Федеральный комплект учебников



Профессиональное образование

Торговля и общественное питание

А. Н. Стрельцов
В. В. Шишов

# ХОЛОДИЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ТОРГОВЛИ И ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ

Учебник

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ РАЗВИТИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

А. Н. СТРЕЛЬЦОВ, В. В. ШИШОВ

# ХОЛОДИЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ТОРГОВЛИ И ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ

## УЧЕБНИК

*Допущено*
*Экспертным советом по начальному профессиональному образованию Минобразования России в качестве учебника для учреждений начального профессионального образования*

ACADEMA

Москва
2003

ИРПО

УДК 621.56/.59
ББК 22.4
С84

*Федеральная программа книгоиздания России*

Рецензент — преподаватель ПУ № 17 г. Москвы *В. М. Жданов*

**Стрельцов А. Н.**

С84 Холодильное оборудование предприятий торговли и общественного питания: Учебник для нач. проф. образования / А. Н. Стрельцов, В. В. Шишов. – М.: ИРПО: Издательский центр «Академия», 2003. – 272 с.

ISBN 5-8222-0180-6 (ИРПО)
ISBN 5-7695-1271-7 (Изд. центр «Академия»)

Рассмотрены основные процессы холодильной технологии, приведена классификация холодильных предприятий и основных видов холодильного транспорта как звеньев непрерывной холодильной цепи. Освещены вопросы проектирования и расчета блоков холодильных камер предприятий торговли и питания. Показаны физические принципы получения искусственного холода и основные холодильные циклы, реализуемые в современных холодильных машинах. Рассмотрены конструкции элементов холодильных машин и холодильной автоматики, приведены сведения по эксплуатации, монтажу, ремонту и безопасным приемам работы с холодильным оборудованием.

Для учащихся учреждений начального профессионального образования.

УДК 621.56/.59
ББК 22.4

*Учебное издание*

**Стрельцов Александр Николаевич, Шишов Виктор Викторович**

**Холодильное оборудование предприятий торговли и общественного питания**

**Учебник**

Редактор *Э. М. Федорова.* Технический редактор *Е. Ф. Коржуева.*
Компьютерная верстка: *Т. А. Зубкова.* Корректор *И. Н. Волкова*

Изд. № ИРПО-11. Подписано в печать 24.10.2002. Формат 60×90/16.
Бумага тип. № 2. Печать офсетная. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 17,0.
Тираж 8000 экз. Заказ № 2275.

Лицензия ИД № 02025 от 13.06.2000. Издательский центр «Академия».
Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.02.953.Д.002682.05.01 от 18.05.2001.
117342, Москва, ул. Бутлерова, 17-Б, к. 223. Тел./факс: (095)330-1092, 334-8337.

Отпечатано на Саратовском полиграфическом комбинате.
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59.

**ISBN 5-8222-0180-6**
**ISBN 5-7695-1271-7**

© Стрельцов А.Н., Шишов В.В., 2002
© Институт развития профессионального образования, 2002
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2003

# ВВЕДЕНИЕ

Способ хранения скоропортящихся продуктов с применением естественного холода известен с давних времен. Вначале он применялся только в холодное время года, затем для хранения запасов льда стали использовать специальные сооружения (льдохранилища) и применять естественный холод круглый год. Однако при использовании льда из воды было невозможно получить температуру ниже 0 °С. Применение смеси водного льда и соли (например, NaCl или $CaCl_2$) позволило получить температуры ниже 0 °С.

В 1834 г. англичанин Джекоб Перкинс создал конструкцию холодильной машины, работающей на этиловом эфире. Эта дата считается началом развития техники искусственного охлаждения. Впоследствии были предложены конструкции холодильных машин, работающих на метиловом эфире и сернистом ангидриде. В 1874 г. Карл фон Линде (Германия) получил патент на холодильную машину, работающую на аммиаке.

Во второй половине XIX в. промышленной Европе требовалось все бóльшее количество продовольствия. Аргентина, Новая Зеландия, Австралия имели возможность поставлять продукты питания, в основном мясо, но требовалось оборудование для его охлаждения и замораживания. Практическое применение искусственного охлаждения началось в 1880 г., когда Карл Линде предложил и изготовил компрессионную холодильную машину, работающую на аммиаке.

Практическая реализация этого предложения позволила осуществлять доставку продовольствия из дальних стран в промышленные центры, прежде всего в Европу, кроме того, искусственный холод начинают использовать в пищевой промышленности (пивоварение, охлаждение молока, хранение скоропортящихся продуктов и пр.), химической промышленности, медицине и пр.

В России первый промышленный холодильник с искусственным охлаждением был построен в 1877 г. на рыболовных промыслах в Мурманске, а затем — в Астрахани. Интенсивное развитие искусственного холода для хранения продуктов и в пищевой промышленности началось с 1889 г.

Искусственный холод, т.е. температура ниже окружающей среды, находит все более широкое применение во многих отраслях народного хозяйства. Все сферы человеческой деятельности в той или иной мере связаны с холодильной техникой.

В пищевой промышленности использование искусственного холода обеспечивает хранение скоропортящихся продуктов в охлаж-

денном и замороженном виде, позволяет создавать пищевые продукты с новыми вкусовыми свойствами (мороженое, замороженные соки), а также хранить полуфабрикаты и готовые кулинарные изделия в замороженном виде.

В химической промышленности искусственный холод применяют для производства многих синтетических материалов, удобрений, для получения чистых продуктов. Низкие температуры позволяют разделить воздух на основные составляющие — кислород и азот.

При производстве строительных работ в особо сложных условиях — в водоносных слоях, строительстве плотин крупных гидроэлектростанций — искусственный холод применяют для замораживания грунта, охлаждения застывающего бетона и др. Создание искусственного климата — еще одна область его применения. Кондиционирование жилых помещений, салонов автомобилей, самолетов, поездов позволяет создавать комфортные условия пребывания человека. Ледяные катки с искусственным покрытием, лыжные трамплины, лыжни с намораживаемым искусственным снегом способствуют физическому развитию человека.

В настоящее время невозможно представить существование человечества без искусственного холода. Это относится и к сфере обитания человека, и ко многим производственным процессам.

# Глава 1. ОСНОВЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

## 1.1. Химический состав пищевых продуктов

Все пищевые продукты условно можно разделить на две основные категории — растительного и животного происхождения. К первой группе относятся овощи, фрукты (ягоды, плоды), а также некоторые продукты, получаемые в результате их переработки — растительные жиры и масла. Вторая группа представлена мясопродуктами, птицей, рыбопродуктами (речными и морскими), молочными продуктами и др., а также продуктами, получаемыми после их переработки.

Независимо от группы химический состав продуктов весьма разнообразен по качественному и количественному составу. Основными составными элементами пищевых продуктов являются вода, жиры, белки и углеводы, а также минеральные соли, витамины и ферменты, причем количественная доля последних весьма невелика. Для технологических расчетов принято считать, что пищевые продукты состоят в основном из воды, жиров, белков, углеводов и минеральных солей.

***Белки*** являются наиболее сложной и биологически важной составной частью всех пищевых продуктов. С ними связаны разнообразные жизненные проявления — пищеварение, сокращение мышц, раздражимость, движение, способность к росту и размножению.

В состав белковых веществ входят двадцать известных аминокислот. В природе белковые вещества могут находиться в жидком, полужидком и твердом состояниях (молоко, мышцы, волосы). Вода с белковыми веществами образует адсорбционную, осмотическую и механическую связи.

***Углеводы*** — органические вещества, имеющие в своем составе углерод, водород и кислород, являются необходимой составной частью пищи человека и животных. В продуктах растительного происхождения углеводы составляют до 80 % от сухой части, а в продуктах животного происхождения — не более 2 %.

Углеводы принято делить на две группы: простые (моносахариды) и сложные (полисахариды).

Представителями моносахаридов, имеющими наибольшее значение в пищевом отношении, являются глюкоза, фруктоза и галактоза.

Из полисахаридов наибольшее пищевое значение имеют три дисахарида — сахароза, мальтоза и лактоза, а также крахмал, клетчатка, гликоген (животный крахмал), пектины и др.

В питании человека наиболее важными углеводами являются глюкоза и крахмал, окисление которых служит одним из главных источников энергии для жизнедеятельности.

***Жиры*** и жироподобные вещества (липоиды) по химической природе представляют собой сложные эфиры глицерина (трехатомный спирт) и жирных кислот. В организме человека и животных они находятся в виде протоплазматического вещества и запасного жира (жировая ткань), при окислении выделяют большое количество энергии и одновременно служат растворителями жизненно необходимых человеку веществ — витаминов и др.

Из наиболее распространенных в животных и растительных тканях липоидов следует выделить фосфатиды (лецитин — снабжает фосфором мозговую и нервную ткани) и стерины (холестерин).

***Ферменты*** — белки, наделенные каталитической активностью, способствующие превращениям высокомолекулярных соединений (белков, жиров и углеводов) в организме человека с целью получения энергии для жизнедеятельности. Большую роль белки играют в технологических процессах пищевой промышленности, например, в хлебопечении, производстве пива, вина, спирта и пр. Активность ферментов существенно зависит от температуры, достигая максимального значения при 40... 50 °С. Дальнейшее повышение температуры сопровождается снижением активности ферментов, и при 70... 100 °С они практически утрачивают каталитическую активность и свертываются. Понижение температуры до 0 °С и ниже приводит к значительному снижению скорости ферментативного катализа.

***Витамины*** — (от латинского слова *vita* — жизнь, жизненные амины) органические вещества, необходимые в небольших количествах человеку и животным, — имеют огромное значение для обмена веществ в организме, так как являются катализаторами биохимических реакций. Систематическое отсутствие витаминов в пище может привести к нарушению нормального обмена веществ и тяжелому заболеванию — авитаминозу. В настоящее время известно более 45 витаминов, оказывающих на живые организмы специфические воздействия. Для их обозначения используют буквы латинского алфавита (А, В, С, РР и др.). Витамины принято подразделять на две группы: растворимые в воде и растворимые в жирах.

Витамины $B_1$ — тиамин, $B_2$ — рибофлавин, РР — никотиновая кислота, С — аскорбиновая кислота являются водорастворимыми и характеризуются термостабильностью, хорошей устойчивостью к кислотам и плохо противостоят воздействию щелочей.

Жирорастворимые витамины, к которым относятся А — антиксерофтальмический, провитамин А — каротин, D — антирахитический, К — антигеморрагический и др., устойчивы к высоким температурам, кислотной и щелочной средам. Избыток этих витаминов в организме откладывается в его органах в виде запасов.

Сохранность витаминов в пищевых продуктах в течение срока хранения может использоваться в качестве показателя, использующего метод хранения. Наилучшим можно признать метод, обеспечивающий максимальную сохранность витаминов в хранимых продуктах.

***Минеральные соли*** входят в состав межклеточной жидкости и регулируют осмотическое давление, создавая необходимую реакцию среды. Количество минеральных солей в пищевых продуктах невелико — около 1 % от общей массы.

***Вода*** служит растворителем и элементом, участвующим в биохимических реакциях, осмотических и диффузионных явлениях. Присутствие воды в пищевых продуктах создает условия для развития микроорганизмов и активизирует деятельность ферментов, что отрицательно сказывается на их сохранности.

## 1.2. Микрофлора пищевых продуктов

Микрофлора сырых пищевых продуктов растительного и животного происхождения очень разнообразна. К микроорганизмам, составляющим микрофлору продуктов, относятся бактерии, дрожжи, плесени, простейшие животные (протоза) и некоторые водоросли. Микроорганизмы, обладая способностью к быстрому размножению, используют в качестве источников питания продукты, нанося им значительный ущерб. Поэтому одна из задач пищевой промышленности — ограничение вредного воздействия микроорганизмов на продукты. Однако существуют определенные микроорганизмы, присутствие которых в пищевых продуктах придает им новые вкусовые свойства. Метод замещения нежелательной микрофлоры на микрофлору с требуемыми свойствами используется при производстве кефира, простокваши, ацидофилина, сыров, квашеной капусты и др.

В процессе своего развития микроорганизмы находятся в непрерывном взаимодействии с окружающей средой (воздух, питательные вещества, температурные условия). Обязательным условием развития микроорганизмов является наличие воды.

Важное значение для жизнедеятельности микроорганизмов имеют температурные условия. В зависимости от температурного интервала развития их разделяют на три группы:

***психрофильные*** (криофильные) микроорганизмы развиваются в температурном интервале от –5 ... –10 до 25 ... 30 °С. Оптимальная температура развития криофильных микроорганизмов составляет

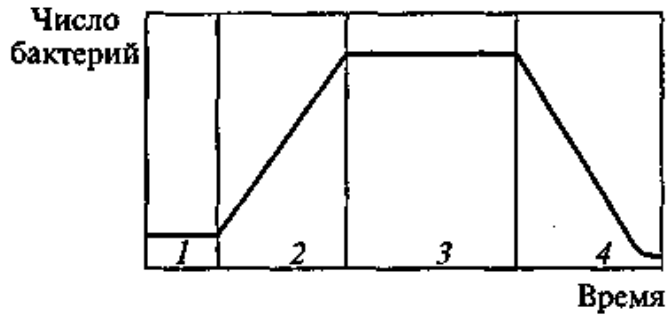



Рис. 1.1. Кривая роста микроорганизмов

10...20 °С. Данные микроорганизмы содержатся в почве, воде, воздухе, обладая способностью обсеменять технологическое оборудование, инструменты, тару, непосредственно пищевые продукты. Они активно размножаются на продуктах с небольшой кислотностью — мясе, рыбе, молоке, овощах. Большинство плесеней относятся к криофильным микроорганизмам;

***мезофильные*** микроорганизмы развиваются в температурном диапазоне 5...57 °С, с максимальной скоростью роста при 25...40 °С. В условиях низких температур они не вызывают нежелательных изменений в продуктах, но с ее повышением интенсифицируют свою жизнедеятельность, вырабатывая отравляющие вещества — токсины;

***термофильные*** микроорганизмы размножаются в температурном диапазоне 20...80 °С. Оптимальные условия их развития — 50...55 °С. В природе термофильные микроорганизмы проявляются при разложении органических соединений, сопровождаемых повышением температуры.

