать холодильную машину для заданных условий.

Литература: [2], с.78-120; [9], с.49-58.

## Вопросы и задачи для самопроверки

1. При каких условиях переходят к многоступенчатому сжатию? Какое преимущество это даёт?
2. Что такое полное и неполное промежуточное охлаждение?
3. Как рассчитать промежуточное давление при двухступенчатом сжатии при условии одной температуры кипения?
4. Изобразите схему ПКХМ двухступенчатого сжатия с одной температурой кипения и полным промежуточным охлаждением. Объясните принцип и особенности её работы.

5. Изобразите теоретический цикл работы ПКХМ двухступенчатого сжатия с одной температурой кипения и полным промежуточным охлаждением в диаграмме  $i$ -lg P. Покажите и поясните, где и какие процессы происходят.

6. Изобразите схему ПКХМ двухступенчатого сжатия с неполным промежуточным охлаждением и двукратным дросселированием. Объясните принцип и особенности её работы.

7. Изобразите теоретический цикл работы ПКХМ двухступенчатого сжатия с неполным промежуточным охлаждением и двукратным дросселированием в диаграмме  $i$ -lg P. Покажите и поясните, где и какие процессы происходят.

8. Сравнить работу ПКХМ двухступенчатого сжатия с одной температурой кипения и полным промежуточным охлаждением с работой одноступенчатой холодильной установки при тех же конечных давлениях кипения и конденсации.

9. Какие преимущества имеет включение в схему промежуточного сосуда со змеевиком?

10. В чём отличие теоретического цикла работы холодильной машины от её действительного цикла?

## ТЕМА 5

### Трёхступенчатое сжатие в ПКХМ

#### Целевая установка

При изучении этой темы обучающийся должен:

**знать** причины перехода к трёхступенчатому сжатию, принципы и особенности трёхступенчатых холодильных машин; отличительные особенности действительных циклов этих машин от теоретических; различие полного и неполного промежуточного охлаждения; области применения трёхступенчатых холодильных машин;

**уметь** определить промежуточное давление для трёхступенчатых циклов холодильных машин; составлять тепловой и материальный баланс второй и третьей ступеней циклов холодильной машины, промежуточного сосуда; провести сравнительный анализ трёхступенчатых холодильных машин

#### Методические указания

Обучающийся должен иметь ввиду, что трёхступенчатые холодильные машины применяются для получения более низких температур, чем двухступенчатые.

Промежуточное давление в цикле может быть определено несколькими способами. Как показывают расчеты, промежуточные давления, определенные разными способами, отличаются незначительно, поэтому для инженерных расчетов чаще всего промежуточное давление определяется расчётным путём.

Холодильные машины с однократным дросселированием имеют меньшую эффективность, чем холодильные машины, работающие по циклу с двукратным дросселированием. Однако, из-за ряда эксплуатационных преимуществ нашли более широкое применение, чем машины с двукратным дросселированием.

Обучающийся должен уметь выполнять энергетический анализ различных сложных циклов и подбирать холодильную машину для заданных условий

Литература: [5], с.8-9; [9], с.49-58; [11], с.208-210.

### **Вопросы и задачи для самопроверки**

1. Назовите области применения трёхступенчатых ПКХМ.
2. При каких условиях переходят к многоступенчатому сжатию? Какое преимущество это даёт?
2. Изобразите схему ПКХМ трёхступенчатого сжатия с неполным промежуточным охлаждением и трёхкратным дросселированием. Объясните принцип и особенности её работы.
3. Изобразите теоретический цикл работы ПКХМ трёхступенчатого сжатия с неполным промежуточным охлаждением и трёхкратным дросселированием в диаграмме  $i$ -lg P. Покажите и поясните, где и какие процессы происходят.
4. Изобразите схему ПКХМ трёхступенчатого сжатия для получения твёрдой углекислоты. Объясните принцип и особенности её работы.
5. Изобразите теоретический цикл работы ПКХМ трёхступенчатого сжатия для получения твёрдой углекислоты в диаграмме  $i$ -lg P. Покажите и поясните, где и какие процессы происходят
6. Напишите уравнение теплового баланса для промежуточного сосуда второй и третьей ступеней ПКХМ трёхступенчатого сжатия с неполным промежуточным охлаждением и трёхкратным дросселированием.
7. Что такое полное и неполное промежуточное охлаждение?
8. Как рассчитать промежуточное давление при трёхступенчатом сжатии при условии одной температуры кипения?
9. В чём отличие теоретического цикла работы холодильной машины от её действительного цикла?

## ТЕМА 6

**Газовые холодильные машины.** Их теоретические и действительные циклы. Особенности работы газовых холодильных машин на влажном воздухе. Газовые холодильные машины с детандерами и с вихревыми трубами

### Целевая установка

При изучении этой темы обучающийся должен:

**знать** принципы действия, достоинства, недостатки и области применения газовых холодильных машин;

**уметь** изобразить схемы и циклы, составить тепловые балансы и определить эффективность этих холодильных машин

### Методические указания

При изучении газовых холодильных машин (ГХМ) следует обратить внимание на различия замкнутого и разомкнутого циклов, отличия циклов ГХМ от ПКХМ. Работа ГХМ отличается от работы ПКХМ тем, что в циклах ГХМ не происходит фазового превращения рабочего вещества. В ГХМ рабочее вещество всегда находится в состоянии перегретого газа или пара. Самой распространённой холодильной машиной из ГХМ является воздушная холодильная машина (ВХМ), которая зачастую работает по разомкнутому циклу.

Литература: [4], с.203-237; [11], с.250-253.

### Вопросы и задачи для самопроверки

1. Назовите области применения трёхступенчатых ПКХМ.
2. К какому классу холодильных машин относятся газовые холодильные машины?
3. Какие фазовые превращения происходят с холодильным агентом в цикле ГХМ?
4. Чем отличается цикл ГХМ от цикла ПКХМ?
5. Что такое разомкнутый цикл работы холодильной машины?
6. Могут ли ГХМ работать по разомкнутому циклу?
7. Изобразите схему ГХМ. Объясните принцип и особенности её работы.
6. Изобразите теоретический цикл работы простейшей ГХМ в диаграмме  $i$ -lg P. Покажите и поясните, где и какие процессы происходят
8. Переведите теоретический цикл работы простейшей ГХМ из диаграммы  $i$  - lg P в диаграмму  $s$  – T.
9. Какие параметры характеризуют эффективность работы ГХМ?

## ТЕМА 7

### **Пароэжекторные холодильные машины (ПЭХМ).**

Простейшая ПЭХМ. Действительные рабочие циклы пароэжекторных холодильных машин. Изменение давления в эжекторе. Оценка эффективности ПЭХМ

#### **Целевая установка**

При изучении данной темы студент должен:

**знать** принципы работы ПЭХМ, отличия теоретического и действительного рабочих циклов ПЭХМ, основные рабочие характеристики машины, области применения ПЭХМ;

**уметь** строить рабочий цикл в диаграмме  $s-i$  и определить основные рабочие параметры.

#### **Методические указания**

Обучающийся должен иметь ввиду, что рабочим веществом ПЭХМ преимущественно является вода. Применять воду в ПЭХМ невозможно из-за очень больших значений удельного объёма сухого насыщенного пара при низких температурах.

Рабочий цикл ПЭХМ строится в диаграмме  $s-i$  для удобства расчётов.

Недостатками ПЭХМ являются низкая энергетическая эффективность из-за больших потерь в эжекторе, а также необходимость поддержания глубокого вакуума в испарителе, конденсаторе и пароструйном аппарате.

Наиболее широкое ПЭХМ применяют в системах кондиционирования воздуха на судах с парогенераторными энергетическими установками, а также на промышленных предприятиях, располагающих вторичными энергетическими ресурсами повышенного температурного потенциала.

Студент должен уметь выполнять энергетический анализ различных сложных циклов и подбирать ПЭХМ для заданных условий.

Литература: [4], с.203-237; [11], с.268-269.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Назовите области применения ПЭХМ
2. Какие холодильные агенты используются в ПЭХМ?
3. Что называется критической скоростью потока?
4. Что такое кратность циркуляции?
5. К какому классу холодильных машин относятся ПЭХМ?
6. Какие элементы ПЭХМ составляют контур, выполняющий прямой цикл?