Независимо от группы микроорганизмы подчиняются определенным закономерностям развития (рис. 1.1). Динамика размножения характеризуется четырьмя основными фазами:

латентная *1* (или Lag-фаза), характеризующаяся постоянным количеством микроорганизмов. Продолжительность фазы зависит от вида микроорганизма, питательной среды и температурных условий;

логарифмическая фаза роста *2* — микроорганизмы развиваются с постоянной скоростью, зависящей от температуры питательной среды (продукта), в которой они развиваются;

максимальная стационарная фаза *3* показывает предельно возможное число микроорганизмов, вырастающих в данных условиях. Размножение и отмирание микроорганизмов происходит с одинаковой скоростью (динамическое равновесие);

фаза отмирания *4* характеризуется ускоренным отмиранием микроорганизмов под влиянием продуктов собственного выделения.

## 1.3. Принципы хранения скоропортящихся пищевых продуктов

Скоропортящиеся пищевые продукты с течением времени хранения подвергаются биохимическому и микробиологическому воздействиям. Если продукты своевременно не подвергнуть кон-

сервированию, то они относительно быстро теряют свои вкусовые и питательные качества, а затем становятся непригодными к употреблению. Скорость воздействий на продукты определяется внешними условиями, изменением которых можно регулировать сроки хранения продуктов.

Все известные способы консервирования пищевых продуктов базируются на четырех основных принципах: биоз, анабиоз, ценабиоз и абиоз.

***Биоз*** основан на поддержании жизненных процессов в сохраняемых продуктах с использованием их иммунитета от нежелательных воздействий. Данный принцип положен в основу обеспечения сохранности при предубойном содержании и перевозке скота, птицы, перевозке живой рыбы и др.

***Анабиоз*** заключается в подавлении (тем или иным способом) жизнедеятельности хранимых продуктов, а также замедлении скорости микробиологических и биохимических процессов. На принципе анабиоза основаны наиболее распространенные в пищевой промышленности способы хранения скоропортящихся продуктов — консервирование холодом, сушение и вяление, соление, маринование, консервация сахаром, использование атмосферы инертных газов и др.

***Ценабиоз*** характеризуется замещением микрофлоры с нежелательными характеристиками на микрофлору, способствующую сохранению продукта и придающую ему новые вкусовые и питательные свойства. На принципе ценабиоза основано квашение растительных продуктов, создание молочных продуктов — простокваши, ацидофилина, сметаны, кефира, кумыса и др.

***Абиоз*** подразумевает полное прекращение жизнедеятельности, как самого продукта, так и его микрофлоры, а также разрушение ферментов в его составе. Этот способ консервирования положен в основу высокотемпературной обработки продуктов, обеспложиванием жидких пищевых продуктов методом фильтрования, воздействием антисептиками и антибиотиками, действием лучистой энергии. Наибольшее распространение в пищевой промышленности получили такие виды высокотемпературной обработки продуктов, как пастеризация и стерилизация.

*Пастеризация* — нагрев пищевых продуктов до температуры 62...92 °С. Она обеспечивает уничтожение вегетативных форм микроорганизмов, таких, как: болезнетворные неспороносные организмы группы кишечно-тифозной палочки, бруцеллеза и др. Пастеризацией консервируют молоко, плодовые соки, вино, пиво, биологические препараты и др.

*Стерилизация* подразумевает нагрев пищевых продуктов до 105...120 °С, что обеспечивает уничтожение вегетативных форм микроорганизмов и их спор, является наиболее надежным способом консервирования и используется в производстве баночных

консервов из продуктов животного и растительного происхождения.

Из антисептических препаратов, применяемых в качестве дополнения к способам консервирования, наибольшее распространение получило использование продуктов перегонки дерева (при копчении продуктов), углекислоты, озона, перекиси водорода, сернистой кислоты, бензойной кислоты, бензойнокислого натрия и др.

Способов консервирования пищевых продуктов очень много, однако лучшим следует признать тот, который обеспечивает наибольшую длительность хранения при наименьших потерях и максимальном обеспечении сохранности вкусовых и питательных свойств продукта. Наиболее полно удовлетворяющим поставленным требованиям способом является консервирование холодом.

## 1.4. Хранение пищевых продуктов с использованием искусственного холода

Скоропортящиеся пищевые продукты во время хранения претерпевают существенные изменения. Если продукт не подвергать тому или иному способу консервирования, то в нем могут произойти необратимые изменения, скорость и направленность которых определяются свойствами самого продукта и параметрами окружающей среды. Вещества, входящие в состав продуктов, претерпевают сложные изменения с образованием новых, часто нежелательных веществ. Вновь образуемые вещества могут изменить строение тканей растительного и животного происхождения, уменьшить питательную ценность продукта, а также изменить вид, вкус, запах.

Основные факторы, влияющие на изменения в пищевых продуктах, можно разделить на биохимические и микробиологические.

*Биохимические* процессы, протекающие в пищевых продуктах, приводят к существенным изменениям в химическом составе и влияют на вкусовые, питательные и товарные свойства продукта. В некоторых случаях эти изменения дают положительный эффект и улучшают качество продуктов или придают им новые вкусовые характеристики. Но чаще всего биохимические изменения приводят к ухудшению качества, а иногда — порче продукта. Ферменты, которые содержатся в продуктах, выполняют функции катализаторов и ускоряют эти процессы.

*Микробиологические* изменения обуславливаются действием микроорганизмов на пищевые продукты. В результате жизнедеятельности микрофлоры происходит разложение органических веществ с образованием токсичных продуктов деятельности микроорганизмов.

Хранение скоропортящихся пищевых продуктов сводится к решению двух отдельных задач — снижению скорости химических и биохимических процессов и уменьшению активности жизнедеятельности микроорганизмов.

Из всех известных способов хранения скоропортящихся продуктов только консервирование холодом одновременно решает поставленные задачи. Положительные эффекты получены при сочетании консервирования с применением углекислоты, озона, антибиотиков, облучением ультрафиолетовыми лучами, применением ионизирующего облучения. Современные упаковочные материалы также оказывают положительное влияние как на санитарное состояние продуктов и холодильных камер, так и на продолжительность хранения.

## 1.5. Основные процессы холодильной технологии

### Охлаждение пищевых продуктов

*Охлаждением* называют процесс понижения температуры продукта не ниже криоскопической.

*Криоскопической температурой* принято считать температуру начала выпадения твердой фазы (кристаллов) из тканевой жидкости продукта. Значения криоскопической температуры $t_{кр}$ различны для каждого вида продуктов (табл. 1.1)

Таблица 1.1

**Криоскопические температуры пищевых продуктов**

| Пищевой продукт | Криоскопическая температура, °С |
|---|---|
| Говядина | –0,6 ... –1,3 |
| Телятина | –0,8 ... –0,9 |
| Птица | –2,0 |
| Пресноводная рыба | –0,5 |
| Колбасы вареные | –1,2 ... –3,3 |
| Колбасы полукопченые и варенокопченые | –4,0 ... –7,8 |
| Мясные консервы | –1,6 ... –2,5 |
| Сыры твердые | –5,3 ... –9,8 |
| Сыры плавленые | –3,8 ... –11,5 |
| Яблоки | –1,4 ... –2,1 |
| Груши | –1,8 ... –2,8 |

*Окончание табл. 1.1*

| Пищевой продукт | Криоскопическая температура, °С |
|---|---|
| Виноград | −1,4 ... −3,5 |
| Картофель | −0,94 ... −4,7 |
| Морковь | −1,0 ... −3,3 |
| Капуста | −0,4 ... −1,4 |
| Лук | −0,9 ... −3,0 |
| Томаты | −0,5 ... −0,9 |
| Зеленый горошек | −1,0 ... −1,2 |

Процесс охлаждения принято представлять в прямоугольных координатах (рис. 1.2). По вертикальной оси откладывается температура охлаждаемого продукта, а по горизонтальной оси — время процесса охлаждения.

Охлаждение начинается при температуре $t_{нач}$, т.е. температуре продукта перед помещением в камеру охлаждения. Как правило, процесс охлаждения представляет собой кривую, приближающуюся к криоскопической температуре, но никогда не достигающую значения $t_{кр}$.




Рис. 1.2. Процесс охлаждения пищевых продуктов

Охлаждение пищевых продуктов является сложным тепломассообменным процессом, сопровождаемым метаболическими процессами, происходящими внутри продукта. Помимо отвода теплоты через внешнюю поверхность продукта с указанной поверхности происходит испарение влаги. Дополнительную сложность накладывают микробиологические или ферментативные процессы, протекающие в продукте, как правило, с выделением теплоты.

### Замораживание пищевых продуктов

*Замораживанием* называют процесс частичного или полного превращения тканевой жидкости замораживаемого продукта в лед. Наличие фазового перехода — отличительная особенность процесса замораживания. Скоропортящиеся пищевые продукты замораживают

вают для увеличения сроков хранения (мясо, птица, рыба, овощи) или получения продуктов с новыми вкусовыми товарными качествами (мороженое, плоды, ягоды). Замораживание используется и как составной элемент некоторых технологических процессов — концентрирование плодовых соков, уксуса, сублимационная сушка и др.

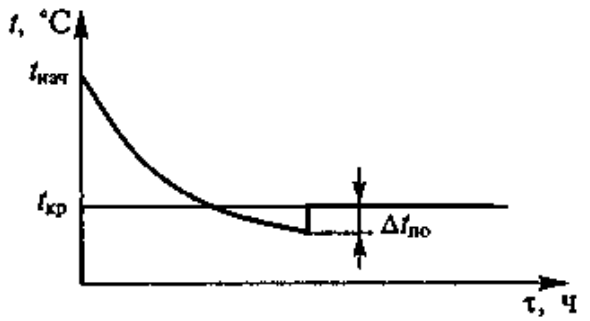



Рис. 1.3. Процесс переохлаждения пищевых продуктов

Наибольшее распространение замораживание получило как подготовительный процесс для длительного холодильного хранения продуктов. Длительность хранения скоропортящихся продуктов с высоким содержанием влаги в замороженном виде значительно больше, чем в охлажденном. Превращение влаги продукта из жидкого состояния в кристаллическое приводит к существенному торможению жизнедеятельности микроорганизмов, а также значительно снижается скорость биохимических и химических реакций, происходящих в пищевых продуктах. При замораживании в пищевых продуктах происходят изменения, не позволяющие полностью восстановить их первоначальные свойства. Поэтому в технологическом отношении процесс замораживания считается не полностью обратимым. Технологическая необратимость не является недостатком, если не ухудшаются пищевые и вкусовые показатели, а также товарный вид продукта. Замораживание требует более сложного холодильного и технологического оборудования, чем охлаждение. Процесс замораживания более длительный и энергоемкий, что приводит к увеличению стоимости замороженных продуктов по сравнению с охлажденными.

Технологически процессу замораживания (рис. 1.3) предшествует процесс охлаждения продукта до криоскопической температуры $t_{кр}$, после чего начинается льдообразование — фазовый переход жидкой среды в твердое состояние.

**Переохлаждение пищевых продуктов.** При достижении криоскопической температуры $t_{кр}$ кристаллы льда в тканевой жидкости не образуются вследствие остаточного теплового движения молекул. Для образования устойчивых кристаллов льда требуется некоторое понижение температуры относительно криоскопической. Такое понижение температуры принято называть переохлаждением $\Delta t_{по}$. Для каждого вида пищевых продуктов предельное переохлаждение $\Delta t_{по}$ имеет конкретные значения: 5 °С — для мяса, птицы, рыбы; 6 °С — для молока; 11 °С — для яиц.

Наличие искусственных стимуляторов кристаллизации (механические примеси, загрязнения) приводит к образованию устойчивых зародышей кристаллов при меньших значениях переохлаждения.

Образование устойчивых зародышей кристаллов и следующий затем рост кристаллов тканей жидкости сопровождаются выделением теплоты фазового перехода жидкости в лед и повышением температуры до криоскопической. Причем повышение температуры происходит очень быстро, данное явление получило название температурного скачка.

Устойчивое переохлаждение жидкости и длительное пребывание ее в переохлажденном состоянии легче осуществляется в пищевых продуктах, отличающихся тонкодисперсионным распределением жидкости. Примером такого вида продуктов может служить сливочное масло, в котором вода диспергирована в виде мелких капель по всему объему. Вода, содержащаяся в масле, может переохлаждаться до низких температур и замерзает при длительном хранении масла в замороженном состоянии. Значительному переохлаждению яйца способствуют его защитная оболочка и вязкий белок.

**Замораживание водных растворов солей.** Тканевая жидкость продуктов животного и растительного происхождения представляет собой водный раствор минеральных и органических веществ. Льдообразование такого раствора начинается при температуре несколько ниже 0 °С. Температура начала льдообразования, называемая криоскопической $t_{кр}$, зависит от свойств и концентрации растворенных в воде веществ, а также от свойств растворителя. Зависимость криоскопической температуры от концентраций раствора может быть показана на примере простейшей двухкомпонентной (бинарной) системы (рис. 1.4). В качестве такой системы выбран водный раствор хлористого натрия или хлористого кальция. Диаграмма состояния построена для идеального случая, когда температурное поле раствора равномерное, переохлаждение отсутствует.

При нулевой концентрации ζ криоскопическая температура $t_{кр}$ соответствует температуре замерзания чистого растворителя (воды). При повышении концентрации ζ криоскопическая температура $t_{кр}$ раствора понижается и достигает минимального значения при $\zeta_э$, называемой *эвтектической концентрацией*. Минимальная температура замерзания $t_э$ для конкретного раствора получила название *эвтектической* температуры.

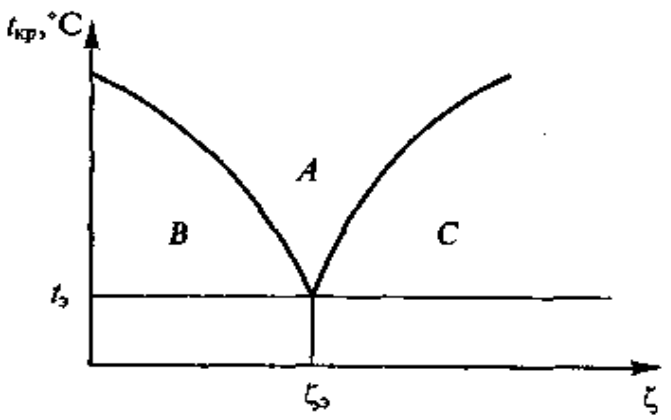



Рис. 1.4. Зависимость криоскопической температуры от концентрации бинарного раствора (водного раствора соли)

Пространство над кривыми диаграммы (зона *A*)

соответствует однородному жидкому раствору и не претерпевает фазовых превращений.

Если концентрация раствора меньше эвтектической, то понижение температуры ниже криоскопической приводит к выделению из раствора растворителя (воды) в твердой фазе (зона *B*) и повышению концентрации не замерзшего раствора.

При достижении концентрации раствора, равной эвтектической, процесс его замораживания будет осуществляться без изменения концентрации, как однокомпонентного вещества.

Охлаждение раствора с концентрацией выше эвтектической (зона *C*) будет сопровождаться выделением растворенного вещества в твердокристаллическом состоянии. Выделение растворенного вещества (соли) будет происходить до достижения эвтектической концентрации раствора.

Замораживание пищевых продуктов животного и растительного происхождения аналогично процессу замораживания раствора с доэвтектической концентрацией, так как тканевые соки являются растворами малой концентрации. Реальный процесс замораживания тканевых соков и изменение концентрации раствора более сложный, чем в бинарной системе, в силу того что в тканевых соках растворено большое количество разнообразных веществ.

Эвтектическая температура тканевых соков пищевых продуктов определяется составом растворенных в воде веществ и составляет −55...−65 °С.

**Анализ процесса замораживания.** Процессы, происходящие в пищевых продуктах при замораживании, наиболее наглядно иллюстрируются графиками изменения температур на различной глубине продукта. Анализ большого числа температурных кривых для различных продуктов показал, что они качественно похожи. Это послужило основанием для проведения экспериментов на заменителе пищевых продуктов. В качестве заменителя был выбран гель агара (вещество, получаемое из морских водорослей), который по содержанию сухих веществ, воды и минеральных солей аналогичен пищевым продуктам.

Эксперименты проводились на пластинах из агара толщиной 160 мм. Температуры измерялись пятью термопарами, одна из которых располагалась на поверхности пластины, а остальные на глубине 20, 40, 60 и 80 мм. Результаты измерений приведены на рис. 1.5. Пластину *а* замораживали в воздушной среде при температуре $t_0 = -16$ °С с коэффициентом теплоотдачи на ее поверхности $\alpha = 33$ Вт/(м$^2$·К). Анализ температурных кривых показывает, что поверхностные слои продукта охлаждаются намного быстрее вследствие интенсивного отвода теплоты. Наиболее характерной кривой для процесса замораживания является температура в центре пластины.

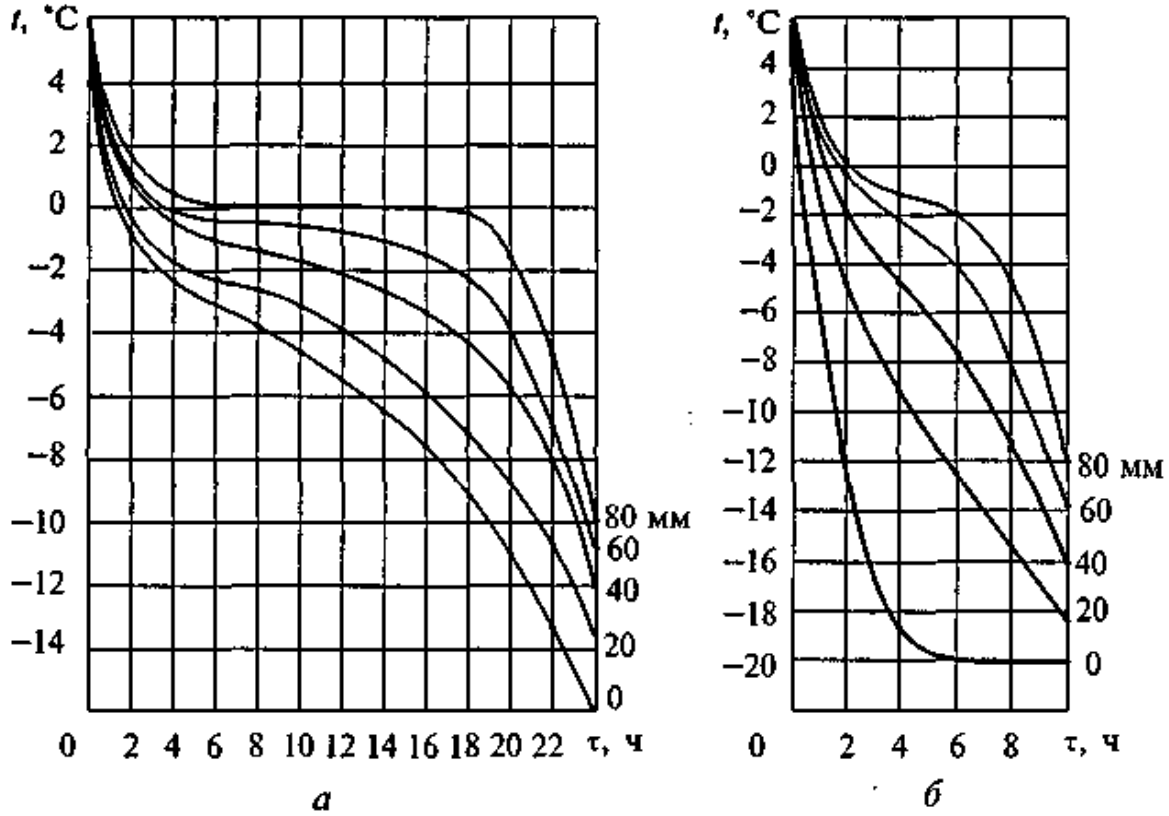



Рис. 1.5. Температурные кривые замораживáния:

*а* — замораживание пластины на воздухе; *б* — замораживание пластины в жидком теплоносителе

Изотермическая площадка на температурной кривой соответствует фазовому переходу, дальнейшее понижение температуры происходит после замерзания основной массы жидкости в геле агара.

Для пластины *б* использовано жидкостное (рассольное) охлаждение при температуре рассола $t_0 = -20\,^{\circ}C$ и коэффициенте теплообмена на поверхности пластины $\alpha = 210$ Вт/(м$^2$·К). Увеличение коэффициента теплоотдачи существенно ускоряет процесс замораживания, однако в центре пластины четко прослеживается близкий к изотермическому характер изменения температуры при фазовом переходе.

**Средняя конечная температура замораживания.** При любом способе замораживания пищевых продуктов теплота отводится с поверхности тела, а глубинные слои имеют более высокую температуру. Эта разность температур будет иметь место и к моменту завершения процесса замораживания продукта. Если после завершения процесса замораживания продукт поместить в камеру хранения, то по истечении длительного времени температура продукта станет одинаковой, произойдет выравнивание температуры за счет внутреннего теплообмена. Эта температура получила название средней конечной температуры замораживания $t_{с.к}$.

Средняя конечная температура замораживания $t_{с.к}$ определяется как среднее арифметическое значение между температурами в

конце процесса замораживания на поверхности продукта $t_{к.п}$ и в центре $t_{к.ц}$

$$t_{с.к} = \frac{t_{к.п} + t_{к.ц}}{2}.$$

**Доля вымороженной влаги.** Тканевую жидкость, превратившуюся в лед при замораживании пищевых продуктов, называют вымороженной. Поскольку при замораживании не вся тканевая жидкость превращается в лед, принято оценивать долю вымороженной жидкости ω в виде

$$\omega = m_л / m_в,$$

где $m_л$ — масса вымороженной тканевой жидкости (льда), кг; $m_в$ — масса тканевой жидкости в замораживаемом продукте, кг.

Масса тканевой жидкости в продукте определится как

$$m_в = mW,$$

где $m$ — масса продукта, кг; $W$ — доля жидкости в продукте.

Доля вымороженной жидкости может изменяться от ω = 0 — твердая фаза отсутствует, до ω = 1 — полностью отсутствует жидкая фаза.

## Холодильное хранение пищевых продуктов

Охлаждение и замораживание пищевых продуктов — подготовительные процессы холодильной технологии перед холодильным хранением. Сроки такого хранения несоизмеримо больше продолжительности охлаждения или замораживания, поэтому при холодильном хранении основное значение приобретает максимальное снижение скорости нежелательных микробиологических, биохимических и химических процессов в пищевых продуктах. Кроме того, в задачу холодильного хранения входит обеспечение сохранности питательных свойств продукта, его питательной ценности, а также товарного качества.

Для рационального холодильного хранения охлажденных или замороженных продуктов необходимо выполнение ряда условий: хранить доброкачественные продукты, прошедшие регламентированную технологическую обработку перед хранением; соблюдать температурный режим хранения; поддерживать определенную влажность при хранении; соблюдать санитарно-гигиенические условия; использовать дополнительные средства, повышающие стойкость хранимых продуктов; применять рациональную тару для хранения продуктов.

**Режимы холодильного хранения пищевых продуктов.** Охлажденные скоропортящиеся пищевые продукты хранят в камерах при температурах, близких к криоскопическим, а относительную влажность поддерживают в пределах 80...85 %.

Температурный режим камер для хранения замороженных продуктов выбирают из планируемого срока хранения. При непродолжительном сроке хранения допускается поддерживать температуру в камерах на уровне –8...–12 °С для сокращения эксплуатационных расходов. Замороженные продукты, предназначенные для длительного хранения, хранят при температуре не выше –18 °С. Более низкие температуры хранения применяют с целью обеспечения сохранности продуктов, содержащих непредельные жирные кислоты, например, рыбы сельдевых пород, тунца и пр.

**Сроки холодильного хранения пищевых продуктов.** Предельным сроком хранения пищевого продукта принято считать такой, по истечении которого в хранимом продукте начинают появляться не присущие продукту посторонние запахи, продукт приобретает привкус, изменяется цвет и внешний вид.

Изменения показателей качества для каждого продукта индивидуальны, но для групп продуктов можно выделить общие признаки, по которым судят об изменении качества.

При хранении жиров животного происхождения микроорганизмы и ферменты вызывают распад ненасыщенных жировых кислот, что приводит к образованию кетонов, обуславливающих горький привкус продукта.

При хранении рыбы и рыбопродуктов происходит распад белковых молекул с образованием аминокислот и, как следствие, триметиламина, присутствие которого свидетельствует о наличии порчи. Характерное изменение окраски хранимых фруктов и овощей, изменение консистенции вследствие биохимических и химических реакций является характерным признаком порчи продукта.

Хранение охлажденных пищевых продуктов при низких положительных температурах (0...2 °С) обеспечивает сохранность мяса, рыбы, птицы в течение одной-двух недель. Скоропортящиеся продукты растительного происхождения при рациональной организации режима хранения могут храниться практически до нового урожая (до 9 мес.).

Имеются опытные данные допустимых сроков хранения замороженных продуктов в зависимости от температуры хранения. Допустимый срок хранения исчисляется с момента замораживания первичного обработанного продукта при условии точного соблюдения технологического процесса.

### Отепление и размораживание пищевых продуктов

Пищевые продукты, для которых заканчивается установленный срок хранения, подвергаются завершающему холодильному технологическому процессу — отеплению или размораживанию. Эти процессы завершают непрерывную холодильную цепь, обеспечи-

вающую доставку пищевых продуктов из сферы производства в сферу потребления с максимально возможной сохранностью питательных и вкусовых свойств, а также товарного вида.

Отеплению подвергаются пищевые продукты после хранения в охлажденном состоянии, размораживанию — продукты после хранения в замороженном состоянии.

**Отепление.** Охлажденные пищевые продукты, перенесенные из камеры холодильного хранения в теплое помещение, например в помещение экспедиции или фасовки, всегда имеют температуру поверхности ниже температуры точки росы. Следствием этого является конденсация влаги атмосферного воздуха на поверхности продукта, которая является питательной средой для развития микрофлоры и развития микробиологического обсеменения, способного привести к порче продукта.

Отеплением называется процесс повышения температуры охлажденного пищевого продукта со скоростью, исключающей образование конденсата на поверхности продукта. Для отепления продуктов используются специальные камеры, в которых предусматривается возможность изменять температуру и направление циркулируемого воздуха. Подготовку воздуха обеспечивают последовательно включенные воздухоохладитель и калорифер. Параметры подаваемого в камеру отепления воздуха не должны приводить к образованию конденсата на поверхности продукта и не должны способствовать усушке продукта. На практике температура воздуха в камере отепления поддерживается на 2...3 °С выше температуры продукта при относительной влажности воздуха около 80 %.