7. Какие элементы ПЭХМ составляют контур, выполняющий обратный цикл?
8. Изобразите рабочий цикл простейшей ПЭХМ в диаграмме  $s-i$ .
9. Какие параметры характеризуют действительный цикл ПЭХМ?
10. Какие параметры характеризуют эффективность работы ПЭХМ?

## ТЕМА 8

### **Абсорбционные холодильные машины.(АБХМ).**

Простейшая АБХМ. Диаграмма  $\zeta-P$ . Действительные циклы АБХМ с раздельным и совмещённым тепло и массообменом. Оценка эффективности АБХМ. Тепло- и массообменные аппараты АБХМ

### **Целевая установка**

При изучении данной темы студент должен:

**знать** принципы работы АБХМ, отличия теоретического и действительного рабочих циклов АБХМ, основные рабочие характеристики машины, области применения АБХМ;

**уметь** строить рабочий цикл в диаграмме  $\zeta-P$  и определить основные рабочие параметры.

### **Методические указания**

АБХМ относятся к классу теплоиспользующих холодильных машин.

АБХМ представляет собой холодильную установку, работающую за счет тепловой энергии, а не электричества. Источником тепловой энергии может служить горячая вода, выхлопные газы, пар, природный газ и другие виды топлива

Принцип действия абсорбционной холодильной машины основан на определенных свойствах хладагента и абсорбента, которые обеспечивают отвод тепла, охлаждение и поддержание необходимого температурного режима.

Обучающийся должен иметь ввиду, что рабочим веществом АБХМ являются бинарные растворы. Преимущественно в промышленности используют водоаммиачный раствор и водный раствор бромистого лития. Водоаммиачные растворы применяются для получения отрицательных температур, поскольку холодильным агентом в них является аммиак, а абсорбентом – вода. В водных растворах бромистого лития вода – это холодильный агент, поэтому такие бинарные растворы применяются для области положительных температур.

Цикл АБХМ соединяет в себе прямой и обратный циклы.

Рабочий цикл АБХМ строится в диаграмме  $\zeta-P$  (концентрация – давление) для удобства расчётов.

Абсорбционные холодильные машины могут использоваться как в составе системы холодоснабжения, так и как часть интегрированной системы тепло- и

холодоснабжения. Дополнительная экономия энергии может быть достигнута за счет утилизации тепловой энергии.

Самые простые холодильные машины этого типа используются в некоторых моделях бытовых холодильников, работающих на природном газе без каких-либо затрат электрической энергии.

Литература: [5], с.20-29; [8], с.120-129

### Вопросы для самопроверки

1. Назовите области применения АБХМ
2. Какие холодильные агенты применяются в АБХМ?
3. Из каких компонентов состоит бинарный раствор?
4. Какие требования предъявляются к абсорбенту?
5. Какие требования предъявляются к абсорбату?
6. Какие бинарные растворы применяются в промышленности?
7. Какие существуют виды циклов АБХМ?
8. Какие функции выполняет абсорбер?
9. Какие параметры характеризуют эффективность работы АБХМ?
10. Изобразите рабочий цикл простейшей АБХМ в диаграмме  $z$ - $P$ .
11. Какие параметры характеризуют действительный цикл АБХМ?

### ТЕМА 9

Термо-газодинамические основы процессов в холодильных компрессорах и расширительных машинах. Уравнения импульсов, энергии, состояния, расхода, моментов количества движения

Литература: [5], с.5-8; [9], с.9-21.

### Целевая установка

При изучении данной темы студент должен:

**знать** особенности процессов в холодильных компрессорах и расширительных машинах, основные рабочие характеристики холодильных компрессоров и расширительных машин;

**уметь** составлять уравнения импульсов, энергии, состояния, расхода, моментов количества движения для холодильных компрессоров и расширительных машин

### Методические указания

Энергия, подводимая к компрессору, расходуется на проведение компрессорного процесса (сжатие и проталкивание) и работу газового трения в

проточной полости. Поскольку компрессоры, как и насосы, служат для перемещения текущих тел, к ним формально применимы понятия, используемые в качестве технических показателей насосов: удельная полезная работа или напор, полезная мощность, к.п.д. Действительно, выражение работы, переданной потоку газа рабочими органами компрессора, полученное из баланса работ в проточной машине, выглядит так же, как для насосов.