Повышение температуры продукта приводит к активизации микробиологической деятельности и биохимических процессов. Активность микроорганизмов не будет существенно высокой, если поверхность продукта не будет увлажняться.

Положительный эффект дает использование ультрафиолетового облучения или озонирование продуктов при отеплении. В теплофизическом отношении процесс является противоположным процессу охлаждения. Расчет количества теплоты для отепления, а также длительности процесса может быть выполнен по зависимостям процесса охлаждения пищевых продуктов.

**Размораживание.** Размораживанию (дефростанции) подвергают пищевые продукты после хранения в замороженном состоянии. В процессе размораживания кристаллы льда превращаются в жидкость, и распределение влаги в продукте должно вернуться в исходное до замораживания состояние. На практике добиться идеальной обратимости процесса не удается. При замораживании часть клеток и волокон травмируется кристаллами льда, что приводит к снижению влагоудерживающей способности продукта. Кроме того, низкие температуры и биохимические процессы, происходящие

в продуктах при хранении, приводят к коагуляции белков и ослабляют способность клеток и тканей к набуханию. В силу указанных причин из размороженных продуктов выделяется некоторая часть клеточной жидкости. Потери жидкости сопровождаются потерей продуктом питательных веществ и минеральных солей.

Практически применяемые способы размораживания включают в себя:

медленное размораживание в воздушной среде при температуре в камере 0...4 °С;

быстрое размораживание в воздушной среде при температуре в камере 15...20 °С;

быстрое размораживание в паровоздушной среде при температуре 25...40 °С;

размораживание в жидких теплоносителях (воде или рассоле) при температуре от 4 до 20 °С.

Медленное размораживание обеспечивает наилучшее восстановление продукта, равномерное распределение клеточной жидкости. Однако низкие скорости размораживания приводят к развитию биохимических и микробиологических процессов, деятельность которых к концу процесса размораживания может привести к порче продукта.

Быстрое размораживание применяется в основном для пищевых продуктов, используемых для промышленной переработки, — производства колбас, приготовления консервов.

Одним из перспективных направлений является использование СВЧ-печей для размораживания продуктов. В бытовых условиях СВЧ-печи используются не только для размораживания и разогрева продуктов, но и для последующей кулинарной обработки.

## 1.6. Технологические приемы холодильной обработки и хранения пищевых продуктов

### Технология охлаждения пищевых продуктов

Охлаждение пищевых продуктов преследует конкретные цели — понизить скорость биохимических процессов и уменьшить развитие микроорганизмов.

Охлаждение пищевых продуктов животного происхождения осуществляется после прекращения жизни теплокровных или хладнокровных животных и первичной обработки. После смерти животного в мышечной ткани протекают интенсивные процессы, связанные с расщеплением углеводов и эфиров фосфорной кислоты.

Результатом этих процессов является выделение теплоты и, как следствие, повышение температуры продукта. Тепловыделения в

этом случае существенно превосходят количество теплоты, выделяемое при жизни организма.

Если мясо не охладить непосредственно после убоя животного, то это может привести к необратимому процессу — загару мяса. Последний возникает при повышении температуры в толще продукта до появления денатурационных и специфических ферментных процессов распада аминокислот или отдельных белковых веществ. В результате образуются летучие вещества, обуславливающие неприятный запах, и в глубине наиболее толстых частей туш мясо приобретает неестественный цвет. Аналогичные процессы протекают в рыбе и птице.

Количество выделяемой теплоты метаболических процессов находится в прямой зависимости от времени начала охлаждения и скорости охлаждения. Чем раньше будет начат процесс охлаждения и чем выше скорость охлаждения продукта, тем меньшее количество теплоты метаболических процессов выделяется и тем энергетически выгодным становится процесс охлаждения, а качество охлаждаемых продуктов будет выше.

**Охлаждение мяса и мясопродуктов.** Тепловыделения после прекращения жизни животного существенно превышают тепловыделения при жизни. Они могут привести к повышению температуры мясной туши в первый час после убоя на 3,3...7,9 °С при отсутствии теплообмена с окружающей средой.

Отличительной особенностью мышечной ткани являются процессы окоченения и расслабления, т. е. созревания мяса. Задержка в наступлении окоченения, вызванная быстрым охлаждением, является причиной, препятствующей реализации мяса, до того как этот процесс полностью не закончится. В связи с этим следует разумно выбирать скорость охлаждения и конечную температуру продукта. Для ускорения завершения процесса окоченения (ферментации) его следует проводить при температуре 7...9 °С. Мясо высшей упитанности требует для завершения процесса ферментации больше времени, чем мясо более низкой упитанности или мясо молодняка.

После первичной обработки мясные туши, полутуши или четвертины размещают на подвесных путях и охлаждают в камерах, имеющих оборудование для охлаждения воздуха. Существует несколько способов охлаждения мяса:

• *в камере хранения* при постоянной температуре в течение всего процесса охлаждения. В этом случае температура в камере составляет 0 °С, а относительная влажность 87...97 %. Процесс охлаждения заканчивается при достижении температуры мяса в толще бедра 2...4 °С и продолжается 30...36 ч;

• *в камере интенсивного охлаждения* интенсификация процесса охлаждения достигается понижением температуры охлаждающего воздуха и увеличением скорости движения окружающей среды.

Увеличение скорости движения охлаждающего воздуха до 1...2 м/с позволяет сократить в два раза длительность процесса охлаждения. При понижении температуры охлаждающего воздуха до –8...–12 °С и указанной скорости движения охлаждающей среды продолжительность охлаждения до средней конечной температуры по объему бедра 3...4 °С составляет 6...8 ч. При таком интенсивном охлаждении между поверхностными и глубинными слоями будет наблюдаться значительная разность температур. Охлажденное таким образом мясо выдерживают в камере хранения при температуре 2 °С;

• *в камерах тоннельного типа*, как правило, вдоль тоннеля располагают до четырех подвесных путей, по которым подвешенные туши перемещаются от зоны загрузки к зоне выгрузки. Движение охлаждающего воздуха внутри тоннеля обеспечивается принудительно с использованием вентиляторов или струйных систем. Воздух охлаждается в сухих или мокрых воздухоохладителях, устанавливаемых непосредственно в тоннеле или за его пределами.

Установлено, что мясо в полутушах можно охлаждать до –2 °С, при этом кристаллизации содержащейся в мясе воды не происходит.

**Охлаждение птицы.** Мясо домашней птицы и дичи более нежное, чем мясо животных, и поэтому требует своевременного и быстрого охлаждения. Тушки птицы поступают на охлаждение после технологической обработки. Птицу охлаждают в воздушной среде, ледяной воде и тающем льде.

Продолжительность охлаждения птицы в камере при температуре 0...1 °С и естественной циркуляции охлаждаемого воздуха может составлять до 24 ч и более. Интенсификация процесса может осуществляться понижением температуры воздуха в камере до –2 °С и повышением скорости движения воздуха до 4 м/с. В этом случае длительность процесса охлаждения сокращается до 3...6 ч. Воздушное охлаждение применимо только для тушек птицы, подвергнутых сухой ощипке и обработке при температуре 54...50 °С, в противном случае птица обезвоживается и теряет товарный вид.

Более эффективным является охлаждение птицы в «ледяной воде», имеющей температуру 0...2 °С. Длительность ее охлаждения составляет 20...50 мин в зависимости от вида и упитанности птицы. Кожа тушек при этом становится чистой, отбеляется, исчезают пятна от ушибов и кровоизлияний. Вследствие поглощения некоторого количества воды кожей и подкожной тканью форма тушек округляется, и они приобретают хороший товарный вид. Недостатком данного способа охлаждения является возможность перекрестного микробиологического обсеменения, в частности инфицирование сальмонеллой. Для реализации данного способа требуется строгий санитарный контроль с применением дезинфицирующих средств.

Охлаждение тушек птицы тающим льдом осуществляется в специальных ваннах или в таре для хранения. Тушки укладывают на колотый лед, каждый слой пересыпают также колотым льдом. Продолжительность охлаждения составляет 2...4 ч. Вследствие большой трудоемкости и неполного использования тары данный метод не получил большого распространения.

К перспективным методам относится охлаждение тушек птицы орошением ледяной водой. При этом охлаждение совмещается с очисткой и промывкой охлаждаемых тушек. Установлено, что микробиологическое обсеменение на поверхности тушек сокращается на 85...95 %, а количество влаги, поглощаемой тушками, не превышает 2...3 %.

**Охлаждение рыбы.** Рыба и рыбопродукты охлаждаются непосредственно на месте вылова, т.е. на рыболовных судах, оснащенных холодильным оборудованием, или в береговых производственных холодильниках. Наибольшее распространение получило охлаждение с использованием водного льда, охлажденной морской воды или водного раствора хлористого натрия.

При использовании ледяного охлаждения предварительно отсортированную рыбу помещают в тару, перемежая слои рыбы и колотого водного льда. Для охлаждения используется естественный и искусственный лед, но предпочтение отдается искусственному, так как он менее заражен микроорганизмами. Наибольший эффект достигается при изготовлении льда из морской воды. В зависимости от температурных условий, времени года и продолжительности охлаждения рыбы расход льда на охлаждение составляет 40...100 % массы охлаждаемой рыбы.

В качестве жидких сред для охлаждения рыбы используется морская вода или 2%-ный водный раствор хлористого натрия (поваренной соли). Применение раствора хлористого натрия имеет преимущества, так как концентрация раствора близка к концентрации солей в тканевом соке рыбы, вследствие чего осмотические явления сводятся к минимуму. Кроме того, использование искусственно приготовленного раствора снижает микробиологическую обсемененность. Рыба охлаждается в специальных корзинах, которые погружаются в ванны с циркулирующей охлажденной до температуры –2 °С жидкой средой. Продолжительность охлаждения 1...2 ч. Разновидностью охлаждения с использованием жидких сред является охлаждение рыбы холодным жидким теплоносителем на конвейере. Как правило, после охлаждения рыбы жидким солевым раствором ее промывают холодной пресной водой.

**Охлаждение яиц.** Яйца направляют на охлаждение после проверки качества и упаковки в стандартную тару. Ящики или коробки с яйцами устанавливают в шахматном порядке в камере охлаждения, облегчая тем самым доступ воздуха к продуктам и ин-

тенсификацию процесса. Дополнительными мерами интенсификации процесса являются понижение температуры воздуха в камере ниже криоскопической температуры яиц и увеличение скорости движения охлаждающего воздуха до 1...2 м/с. Учитывая способность яиц к переохлаждению, температуру в камере хранения можно принимать на 1...2 °С ниже криоскопической при относительной влажности воздуха в камере 87...90 %.

**Охлаждение молока и молочных продуктов.** Свежевыдоенное молоко является неблагоприятной средой для развития микроорганизмов. Продолжительность данной бактерицидной фазы молока зависит от температуры и при температуре +30 °С составляет около 3 ч. Охлажденное до 0 °С молоко сохраняет бактерицидную фазу в течение 48 ч. Молоко охлаждают непосредственно после удоя в специальных бесконтактных молокоохладителях, используя в качестве охлаждающей среды холодную (ледяную) воду, охлажденный рассол или кипящий холодильный агент (хладагент). Длительность охлаждения в проточных молокоохладителях исчисляется минутами, в емкостных — до 3 ч.

На молокозаводах охлаждают в основном продукты переработки молока — сливки, сметану, кефир, ряженку, творог, масло, сыры и др.; сливочное масло охлаждают в камерах хранения с принудительной циркуляцией воздуха и невысоких отрицательных температурах. Сыры после производства требуют определенных тепловлажностных условий для созревания и хранения при температуре несколько ниже 0 °С.

**Охлаждение пищевых продуктов растительного происхождения.** При охлаждении продукции растительного происхождения затормаживаются процессы дыхания и созревания, снижается активность микробиологической флоры и скорость ферментативных процессов. Все эти факторы способствуют увеличению сроков хранения. Поступающие на охлаждение продукты должны быть отсортированы, не иметь механических повреждений и видимых следов микробиологического поражения.

*Овощная продукция* в виде клубней и корнеплодов (картофель, морковь, свекла) охлаждается в камерах хранения при реверсивном продувании охлажденного воздуха через уложенный в бурт слой продукта, достигающий по высоте 2...3 м. Достаточно часто овощи помещают в стандартные контейнеры, устанавливаемые в камерах хранения в штабели до 5 штук по высоте.

Охлажденный воздух омывает каждый клубень или корнеплод и обеспечивает интенсивное охлаждение и равномерное температурное поле по всей массе продукта. Данный способ охлаждения позволяет снизить влажность продукта и провести лечебный процесс — подсушку раненых поверхностей клубней и корнеплодов.

Овощная продукция с развитой поверхностью (салат, зелень) часто охлаждается погружением в ледяную воду. При этом зелень

одновременно с охлаждением моется и очищается. Отработанная ледяная вода после доохлаждения и дезинфекции используется для повторного охлаждения. Возможна реализация процесса охлаждения на конвейере. При новом методе охлаждения используются вакуумные камеры. При понижении давления воздуха в них до 1,3...1,9 кПа происходит испарение влаги с поверхности овощей (до 1...2 %) и овощи охлаждаются за 15...20 мин.

*Фрукты* целесообразно охлаждать непосредственно на месте сбора — в станциях предварительного охлаждения. Как правило, станции охлаждения изготавливают в виде легкосборных или надувных теплоизолированных конструкций, оснащаемых системами искусственного охлаждения. Окончательное охлаждение фруктов осуществляется в транспортных холодильниках — автомобильных или железнодорожных. В транспортных холодильниках предусматривают принудительное движение воздуха, обеспечивающее ускорение процесса охлаждения и выравнивание температуры по всему охлаждаемому объему.

### Технология замораживания пищевых продуктов

**Способы замораживания.** В зависимости от вида замораживающей среды способы замораживания могут быть разделены на замораживание в воздушной среде, жидких теплоносителях и криогенных жидкостях.

*Замораживание в воздушной среде* получило наибольшее распространение вследствие простоты и доступности теплоносителя (воздуха). Замораживание осуществляется в морозильных камерах или морозильных туннелях. Воздух охлаждается до температуры –30...–40 °С и со скоростью 1...2 м/с подается на обдув замораживаемых продуктов. Продукты, которым в процессе замораживания желательно придать определенную форму (например, рыбное филе), замораживают в специальных лотках. По способу отвода теплоты от лотков различают одностороннее и двустороннее контактное замораживание.

Наилучший эффект достигается при замораживании фасованных продуктов небольшого размера в специальном морозильном оборудовании, получившем название скороморозильных аппаратов. Продукты малых размеров, например зеленый горошек, замораживают методом флюидизации, в «кипящем слое». Недостатком способа является относительная продолжительность процесса и потеря влаги поверхностным слоем замораживаемого продукта (усушка). Разновидностью воздушного (газового) замораживания является использование для этого процесса твердой углекислоты. Помимо создания низкой температуры (температура сублимации углекислоты составляет –79 °С) создается защитная атмосфера, препятствующая развитию микроорганизмов. Этот

способ достаточно дорогой и большого распространения не получил.

При *замораживании в жидких теплоносителях* различают замораживание орошением или погружением. При замораживании орошением жидкий, охлажденный до низких температур теплоноситель (чаще всего водный раствор хлористого натрия, хлористого кальция или пропиленгликоля) подается через форсунки или другие разбрызгивающие устройства на орошение замораживаемого продукта. Замораживание погружением является более эффективным процессом с равномерным замораживанием продукта со всех сторон. Недостатком данных методов является необходимость применения герметичной упаковки, чтобы исключить контакт замораживаемого продукта с замораживающей средой (бесконтактное замораживание).

*Замораживание в криогенных жидкостях* (жидком воздухе или жидком азоте) не нашло большого применения. В некоторых случаях замораживание орошением жидким воздухом используется как вспомогательная технологическая операция, например замораживание черного перца-горошка перед размолом.

**Замораживание пищевых продуктов животного происхождения.** Замораживание пищевых продуктов является подготовительным процессом перед длительным хранением. Хранение в замороженном состоянии отличается большой стойкостью продукта, обеспечивая сохранность, питательность, а также товарный вид.

Большинство пищевых продуктов в замороженном состоянии может храниться в течение года. Отличительной особенностью замораживания является превращение тканевой жидкости в лед. Отсутствие жидкой среды приводит к существенному снижению жизнедеятельности микроорганизмов и скорости биохимических процессов в продукте. Совершенствование способов замораживания, технологических режимов процесса, создание новых видов упаковочных материалов обеспечивает все более широкое применение данного способа консервирования скоропортящихся продуктов.

Замораживание мяса крупного рогатого скота, свинины и баранины чаще всего производят в воздушной среде после предварительного охлаждения («двухфазный» способ). Продолжительность процесса замораживания зависит от размеров мясной туши или полутуши, температурного перепада между мясом и замораживающим воздухом и скорости его движения.

Замораживание мяса производят в морозильных помещениях камерного или тоннельного типа в подвешенном к троллеям подвесных путей состоянии. При подвешивании наиболее толстые части (бедра) мяса располагают вверху, в зоне максимального обдува охлажденным воздухом. Перемещение замораживаемых туш или полутуш осуществляется вручную или конвейерами. На каж-

дом подвесном пути стараются разместить туши одной категории упитанности и приблизительно одной массы. Интервал между тушами и полутушами составляет 30...50 мм, что соответствует размещению на 1 погонном метре двух-трех говяжьих или трех-четырех свиных полутуш или раму с бараньими тушами. Помещения камерного типа работают по цикличному графику, тоннельного — непрерывно.

В современных морозильных камерах и тоннелях поддерживается температура воздуха –30...–35 °С при скорости принудительного движения воздуха 1...3 м/с.

Продолжительность замораживания туш и полутуш составляет 19...27 ч. Одно из перспективных направлений развития технологии замораживания мяса — отказ от замораживания мяса в тушах. Мясные туши разрубаются на отрубы, для замораживания которых используются высокоэффективные скороморозильные аппараты.

Замороженным считается мясо, средняя конечная температура которого на 10 °С ниже криоскопической.

Мясо и субпродукты, предназначенные для последующей промышленной обработки в колбасно-кулинарные изделия, замораживают в блоках толщиной 60...150 мм.

Мясо снимают с костей и жилуют, а субпродукты очищают в соответствии с действующими инструкциями по их обработке. Блоки замораживают в упаковке в специальных морозильных аппаратах.

Битую птицу замораживают в морозильных камерах с естественной или принудительной циркуляцией воздуха или в морозильных туннелях. Кроме того, для замораживания птицы используются охлажденные жидкие теплоносители — водный раствор пропиленгликоля, водный раствор хлористого кальция или хлористого натрия.

Наибольшее распространение получил воздушный способ замораживания. При замораживании в морозильных камерах тушки птицы укладывают в стандартные деревянные ящики. Ящики устанавливают в камере в шахматном порядке со снятыми крышками. При температуре воздуха в камере –18 °С и естественной циркуляции воздуха длительность процесса замораживания составляет 48...72 ч.

Понижение температуры в камере до –23 °С и принудительная циркуляция воздуха со скоростью 3...4 м/с позволяет сократить время замораживания до 24...36 ч. Для интенсификации процесса замораживания птицы на воздухе используются морозильные камеры туннельного типа, в которых замораживающий воздух при температуре –25...–30 °С циркулирует со скоростью 4 м/с и выше. Продолжительность процесса замораживания тушек птицы составляет 15...20 ч. При замораживании птицы в жидких теплоносите-

лях (пропиленгликоль, водный раствор хлористого кальция) тушки помещают в герметичные упаковки из полимерных материалов и погружают в раствор, охлажденный до –28 °С. Изменяя температуру теплоносителя и время выдержки в теплоносителе, можно добиться высокой скорости замораживания и отбеливания поверхности тушки для придания хорошего товарного вида. Достаточно часто погружение в охлажденные теплоносители используется для начальной стадии замораживания, а окончательное замораживание осуществляется в морозильной камере. В этом случае тушки погружают в охлажденный теплоноситель на 20...40 мин, а затем переносят в камеру хранения с температурой воздуха –25...–30 °С.

Для замораживания рыбы используется продукт высокого качества, не имеющий внешних дефектов и признаков порчи. Рыба сортируется по размеру, промывается для удаления загрязнений и слизи, а у крупной рыбы удаляются внутренности. Замораживают рыбу преимущественно на воздухе, реже — в жидких теплоносителях (водных растворах солей).

При замораживании на воздухе рыба размещается на стационарных стеллажах, в корзинах или формах на подвесных путях или вешалах. Температура в морозильных камера поддерживается –30 °С и ниже. Для интенсификации теплообмена применяется принудительная циркуляция воздуха. Рыбы жирных пород, например сельдевые, замораживают при более низкой температуре.

Рыбу ценных пород, особенно крупную по размеру, рекомендуется после замораживания глазуровать льдом. Для этого рыбу несколько раз погружают в пресную холодную воду и извлекают для образования на поверхности тонкой корочки льда. Образованная корочка льда предохраняет рыбу от усушки, а отсутствие контакта жира с кислородом воздуха — от окисления.

На морозильных судах различных типов широко применяются морозильные аппараты преимущественно конвейерного и роторного типов. Аппараты достаточно компактны, обеспечивают хорошее качество замораживаемого продукта, время замораживания составляет 2...8 ч.

Большую долю в переработке рыбы занимает производство замороженного рыбного филе — рыбы, отделенной от костей, внутренностей, чешуи и кожи. Рыбное филе формируют в виде блоков толщиной не более 50 мм и массой в несколько килограмм. Процесс замораживания блоков осуществляют непосредственно на рыбоперерабатывающих морозильных судах или береговых производственных холодильниках. Для замораживания используются плиточные скороморозильные аппараты, в изложницах (формах) которых замораживают блоки филе. Замороженные блоки упаковывают в пергамент или полимерные пленки и укладывают в коробки из гофрированного картона. Хранение и транспортировку коробок с блоками рыбного филе осуществляют при температуре –18...–20 °С.

Рыба мелкого и среднего размера замораживается уложенной в металлическую тару. Для большей сохранности рыбу в металлической таре заливают водой и замораживают в виде ледяного монолита. В ряде случаев мелкую рыбу после вылова перерабатывают в фарш, который замораживают в виде блоков, подобных блокам рыбного филе.

Замораживание яичных продуктов (яичных белков, желтков или их смеси, которую называют меланжем) осуществляется в банках из белой жести массой нетто 2,8; 4,5 и 8 кг или в полиэтиленовых емкостях массой 8,5 кг. Для промышленного производства вырабатывают яичный меланж мороженый с солью (0,8 %) и яичный меланж мороженый с сахаром (5 %). Расфасованный продукт помещают в морозильные камеры с температурой –20...–25 °С и скоростью движения воздуха 3...4 м/с. Яичная масса считается замороженной при достижении температуры в центре упаковки –6...–10 °С.

Целые яйца в скорлупе не замораживаются, так как при этом происходит механическое разрушение скорлупы из-за расширения содержимого.

Замораживание молока и молочных продуктов. *Молоко* после предварительной гомогенизации замораживается с высокой скоростью, хранится длительное время и хорошо восстанавливается. Но на современных молококомбинатах молоко практически не подвергается замораживанию.

Чаще всего воздействию низких температур подвергают продукты переработки молока.

*Творог* замораживают для создания запасов с целью бесперебойного снабжения. При этом рекомендуется расфасовывать творог в блоки массой 6,5 кг или брикеты по 0,5...1 кг и помещать в морозильные камеры или морозильные аппараты. Температура в морозильной камере или морозильном аппарате должна быть –28...–30 °С, а температура в камере хранения –18 °С.

*Сыры* замораживать не рекомендуется вследствие изменения их вкусовых показателей.

Для производства *масла* используются высокожирные сливки. Масло, изготовленное из сливок, полученных в зимних условиях, хуже, чем масло из летних сливок. Большое значение в производстве масла имеет замораживание летних сливок, которые зимой размораживают, смешивают с зимними и эту смесь используют для приготовления масла. Сливки перед замораживанием подвергают высокотемпературной пастеризации (95...98 °С) с выдержкой 15 с. Затем сливки расфасовывают в пакеты из полимерной пленки и замораживают в пластинчатых морозильных установках.

Масло, расфасованное в блоки по 25 кг и упакованное в полимерные материалы, замораживают до –18 °С. Влага, находящаяся в масле, имеет мелкодисперсную структуру и поэтому чаще

всего находится в переохлажденном состоянии и замораживается крайне медленно. При температуре в морозильной камере –25 °С монолит масла на глубине 60...80 мм будет иметь температуру –12 °С через 2 сут.

*Мороженое*, приготовленное во фризере, подвергается закаливанию до –12...–15 °С для придания ему механической твердости и стойкости при хранении. Жестяные формы с мороженым закаливают погружением в охлажденный до температуры не выше –25 °С теплоноситель (рассол или пропиленгликоль). Мелкофасованное мороженое закаливают в скороморозильных аппаратах с воздушным охлаждением при –26...–35 °С.

**Замораживание пищевых продуктов растительного происхождения.** Пищевые продукты растительного происхождения замораживаются с сохранением питательных и вкусовых показателей и используются после хранения как для употребления в сыром виде, так и для бытового или промышленного приготовления кулинарных изделий.

Для замораживания овощей пригодны цветная и брюссельская капуста, капуста брокколи, шпинат, фасоль, морковь, зеленый горошек, томаты, перец, баклажаны, кабачки, картофель, зерно кукурузы, а также всевозможные овощные наборы.

Перед замораживанием овощи чистят, моют, сортируют, нарезают и иногда бланшируют. В результате бланширования (обработка паром или горячей водой в течение нескольких десятков секунд) существенно снижается активность окислительных ферментов и удаляется воздух из межклеточных ходов, предотвращая потемнение обрабатываемого продукта. Бланширование приводит также к уничтожению поверхностной микрофлоры. Обработанные продукты быстро моют в проточной холодной воде, охлаждают и замораживают. Наиболее эффективно замораживание осуществляют в скороморозильных аппаратах при –30 °С и ниже и интенсивном принудительном движении воздуха. Замороженные продукты фасуют и упаковывают в картонную тару или полимерные материалы для последующего хранения.

Фрукты (плоды и ягоды) замораживают в натуральном виде или с добавлением сахара или сахарного сиропа. Замораживают садовые ягоды, дикорастущие ягоды, а также персики, сливы и др. Для замораживания используют доброкачественные ягоды и плоды потребительской зрелости. Продукты сортируют, очищают, моют и бланшируют. Крупные плоды разделяют на половинки или дольки. Для предотвращения вымерзания воды из тканевой жидкости к плодам и ягодам перед замораживанием добавляют сахар или сахарный сироп.