Необходимо отслеживать все особенности сложного процесса сжатия газа в компрессоре. Сложность в том, что, во-первых, зависимость  $V = f(p)$  в интеграле работы определяется условиями теплообмена (его направлением и интенсивностью), которые, в свою очередь, зависят от системы охлаждения машины, и, кроме того, изменяются с температурой сжимаемого газа на его пути от всасывающего до нагнетательного патрубка. Во-вторых, газовый поток неоднороден в том смысле, что состояние газа в различных частях потока изменяется по-разному. Некоторая часть потока газа (перетекания или остатки газа в компрессорной камере) имеет параметры, отличающиеся от параметров основной части потока. Определение средних параметров неоднородного потока сопряжено с большими трудностями.

### Вопросы для самопроверки

1. Перечислите возможные процессы сжатия в компрессорах.
2. Какой из возможных процессов сжатия в компрессоре является самым эффективным? Поясните свой ответ.
3. Изобразите возможные процессы сжатия в компрессорах в диаграммах  $v$ - $P$  и  $s$  -  $T$ .
4. Напишите уравнение для расчёта работы при политропном сжатии в компрессоре
5. Напишите уравнение для расчёта работы при изотермическом сжатии в компрессоре
6. Напишите уравнение баланса энергии компрессорного процесса
7. Что такое параметры торможения в компрессорных процессах?
8. От чего зависит подача компрессора?
9. Как определить коэффициент подачи компрессора?
10. От чего зависит потребляемая мощность компрессора?

### ТЕМА 10

**Компрессоры объёмного принципа действия.** Поршневые компрессоры. Их классификация. Отличие действительного компрессора от теоретического. Действительные характеристики поршневого компрессора. Определение основных размеров, конструктивных и режимных параметров поршневого компрессора.

Винтовые компрессоры. Их классификация. Особенности работы. Расчет винтов компрессора. Объемные и энергетические характеристики холодильных винтовых компрессоров. Факторы, влияющие на характеристики винтовых компрессоров.

Спиральные компрессоры. Их классификация, принцип работы. Выбор и расчет рабочих спиралей. Расчет рабочих процессов спирального компрессора.

Ротационные компрессоры. Их классификация, принцип работы. Выбор и расчет конструктивных размеров ротационных компрессоров. Определение их производительности

Литература: [2], с.239-240; [3], с.125-133; [4], с.162-200; [9], с.162-200.

### **Целевая установка**

При изучении темы обучающийся должен :

**знать** принципы построения, методики расчета параметров термодинамических циклов холодильных машин в тепловых диаграммах; методики расчета и подбора компрессоров;

**уметь** построить и рассчитать любой цикл холодильной машины, выполнить подбор и поверочный расчет компрессора.

### **Методические указания**

Наибольшее распространение в промышленности получили поршневые компрессоры, поскольку их производство в настоящее время наиболее развито и совершенно. Поршневые компрессоры - это компрессоры объемного принципа действия. Группа компрессоров объемного принципа действия достаточно многообразна. К ней относятся винтовые, ротационные и достаточно новые в России спиральные компрессоры. В последние годы спиральные компрессоры завоевывают все новые и новые области применения.

Студент должен уметь проводить сравнительный анализ конструкций различных компрессоров и выбирать компрессор для заданных условий.

Данная тема обобщает знания и практические навыки ряда ранее рассмотренных тем и является одной из основополагающих для проведения инженерных расчетов. Основные трудности и ошибки студентов приходятся на построение цикла в тепловых диаграммах. Следует обратить внимание при расчете удельной холодопроизводительности на то, где происходит перегрев пара холодильного агента перед всасыванием в компрессор.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Назовите особенности условий работы компрессоров объемного принципа действия.
2. Перечислите основные требования, предъявляемые к компрессорам.