Замораживание осуществляют в скороморозильных аппаратах при температуре принудительно обдувающего воздуха –30 °С и ниже с последующей расфасовкой в картонную тару или полимерные

материалы. Часто замораживание проводят для предварительно расфасованных плодов и ягод. Для промышленного применения (производство мороженого, кондитерских изделий) используют замороженое фруктовое пюре с сахаром.

Процесс замораживания применяется также для концентрации соков, обеспечивая получение сока с большим содержанием биологически активных веществ, лучшим вкусом и ароматом по сравнению с концентрированным соком, полученным методом выпаривания.

### Хранение пищевых продуктов в охлажденном состоянии

Охлажденные продукты хранят в холодильной камере при температуре 2...3 °С, что в целом несколько выше криоскопической. Влажностный режим камер хранения поддерживают в соответствии с технологическими требованиями для каждого вида продукта.

**Хранение мяса.** Охлажденное мясо с начальной температурой в толще наиболее массивной части (бедра) не выше 4 °С хранят в виде туш или полутуш в подвешенном состоянии на крючьях подвесных путей. В камере хранения туши располагают на расстоянии 20...30 мм друг от друга. В камере поддерживается температура воздуха 0...2 °С, а скорость его движения не должна превышать 0,2...0,3 м/с. Продолжительность хранения составляет 7...16 сут.

Ко времени выдачи мяса после хранения на дальнейшую переработку или потребление оно должно иметь нежную консистенцию и аромат, присущий свежему продукту. Эти свойства мясо приобретает в результате сложных биохимических процессов, называемых созреванием. Процесс созревания мяса начинается при охлаждении и заканчивается при холодильном хранении. Сроки созревания мяса зависят от температуры. При 0 °С продолжительность периода созревания говядины составляет 8...10 сут., при 10 °С — около 5 сут., при температуре 17 °С — 3 сут.

Неблагоприятные условия хранения сопровождаются нежелательными микробиологическими изменениями и, как следствие, появлением на поверхности мяса плесени и ослизнения. Облучение камеры хранения мяса ультрафиолетовыми лучами является одним из эффективных способов борьбы с микробиологической порчей.

Небольшое увеличение сроков хранения обеспечивает подмораживание мяса, т. е. замораживание поверхностного слоя, не превышающего 25 % от массы туши или полутуши. Подмороженное мясо при −1...−2 °С хранят в подвешенном состоянии или в штабелях общей высотой не более 1,7 м. Продолжительность хранения подмороженного мяса допускается до 17 сут.

**Хранение битой птицы.** По окончании процесса охлаждения птицы ящики с тушками помещают в камеры хранения и устанавли-

вают в штабели в шахматном порядке для улучшения теплообмена. Температура в камерах холодильного хранения поддерживается в диапазоне 0...–2 °С при относительной влажности воздуха 80...85 %. Срок хранения упакованных в бумагу и уложенных в деревянные ящики охлажденных тушек птицы составляет 5 сут., упакованных в полиэтиленовые пакеты — 5...6 сут., в сарановую термоусадочную пленку — до 10 сут.

Для увеличения сроков хранения мясо птицы подмораживают, что практически не сказывается на его качестве. Подмораживанием называют понижение температуры охлажденной тушки птицы до 0...–1 °С в толще грудной мышцы и до –4 °С на глубине 5 мм. Подмораживают тушки птицы, упакованные в пакеты из полимерной пленки, в воздушной среде или в жидких теплоносителях.

Для подмораживания в воздушной среде ящики с охлажденными тушками птицы помещают в морозильные камеры с температурой –23 °С и ниже и скоростью принудительного движения воздуха 3...4 м/с. Длительность подмораживания составляет 2...3 ч в зависимости от упитанности и вида птицы.

Для подмораживания тушек птицы в жидких теплоносителях используют охлажденный водный раствор хлористого кальция или водный раствор пропиленгликоля. Герметично упакованные в полимерные материалы тушки погружают в охлажденный до температуры –12 °С жидкий теплоноситель и выдерживают в течение 20...25 мин. Подмороженные тушки птицы хранят в камерах при температуре –2 °С и относительной влажности 90...95 % до 25 сут.

**Хранение яиц.** Охлажденные яйца хранят в картонных коробках или стандартных деревянных ящиках. Температуру в камерах хранения поддерживают на уровне –1...–2 °С при относительной влажности воздуха 85...88 %. Ящики с яйцами укладывают в штабели по 10 шт. в каждом, картонные коробки устанавливают на стеллажах. На протяжении хранения, но не реже одного раза в 2 мес., проводят контрольное овоскопирование яиц. По результатам овоскопирования определяют дальнейший срок хранения яиц и последовательность реализации.

**Хранение рыбы.** Рыба в охлажденном состоянии хранится в ледяной крошке, колотом или чешуйчатом льде. Для хранения стараются использовать искусственный лед, имеющий меньшую микробиологическую обсемененность. Хорошие результаты получают при использовании льда из морской воды с добавлением антисептиков (гипохлорид, перекись водорода, углекислота, озон) или антибиотиков (хлортетрациклин или террамицин). Продолжительность хранения свежей охлажденной без механических повреждений рыбы 15 сут., применение антибиотиков или антисептиков позволяет увеличить срок хранения на 5...7 сут.

Подмораживанием рыбы удается увеличивать срок хранения до 25 сут. практически без потери качества. Подмораживание осу-

ществляется на воздухе при температуре –20 °С или в охлажденных жидких теплоносителях.

Свежую зернистую икру хранят в охлажденном состоянии до 4 мес. при температуре –1...–3 °С и относительной влажности воздуха 85...90 %, паюсную икру при тех же условиях — до 8 мес.

Соленая рыба обладает резким специфическим запахом и для ее хранения выбирают охлаждаемые камеры, расположенные в стороне от основных грузовых потоков холодильника и с минимальным контактом с другими камерами. Температуру в камерах хранения поддерживают на уровне 0...–2 °С при влажности воздуха 85...90 %.

Слабосоленую рыбу хранят в течение 4 мес., рыбу крепкого посола — до 8 мес.

Копченую рыбу хранят 2...3 мес. при температуре 0...2 °С и относительной влажности 75...80 %.

**Хранение молока и молочных продуктов.** Эти продукты в охлажденном состоянии помещают в камеры хранения после предварительной холодильной обработки. В охлажденном виде хранят молоко, сметану, творог, сыры. Свежее охлажденное молоко хранится в течение суток в охлаждаемых экспедиционных помещениях молочных заводов (комбинатов). Пастеризованное и расфасованное молоко при температуре 0 °С имеет срок хранения до 7...10 сут. Стерилизованное молоко (нагрев до 140 °С в течение 4 с), расфасованное в упаковки «Тетра Пак», может храниться до 6 мес. при температуре 0 °С и до 2 мес. при комнатной температуре.

Сметану хранят при температуре 0...2 °С при относительной влажности воздуха в камере 80...85 % в течение 1,5...2,0 мес. Для избежания развития плесеней в камере создается принудительное движение воздуха с небольшой скоростью.

Творог и изделия из творога имеют сроки хранения до 10 сут. при температуре в камере хранения 0...–1 °С и относительной влажности 80...85 %. Лучше сохраняется обезжиренный творог. Жирный творог более подвержен процессам окисления и гидролиза жиров.

В зависимости от сорта сыр хранят при температуре 0...–5 °С. Многие сорта сыров хранят в стандартной таре — ящиках или коробках, которые укладывают в штабели по 5...7 рядов. Твердые сорта сыров, например Швейцарский, могут храниться без тары, в стопках с деревянными прокладками. Каждые 8...10 дней стопки перекладывают, переворачивая сыр и меняя его положение в стопке.

Молочные консервы, сгущенное молоко с сахаром и без сахара хранят в жестяных банках, уложенных в картонные коробки. При температуре хранения 0 °С и относительной влажности 75...80 % срок хранения составляет более 12 мес. Коробки со сгущенным молоком периодически переворачивают для предохране-

ния от образования на дне банок плотной массы с повышенным содержанием сахара.

**Хранение овощей.** Листовая зелень (салат, шпинат, щавель), а также редис, зеленый лук и др. хранят в охлажденном виде в течение нескольких суток. На длительное хранение закладывают разные виды клубней и корнеплодов: картофель, морковь, свеклу, лук и др. Для их хранения все чаще используют метод проточного реверсивного вентилирования насыпного слоя. Охлажденный воздух принудительно продувается через 2...3-метровый слой хранимых овощей, причем направление движения воздуха периодически изменяют.

**Хранение фруктов.** Перед хранением их тщательно отбирают и упаковывают в стандартную тару — деревянные ящики различных видов. Ящики устанавливают в штабели до 7 ящиков по высоте так, чтобы ко всем ящикам имелся свободный доступ воздуха. По результатам многолетнего опыта хранения рекомендуются следующие температурные условия: яблоки −0,5...0,5 °С; груши, персики, абрикосы, вишня, черешня 0 °С; садовые и дикие ягоды 0...0,5 °С; апельсины и лимоны 0,5...4,0 °С; мандарины 0,3...2 °С.

Относительная влажность воздуха в камерах хранения цитрусовых 78...83 %, для косточковых — 80...85 %, для груш, яблок и винограда — 85...90 %. При хранении фруктов обеспечивается принудительная приточно-вытяжная циркуляция воздуха с кратностью циркуляции 2...4 в сутки.

Срок холодильного хранения фруктов и ягод складывается из периода дозревания и хранения в созревшем виде. Большинство ягод и косточковых не обладают способностью дозревания, и поэтому поступают на хранение в созревшем состоянии. Сроки хранения черешни, сливы, вишни, абрикосов, персиков составляют несколько дней. Яблоки и груши хорошо дозревают при хранении и могут храниться в течение нескольких месяцев.

Хорошие результаты дает хранение фруктов в регулируемых газовых средах (РГС). Для хранения используются в основном три группы смесей (компонентами смесей являются азот, кислород, углекислый газ):

нормальные — содержание кислорода в смеси уменьшено до 10...11 %, а углекислого газа увеличено до 10...11 % (всего не более 21 %);

субнормальные — содержание кислорода составляет 3...8 %, а углекислого газа — 3...5 %;

без содержания углекислого газа — концентрация кислорода в смеси 2...3 %.

Применение РГС позволяет существенно замедлить процессы дозревания и увядания плодов, удлинить их срок хранения, снизить в два-три раза воздействие от микробиологической порчи и др.

## Хранение пищевых продуктов в замороженном состоянии

**Хранение мяса.** *Мороженое мясо*, технологически обработанное однофазным или двухфазным способом, закладывается на хранение, если температура в толще бедра не выше –8 °С, а на поверхности близка к температуре камеры хранения. Температура воздуха в камере хранения замороженного мяса составляет для кратковременного хранения не выше –12 °С, для длительного — не выше –18 °С. Относительная влажность в камере поддерживается 95...98 %, при умеренной циркуляции воздуха со скоростью не выше 0,2...0,3 м/с. Сроки хранения мороженого мяса составляют: при температуре –12 °С — $\tau = 2...8$ мес.; при –18 °С $\tau = 4...12$ мес.; при –25 °С $\tau = 8...18$ мес.

Колебание температуры воздуха в камере в процессе хранения не должно превышать ±2 °С. Условия хранения мяса и субпродуктов в блоках аналогичны приведенным выше, но сроки хранения субпродуктов вдвое меньше.

*Битая птица* хранится в морозильных камерах при температуре не выше –12 °С и относительной влажности воздуха не ниже 85...95 %. Продолжительность хранения замороженной птицы на производственных холодильниках составляет несколько месяцев.

**Хранение яйцепродуктов.** В замороженном виде хранят яичный меланж. Предельный срок хранения меланжа, упакованного в мешки из полиэтиленовые пленки при температуре –6 °С, составляет 6 мес., в банках из белой жести — 8 мес. Понижение температуры хранения до –10 °С приводит к увеличению сроков хранения до 8 и 10 мес. соответственно. Меланж с солью и сахаром хранят при температуре не выше –10 °С до 10 мес.

**Хранение рыбы.** Рыбу в замороженном состоянии упаковывают в ящики и хранят при общих для замороженных продуктов режимах. Блоки мелкой рыбы и рыбного филе упаковывают в картонные или деревянные ящики и хранят в морозильных камерах. Сроки хранения мороженой рыбы 2...9 мес., причем меньшие сроки относятся к рыбе жирных пород. Наиболее эффективным способом предохранения рыбы жирных пород от порчи является понижение температуры в камере хранения до –30 °С.

**Хранение молочных продуктов.** Хранению в замороженном состоянии подлежат в основном сливочное масло, топленое масло, маргарин, а также мороженое.

Для хранения масла более 3 мес. устанавливается температура в камере –18 °С при относительной влажности воздуха 95...100 % без принудительного движения воздуха. Для уменьшения осаливания, прогоркания и гидролизных превращений масло упаковывают в полимерные пленочные материалы.

Мороженое хранят при температуре –18 °С в основном для создания резерва. Продолжительность хранения фруктового моро-

женого не превышает 10 дней, молочного — до 1 мес., сливочного — до 2 мес. и пломбиров — до 3 мес. При увеличении сроков хранения в мороженом укрупняются кристаллы льда, образуя грубую структуру. Фасованное мороженое хранят в картонных коробках, весовое — в луженых металлических гильзах.

**Хранение фруктов и овощей.** Режим хранения замороженных овощей и фруктов не отличается от хранения других мороженых продуктов. Температура хранения не выше −18 °С, сроки хранения 5...8 мес. Понижение температуры хранения приводит к значительному замедлению нежелательных изменений в продуктах растительного происхождения и увеличивает допустимый срок хранения. Повышение температуры хранения приводит к активизации ферментативных процессов в растительных продуктах и, как следствие, к ухудшению качества после замораживания.

Замороженные плодово-ягодные соки, ягоды и фрукты при температуре в камере хранения выше −8 °С могут подвергаться брожению с образованием в них спирта. Сохранность витаминов, в частности витамина С, обеспечивается прибавлением небольшого количества сахара к плодам и ягодам перед процессом замораживания.

**Усушка продуктов при холодильном хранении.** Продукты, помещенные в холодильные камеры хранения без герметичной упаковки, с течением времени теряют массу. Происходит это вследствие испарения влаги с поверхности продуктов. При этом ухудшается их качество. Высохший поверхностный слой продуктов становится пористым, адсорбирует посторонние запахи и приобретает лежалый специфический привкус. Кроме того, испарившаяся с поверхности продукта влага оседает в виде снеговой шубы на поверхностях охлаждающих приборов, что приводит к снижению эффективности системы охлаждения.

На усушку влияет большое число факторов. К ним относятся стабильность температурного и влажностного режимов в камере, равномерность температурного поля по объему камеры, движение воздуха в объеме камеры, наличие приточно-вытяжной вентиляции в камере и др.

Для снижения усушки необходимо: строго соблюдать технологические режимы хранения; применять герметичные (где это возможно) упаковочные материалы для хранимых продуктов; использовать пищевые обмазки для продуктов (глазурование мороженой рыбы водным льдом, желатиновые обмазки для мороженого мяса и пр.); обертывать продукты тканью; искусственно повышать влажность в камерах хранения продуктов растительного происхождения.

# Глава 2. ХОЛОДИЛЬНЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ И ХОЛОДИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

## 2.1. Понятие о непрерывной холодильной цепи

Под непрерывной холодильной цепью понимают совокупность технических средств, реализующих основные холодильные технологические процессы (охлаждение, замораживание, холодильное хранение, размораживание и отепление) в процессе перемещения скоропортящихся продуктов из сферы производства в сферу потребления. Отдельные элементы холодильной цепи получили название звеньев. Для обеспечения наилучшей сохранности продуктов температурные режимы охлажденных или замороженных продуктов должны поддерживаться неизменными в процессе перемещения от звена к звену цепи. Это может быть достигнуто только согласованностью параметров звеньев цепи и, что особенно важно, параметрами средств, осуществляющих перемещение продуктов от звена к звену холодильным транспортом.

Один из вариантов непрерывной холодильной цепи приведен на рис. 2.1. В данной схеме под сферой производства подразумевается любое заготовительное предприятие продуктов животного (мясокомбинат, птицеферма, рыболовное судно) или растительного (сельскохозяйственное производство) происхождения. Сферой потребления, как правило, являются города и крупные промышленные центры, достаточно часто удаленные на большие расстоя-

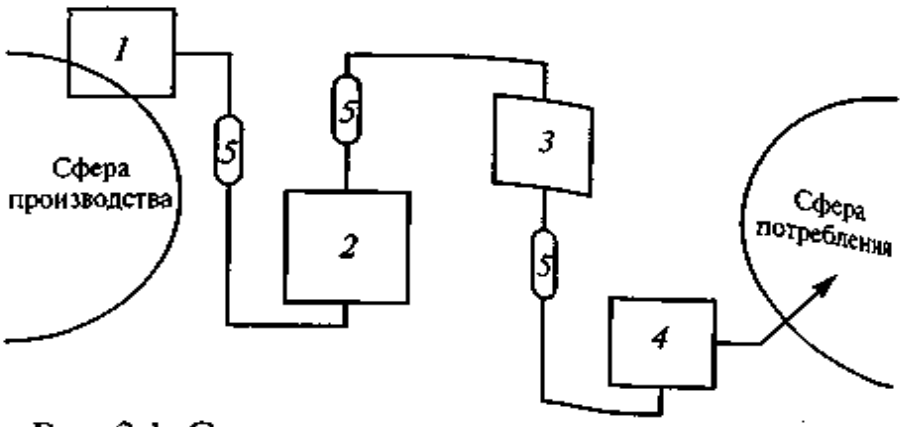



Рис. 2.1. Схема непрерывной холодильной цепи:

*1* — производственный (заготовительный) холодильник; *2* — базисный холодильник; *3* — распределительный холодильник; *4* — холодильники предприятий торговли, массового питания, бытовые холодильники; *5* — холодильный транспорт (железнодорожный, автомобильный, водный)

яния от производства продуктов. Дополнительную сложность создает ярко выраженный сезонный характер некоторых заготовительных предприятий. Поэтому достаточно часто в функции предприятий непрерывной холодильной цепи входит не только доставка продуктов потребителю, но и их равномерное распределение в течение всего срока хранения.

В состав непрерывной холодильной цепи (звенья холодильной цепи) могут входить производственные (заготовительные), базисные, распределительные, торговые стационарные холодильники, а также торговое холодильное оборудование (шкафы, прилавки, витрины) и бытовые холодильники. Все звенья непрерывной холодильной цепи соединяются холодильным транспортом — железнодорожным, автомобильным или водным.

***Производственные (заготовительные) холодильники*** располагаются непосредственно в районах производства или заготовки пищевых продуктов и предназначены для первичной низкотемпературной обработки — охлаждения или замораживания. Холодильники данного типа могут быть самостоятельным заготовительным предприятием — рыбозаготовительные, птично-яичные заготовительные — или цехом предприятия пищевой промышленности — мясокомбината, молочного комбината и пр. Работа холодильников данного типа характеризуется резкой неравномерностью, обусловленной сезонностью заготовок продуктов. Кроме того, первичные низкотемпературные процессы (охлаждение и замораживание) являются одними из наиболее энергоемких, что накладывает определенный отпечаток на требования к оборудованию предприятия. Холодильное оборудование этих холодильников отличается большой производительностью при относительно небольших помещениях для хранения обработанной продукции.

***Базисные холодильники*** предназначены для долгосрочного хранения пищевых продуктов, прошедших первичную холодильную обработку в производственных или заготовительных холодильниках. Назначение базисных холодильников — создание резервных запасов продовольствия и обеспечение равномерного распределения по времени и регионам. Базисные холодильники обычно характеризуются большими емкостями для хранения (большими площадями) и относительно небольшой мощностью холодильного оборудования. Поскольку продукты закладываются на длительное хранение, к температурным и влажностным режимам холодильных камер предъявляют повышенные требования.

***Распределительные холодильники*** обеспечивают равномерное снабжение крупных городов и промышленных центров сезонными продуктами питания в течение всего года. Кроме того, поступающие в распределительные холодильники крупные (оптовые) партии охлажденных или замороженных продуктов разбиваются

на более мелкие (средний и мелкий опт). Выпуск грузов из холодильников осуществляется равномерно. Распределительные холодильники снабжаются железнодорожными подъездными путями и дебаркадером для автомобильного холодильного транспорта. Аналогично базисным холодильникам распределительные холодильники характеризуются относительно большими емкостями для хранения продуктов и небольшой мощностью холодильного оборудования.

Достаточно часто распределительные холодильники дополнительно оснащаются производственными цехами для производства мороженого, для фасовки масла, мяса, птицы, производства пельменей и др. Вспомогательными функциями подобных производственных цехов может быть производство водного льда и твердой углекислоты.

***Стационарные холодильники предприятий торговли и массового питания*** служат для кратковременного хранения продуктов на торговых базах, предприятиях торговли (магазины) и предприятиях массового питания (рестораны, кафе, столовые). Сроки хранения продуктов не превышают нескольких дней и поэтому к температурным и влажностным условиям хранения предъявляются менее строгие требования.

***Торговое холодильное оборудование*** предназначается для кратковременного (оперативного) хранения при пониженных температурах, демонстрации, выкладки и продажи скоропортящихся продуктов на предприятиях торговли и массового питания. К оборудованию данного типа относятся сборные холодильные камеры, охлаждаемые витрины, охлаждаемые прилавки, прилавки-витрины, холодильные шкафы и технологическое холодильное оборудование.

***Бытовые холодильники*** служат для кратковременного хранения пищевых продуктов в домашних условиях и для периодического производства пищевого льда.

Торговое холодильное оборудование и бытовые холодильники являются завершающими звеньями непрерывной холодильной цепи, так как именно в этих звеньях заканчивается путь продуктов питания от сферы производства к потребителю.

## 2.2. Холодильный транспорт

Холодильный транспорт соединяет стационарные звенья непрерывной холодильной цепи, обеспечивая неизменность температуры продуктов при перемещении их от звена к звену. Особенно велико значение холодильного транспорта для стран с большими расстояниями между регионами производства продуктов питания и их потребления. Большое значение имеет холодильный транспорт и при торговле продуктами питания между странами.

Существующие виды холодильного транспорта представлены железнодорожным, автомобильным и водным транспортом.

На долю ***железнодорожного холодильного транспорта*** приходится основной объем перевозок крупных оптовых партий охлажденных или замороженных продуктов. Основу современного железнодорожного холодильного транспорта составляют автономные изотермические рефрижераторные вагоны или рефрижераторные поезда (секции) с постоянным числом вагонов.

Каждый автономный рефрижераторный вагон оснащен холодильной машиной для поддержания требуемых температурных условий в охлаждаемых помещениях и дизель-генераторной установкой для привода компрессора холодильной машины. Рефрижераторные поезда и секции имеют, как правило, централизованную систему холодоснабжения. Холодильная машина и дизель-генераторная установка размещаются в специальном вагоне (машинном отделении), из которого охлажденный рассол подается в грузовые вагоны.

По назначению рефрижераторные вагоны разделяются на специальные и универсальные. *Специальные вагоны* используются для конкретных видов охлажденных или замороженных продуктов — молочные и винные цистерны-термосы, вагоны для перевозки живой рыбы и пр. *Универсальные вагоны* применяются для перевозки любых видов скоропортящихся пищевых продуктов, включая продукты животного и растительного происхождения.

***Автомобильный холодильный транспорт*** является основным видом холодильного транспорта, связывающего внутригородские холодильные предприятия, например, распределительные холодильники и холодильники предприятий торговли и массового питания. В последнее время возрастает роль автомобильного холодильного транспорта в междугородных и международных перевозках охлажденных или замороженных продуктов.

Автомобильный холодильный транспорт представлен двумя видами — изотермическими и рефрижераторными автомобилями.

*Изотермические автомобили* оснащены теплоизолированными кузовами без системы охлаждения. Пониженная температура в объеме кузова автомобиля поддерживается за счет теплоты, аккумулированной перевозимыми продуктами. Температура воздуха внутри кузова не регулируется, и ее колебания достаточно велики. В некоторых случаях для снижения температуры воздуха в кузов изотермического автомобиля помещают сосуды с водным льдом, сухую твердую углекислоту или аккумуляторы холода с эвтектическими растворами (зероторы). Основной областью применения изотермического автомобильного транспорта являются внутригородские перевозки охлажденных или замороженных продуктов из распределительных холодильников на предприятия торговли и массового питания.

*Рефрижераторные автомобили* (или авторефрижераторы) оснащены автономной холодильной машиной или установкой с системой автоматического поддержания температуры в кузове. Работа холодильной машины должна обеспечивать заданные температурные условия в кузове автомобиля в течение 12 ч без дополнительного обслуживания. В зависимости от назначения и температурного уровня внутри кузова $t_{вн}$ авторефрижераторы подразделяются на следующие классы:

класс A — $t_{вн} \approx 12 \ldots 0\,^{\circ}C$;
класс B — $t_{вн} \approx 12 \ldots -10\,^{\circ}C$;
класс C — $t_{вн} \approx 12 \ldots -20\,^{\circ}C$;
класс D — $t_{вн} \leqslant 2\,^{\circ}C$;
класс E — $t_{вн} \leqslant -10\,^{\circ}C$;
класс F — $t_{вн} \leqslant -20\,^{\circ}C$.

Авторефрижераторы классов A, B, C автоматически поддерживают любую заданную температуру в указанных интервалах, а классов D, E и F поддерживают температуру в кузове автомобиля не выше установленного значения. Авторефрижераторы классов B, C, E и F оснащаются усиленной теплоизоляцией кузова.

***Водный холодильный транспорт*** является также одним из звеньев холодильной цепи и предназначен для доставки выловленной и переработанной речной, морской или иной продукции к месту потребления, дальнейшей обработки или хранения.

Речной или морской водный транспорт, оснащенный теплоизолированными помещениями и установками для искусственного поддержания температурных условий, получил название рефрижераторного.

В зависимости от схемы организации лова и переработки речной или морской продукции водный холодильный транспорт может выполнять не только транспортные функции, но и первичную (охлаждение или замораживание) обработку.

Транспортные рефрижераторные суда могут быть специализированными или универсальными.

Специализированные рефрижераторные суда подразделяются на две категории:

высокотемпературные, для перевозки фруктов, овощей, яиц, охлажденной и малосоленой рыбы;

низкотемпературные, для перевозки замороженной речной или морской продукции.

Наибольшее распространение получили универсальные рефрижераторные суда, предназначенные для перевозок разнообразного ассортимента скоропортящихся охлажденных или замороженных продуктов в широком диапазоне температур охлаждаемых камер.

В случае необходимости комбинированной доставки охлажденных или замороженных продуктов от места производства до места потребления водным, железнодорожным и автомобильным транспортом используются ***контейнерные перевозки.***

Контейнеры для перевозки скоропортящихся продуктов имеют теплоизолированные ограждения и автономную холодильную машину для поддержания требуемых температурных условий в охлаждаемом объеме. В зависимости от объема и грузоподъемности контейнеры разделяют на следующие:

- крупнотоннажные — грузоподъемностью брутто 10...30 т и охлаждаемым объемом 10...50 м$^3$;
- среднетоннажные — грузоподъемностью брутто 2,5...10 т и охлаждаемым объемом 3...8 м$^3$;
- малотоннажные — грузоподъемностью брутто до 1,5 т и охлаждаемым объемом до 3 м$^3$.