3. Как классифицируют компрессоры по холодопроизводительности, температурному диапазону и степени герметичности?
4. Для чего необходим перегрев пара перед всасыванием в компрессор?
5. В чём состоит отличие прямоточного и непрямоточного компрессора?
6. Как отличить поршни прямоточного и непрямоточного компрессоров?
7. Изобразите рабочую диаграмму теоретического и действительного поршневого компрессора. Проведите их сравнительный анализ.
8. Проведите сравнительный анализ поршневого и винтового компрессора.
9. Каковы функции масла в винтовом маслозаполненном компрессоре?
10. Какими достоинствами и недостатками обладают ротационные компрессоры?
11. В чём преимущество спиральных компрессоров перед винтовыми?

## ТЕМА 11

### **Компрессоры динамического принципа действия.**

Центробежные компрессоры. Их классификация. Безразмерные параметры центробежного компрессора. Внутренняя мощность ступени. Коэффициент реактивности. Определение размеров рабочего колеса компрессора. Определение основных размеров, конструктивных и режимных параметров центробежного компрессора. Циклы холодильных машин с применением центробежных компрессоров.

Осевые и турбокомпрессоры. Особенности работы и проектирования

Литература: [4], с.248-256 ; [11], с.205-218

### **Целевая установка**

При изучении темы обучающийся должен :

**знать** принципы построения, методики расчета параметров термодинамических циклов холодильных машин в тепловых диаграммах; методики расчета и подбора компрессоров;

**уметь** построить и рассчитать любой цикл холодильной машины, выполнить подбор и поверочный расчет компрессора.

### **Методические указания**

Наибольшее распространение в промышленности получили поршневые компрессоры, поскольку их производство в настоящее время наиболее развито и совершенно. Группа компрессоров объемного принципа действия достаточно многообразна.

К группе компрессоров динамического принципа действия относятся центробежные, вихревые и осевые компрессоры, имеющие иной принцип действия, чем компрессоры объемного сжатия.

Студент должен уметь проводить сравнительный анализ конструкций различных типов компрессоров и выбирать компрессор для заданных условий.

### Вопросы для самопроверки

1. Назовите особенности условий работы компрессоров динамического принципа действия.
2. Назовите области применения компрессоров динамического принципа действия.
3. В чём достоинства и недостатки компрессоров динамического принципа действия?
4. Опишите принцип действия центробежного компрессора
5. Изобразите схему многоступенчатого центробежного компрессора
6. Изобразите схемы и поясните принципы действия уплотнений в компрессорах
7. Напишите уравнение теплового баланса компрессора динамического принципа действия
8. Назовите основные газодинамические характеристики компрессора динамического принципа действия
9. Приведите примеры циклов холодильных машин с применением центробежных компрессоров

## ТЕМА 12

### Тепло и массообменные аппараты холодильных машин.

Тепловые и конструктивные расчеты вспомогательного оборудования паровых компрессионных и пароэжекторных холодильных машин. Особенности конструкций и обслуживания

Литература: [5], с.59-121; [8], с.344-582; [9], с.89-114.

### Целевая установка

При изучении темы обучающийся должен :

**знать** принципы работы, методики расчета параметров и подбора теплообменных аппаратов холодильных машин;

**уметь** построить и рассчитать любой цикл холодильной машины, выполнить подбор и поверочные расчеты теплообменных аппаратов любой холодильной машины.

## Методические указания

Теплообменные аппараты холодильных установок отличаются разнообразием конструкций. Обучающийся должен уметь правильно подобрать необходимые аппараты холодильной установки, поддерживающей соответствующие температурные режимы.

Технологическое холодильное оборудование позволяет сохранять качество пищевых продуктов, обеспечивая поддержание низких температур. Интенсивность процесса замораживания определяется скоростью замораживания и зависит от типа скороморозильного аппарата.

Данная тема обобщает знания и практические навыки ряда ранее рассмотренных тем и является одной из основополагающих для проведения инженерных расчетов. Основные трудности и ошибки студентов приходятся на определение удельной теплоты конденсации.

## Вопросы для самопроверки

1. Какие аппараты относятся к основным, а какие к вспомогательным тепло- и массообменным аппаратам холодильных машин?
2. В каком элементе холодильной машины может происходить переохлаждение холодильного агента? Для чего оно необходимо?
3. В каком элементе холодильной машины может происходить, перегрев холодильного агента? Для чего он необходимо?
4. Опишите, как работает регенеративный теплообменник.
5. Изобразите в диаграмме  $i-lg P$  процессы, происходящие в регенеративном теплообменнике.
6. Опишите порядок расчета и подбора регенеративного теплообменника.
7. Как подобрать маслоохладитель для холодильной машины?
8. Для чего необходимо удалять воздух из холодильной машины?
9. Из каких элементов холодильной машины производят удаление воздуха, если отсутствует воздухоотделитель? Ответ поясните.
10. Для чего в холодильной машине устанавливается фильтр-осушитель?

## ТЕМА 13

### Охладители воды

Способы отвода теплоты к окружающей среде. Типы охладителей воды. Их тепловой расчет

Литература: [3], с.105-112; [8], с.352-354; [9], с.108; с. 128-129; с.89-98.

## Целевая установка

При изучении темы обучающийся должен :

**знать** способы отвода теплоты к окружающей среде; принципы работы, методики расчета и подбора охладителей воды;  
**уметь** выполнить расчёт и подбор охладителя воды

## Методические указания

При изучении темы обучающийся должен усвоить способы отвода теплоты к окружающей среде, знать области применения различных способов.

Самыми распространёнными охладителями воды являются вентиляторные градирни с различным расположением вентиляторов. Данная тема обобщает знания и практические навыки ряда ранее рассмотренных тем и является одной из основополагающих для выполнения проектов. Основные трудности и ошибки студентов приходится на построение цикла в тепловых диаграммах. Следует обратить внимание при расчете удельной холодопроизводительности на то, где происходит перегрев пара холодильного агента перед всасыванием? в компрессор. Подобные же ошибки студенты допускают при определении удельной теплоты конденсации. При подборе оборудования необходимо предусмотреть резервный компрессор и насосы

## Вопросы для самопроверки

1. Перечислите способы отвода теплоты к окружающей среде.
2. Назовите типы охладителей воды
3. Каким требованиям должны удовлетворять охладители воды?
4. Как подобрать охладитель воды?
5. Какие параметры оценивают эффективность работы охладителя воды?
6. Что такое коэффициент орошения?
7. Назовите области применения вентиляторных градирен?
8. Может ли испарительный конденсатор выполнять функции охладителя воды? Ответ поясните.

## ТЕМА 14

**Подбор холодильного оборудования.** Проектирование машинных отделений и технологических трубопроводов.

Литература: [6], с.68-75; [7], с.8-75; [9], с.130-160.



## Целевая установка

При изучении темы обучающийся должен :

**знать** принципы работы, методики расчета параметров и подбора холодильного оборудования, требования к взаимной связи и расположению элементов холодильных машин и установок;

**уметь** построить и рассчитать цикл холодильной машины, выполнить подбор и поверочные расчеты элементов холодильной машины; расположить элементы холодильной машины и установки во взаимной связи с учётом проектных требований

## Методические указания

Данная тема обобщает знания и практические навыки ряда ранее рассмотренных тем и является одной из основополагающих для выполнения проектов. Основные трудности и ошибки студентов приходятся на построение цикла в тепловых диаграммах. Следует обратить внимание при расчете удельной холодопроизводительности на то, где происходит перегрев пара холодильного агента перед всасыванием? в компрессор. Подобные же ошибки студенты допускают при определении удельной теплоты конденсации. При подборе оборудования необходимо предусмотреть резервный компрессор и насосы

## Вопросы для самопроверки

1. Как подобрать конденсатор?
2. Каковы требования к монтажу кожухотрубных конденсаторов?
3. Как подобрать испаритель?
4. Каковы требования к монтажу испарителей?
5. Для чего при монтаже оборудования устраивают прямки?
6. Как подобрать компрессор для указанных условий?
7. Какие требования необходимо соблюдать при монтаже испарителей затопленного типа и присоединяемой к ним системы трубопроводов?
8. Какие требования необходимо соблюдать при монтаже конденсаторов водяного охлаждения и присоединяемой к ним системы трубопроводов?
9. Какое минимальное расстояние между оборудованием необходимо обеспечить при монтаже компрессорных агрегатов?
10. Существуют ли необходимые требования по обеспечению принудительной вентиляции компрессорных цехов?