Способы и системы охлаждения контейнеров идентичны применяемым в авторефрижераторах.

В крупно- и среднетоннажных контейнерах перевозят мясо, мясопродукты, молочные продукты, рыбопродукты, яйцо, пищевые консервы, фрукты и овощи.

Малотоннажные контейнеры применяются для перевозки мороженого, полуфабрикатов и готовых кулинарных изделий, мясных и молочных продуктов, а также медикаментов, биопрепаратов и других скоропортящихся грузов.

Универсальная система крепления контейнеров позволяет быстро устанавливать их на железнодорожной платформе, прицепе автомобиля, в трюме или на палубе сухогрузного судна.

# Глава 3. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ХОЛОДА

## 3.1. Физическая картина окружающей среды

### Вещество

*Веществом* называется любое тело, имеющее массу и занимающее определенный объем. Масса вещества $m$ обычно выражается килограммах (кг) или в граммах (г). Объем вещества $V$ выражается в кубических метрах ($м^3$) или кубических сантиметрах ($см^3$). Достаточно часто применяется внесистемная единица объема жидких веществ — литр (1 л = 1000 $см^3$ или 0,001 $м^3$).

Кроме массы и объема вещество характеризуется плотностью.

Плотность вещества ρ — это масса вещества в единице объема, т. е. $\rho = \frac{m}{V}$, и имеет размерность килограмм на кубический метр ($кг/м^3$) или грамм на кубический сантиметр ($г/см^3$).

Любое вещество состоит из молекул — наименьших частиц данного вещества, сохраняющих его свойства. Все молекулы вещества состоят из атомов.

Всем известное вещество — вода ($H_2O$) представлена очень большим количеством молекул, причем каждая из них имеет свойства воды. Молекула воды состоит из двух атомов водорода (Н) и одного атома кислорода (О).

Все молекулы, составляющие любое вещество, связаны между собой силами взаимного притяжения и находятся в непрерывном движении. Интенсивность движения определяется количеством заключенной в молекулах энергии (внутренняя энергия вещества). Вещество может находиться в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком и газообразном. Вода может находиться в виде жидкости (жидкое агрегатное состояние), льда (твердое агрегатное состояние) и в виде водяного пара (парообразное агрегатное состояние).

*Твердое агрегатное состояние* (фаза) вещества характеризуется относительно небольшой внутренней энергией. Вещество в твердой фазе имеет жесткую молекулярную структуру, молекулы связаны силами взаимного притяжения и совершают колебательные движения относительно своего места в молекулярной структуре вещества. Амплитуда (размах) колебаний зависит от температуры и увеличивается при ее повышении.

*В жидком агрегатном состоянии* молекулы обладают большей подвижностью, силы взаимодействия между ними меньше, чем в твердой фазе. Молекулы могут перемещаться, и вещество не имеет собственной формы, а приобретает форму сосуда или емкости, куда оно помещено. Внутренняя энергия вещества в жидком состоянии выше, чем в твердом.

*В парообразном агрегатном состоянии* молекулы вещества обладают еще большей энергией, чем в жидкости. Силы взаимодействия молекул незначительны и молекулы газообразного вещества практически свободно перемещаются внутри емкости, в которой находится газообразное вещество. При движении молекулы постоянно сталкиваются друг с другом и со стенками емкости, оказывая изнутри давление на стенки. В отличие от твердого и жидкого состояний вещество в газообразном состоянии легко сжимается, при этом давление вещества повышается.

### Внутренняя энергия вещества

Молекулярное строение вещества и движение молекул, независимо от агрегатного состояния вещества, свидетельствует о том, что вещество всегда обладает энергией. Эта энергия в общем случае может быть подразделена на внешнюю и внутреннюю.

*Внешняя энергия* — это энергия движения тела в пространстве и энергия положения тела в поле сил тяжести. В общем виде энергия тела представляется суммой кинетической и потенциальной энергии:

$$Э = К + П,$$

где Э — общая энергия; К — кинетическая энергия тела; П — потенциальная энергия тела.

*Внутренняя энергия* вещества — это энергия всех видов движения молекул, а также энергия взаимодействия молекул между собой. Количество внутренней энергии может изменяться — уменьшаться или увеличиваться. Формами обмена энергией являются работа и теплота.

*Работа* — это наиболее наглядная форма обмена энергией. Различают механическую работу, электрическую, химическую и другую, но наибольшее применение в холодильной технике находит механическая работа или мера энергии, передаваемая в механической форме.

В системе СИ единицей измерения энергии является джоуль (Дж), который равен энергии, совершаемой при работе силы в 1 ньютон (Н) на пути в 1 метр (м)

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м}.$$

*Теплота* также является формой обмена энергией между телами. Если два тела, имеющие разную температуру, находятся в контакте, то энергия молекул тела с более высокой температурой

передается молекулам тела с более низкой. Такой процесс передачи энергии называется теплообменом, а количество энергии, переданное при теплообмене, называется количеством переданной теплоты или теплотой. Теплота является одним из видов энергии, и ее количество также измеряется в джоулях (Дж).

Таким образом, работа и теплообмен являются формами обмена энергией, а количество теплоты и количество механической (или иной) работы являются мерами энергии сообщаемой веществу (или отводимой от вещества).

В основе закона сохранения и превращения энергии лежит принцип эквивалентности (равенства) различных видов энергии.

В конце XIX в. немецкий ученый Р. Майер, а затем английский ученый Д. Джоуль теоретически и экспериментально подтвердили эквивалентность теплоты и механической работы. Было установлено, что независимо от способа обмена энергией между количеством переданной теплоты $Q$ и количеством механической работы $L$ существует соотношение

$$Q = AL,$$

где $A$ — тепловой эквивалент механической работы.

Впоследствии были найдены меры эквивалентности и для других видов энергии — химической, электрической и др.

К середине XIX в. был окончательно сформулирован закон сохранения и превращения энергии.

Энергия не возникает из ничего и не исчезает бесследно. Она в различных формах переходит от одного тела к другому. Общее количество энергии в изолированной системе остается постоянным. Данный закон получил название первого закона термодинамики. По сути — это закон сохранения энергии для изолированной системы. Этот закон легко объясняет переход одного вида энергии в другой.

Электрическая энергия переходит: в теплоту в любом нагревательном устройстве (электрический чайник, тостер, электрическая печь); в механическую энергию (электродвигатель и пр.)

Механическая энергия преобразуется в электрическую в электрогенераторе. Химическая энергия превращается в электрическую в гальваническом элементе (электрической батарейке) или в тепловую (при горении или окислении). Это только несколько примеров превращения разных видов энергии. При изучении холодильной техники будут рассмотрены более подробно закономерности преобразования тепловой и механической энергии.

## 3.2. Физические параметры вещества

Состояние любого вещества в известном агрегатном состоянии (твердом, жидком, газообразном) характеризуется различными физическими величинами. Эти физические величины, поддающи-

еся непосредственному измерению, получили название параметров состояния вещества. К ним относятся: объем и удельный объем; плотность вещества; давление; температура.

**Объем.** Объем, занимаемый 1 кг вещества, называется удельным объемом:

$$v = \frac{V}{m},$$

где $V$ — объем вещества, м$^3$; $m$ — масса вещества, кг.

Величина, обратная удельному объему, называется плотностью, т. е. массой в единице объема тела:

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{m}{V},$$

и имеет размерность килограмм на кубический метр (кг/м$^3$).

**Давление.** Газ или жидкость, заключенные в сосуд, создают усилие, воздействующее на стенки сосуда. Это усилие является результатом силового воздействия молекул вещества на стенку сосуда. Если это усилие отнести к единице поверхности стенки сосуда, то полученная величина и будет давлением $p$. Иными словами, давление — сила, действующая на единицу поверхности тела в направлении, перпендикулярном этой поверхности:

$$p = F/S,$$

где $p$ — давление, Н/м$^2$ или Па; $F$ — сила, Н; $S$ — площадь поверхности, м$^2$.

В системе СИ давление измеряется в ньютонах (Н) на квадратный метр (Н/м$^2$), эта единица получила название паскаль (Па). Величина паскаль очень мала и неудобна для практического применения. На практике используется величина в $10^6$ раз более крупная, получившая название мегапаскаль (МПа):

1 МПа = $1 \cdot 10^6$ Па.

Достаточно часто на практике используют внесистемные величины, применяемые до введения СИ, — техническая атмосфера (кгс/см$^2$) и бар.

Давление, оказываемое одним килограммом силы (кгс) на поверхность в один квадратный сантиметр (см$^2$), носит название технической атмосферы:

1 ат = 1 кг/см$^2$.

Величина давления, в $10^5$ раз превышающая паскаль (Па), получила название бар:

1 бар = $1 \cdot 10^5$ Па.

Величины, измеряющие давление, связаны следующим соотношением: 1 ат = 1 кг/см$^2$ = 10 000 кг/м$^2$ ≈ 98 066 Н/м$^2$ ≈ 0,981 бар.

Существует несколько систем измерения давлений, отличающихся началом отсчета.

Земной шар окружен слоем воздуха толщиной приблизительно 80 км. Воздух имеет массу и под действием сил притяжении Земли

(гравитационные силы) создает давление, называемое атмосферным или барометрическим. Атмосферное давление непостоянно и изменяется в зависимости от температуры воздуха, влажности и других параметров окружающей среды. Оно зависит также от высоты над уровнем земли, причем с увеличением высоты давление понижается.




Рис. 3.1. Системы измерения давления

На уровне моря, принятом за нулевую отметку высоты, атмосферное (барометрическое) давление составляет 101 325 Па и называется нормальным атмосферным (барометрическим).

В разных системах для отсчета давления принимается абсолютный вакуум или атмосферное давление.

Если давление измеряют от абсолютного вакуума, то такое давление получило название абсолютного давления $p_а$.

На практике чаще всего измеряют давление, превышающее атмосферное, т.е. за начало отсчета принято атмосферное. Такая система отсчета позволяет упростить конструкцию приборов для измерения давления, но обладает недостатком — измеренное давление зависит от значения атмосферного давления.

Измеренное давление по данной системе отсчета получило название избыточного.

Избыточное $p_и$ и абсолютное $p_а$ давления связаны соотношением

$$p_а = p_и + p_б,$$

где $p_а$ — абсолютное давление, Па; $p_и$ — избыточное давление, Па; $p_б$ — атмосферное (барометрическое) давление, Па.

Если давление жидкости или газа в емкости или сосуде будет ниже атмосферного, то такое давление называется вакуумметрическим, а сосуд находится под разрежением или вакуумом. В соответствии с рис. 3.1 вакуумметрическое давление определится как

$$p_в = p_б - p,$$

где $p_в$ — вакуумметрическое давление, Па; $p_б$ — атмосферное давление, Па; $p$ — измеренное давление, Па.

Следует помнить, что разность между атмосферным давлением и абсолютным вакуумом приблизительно равна 0,1 МПа.

**Температура.** Этот параметр характеризует меру нагретости тела. Из физики известно, что температура может служить мерой энергии движений молекул вещества. Причем, чем больше энергия движущихся молекул вещества, тем выше его температура.

В конце XVIII в. М.В.Ломоносовым было предсказано, что должна существовать такая температура, при которой движение мо-

лекул должно полностью прекратиться. Причем эта температура должна быть минимально возможной и дальнейшее понижение температуры тела невозможно. Впоследствии английский ученый В. Томсон (Кельвин) предложил назвать эту температуру «абсолютным нулем» и начинать от него отсчет температуры.

В настоящее время в отечественной и зарубежной практике используются три основных температурных шкалы: Кельвина, Цельсия и Фаренгейта.

*Шкала Кельвина* является основной шкалой температур в системе СИ. За начало отсчета принят «абсолютный нуль». Единицей измерения температуры $T$ является кельвин (К), величина которого равна 1/100 части температурного диапазона между температурой таяния водного льда (273,15 К) и температурой кипения воды (373,15 К). В шкале Кельвина отсутствуют отрицательные температуры.

За начало отсчета в *шкале Цельсия* принята температура таяния льда, а 100 °С соответствуют температуре кипения воды. Равенство единиц измерения температур в шкалах Кельвина и Цельсия позволяет связать их соотношением

$$T = t + 273{,}15 \text{ К}; \quad t = T - 273{,}15 \text{ °C},$$

где $T$ — температура по шкале Кельвина, К; $t$ — температура по шкале Цельсия, °С.

Значения температур по шкале Цельсия могут быть положительными и отрицательными. Наинизшая температура по шкале Цельсия составляет –273,15 °С.

В качестве одного градуса температурной *шкалы Фаренгейта* принята 1/100 часть температурного интервала между температурой таяния смеси снега и нашатыря и нормальной температурой человеческого тела. По шкале Фаренгейта температура таяния льда (0 °С) оказывается равной +32 °F, а температура кипения воды при нормальном давлении +212 °F. Интервал от таяния льда до кипения воды составляет 180 °F.

Перевод из температурной шкалы Цельсия в шкалу Фаренгейта осуществляется по формуле

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}(^{\circ}\text{F} - 32), \quad ^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5}{}^{\circ}\text{C} + 32.$$

## 3.3. Приборы для измерения основных физических величин

Рассмотренные ранее физические величины являются показателями работы многих машин и установок и требуют измерения.

*Измерением* называют процесс сравнения измеряемой величины с физической величиной, принятой за единицу измерения.

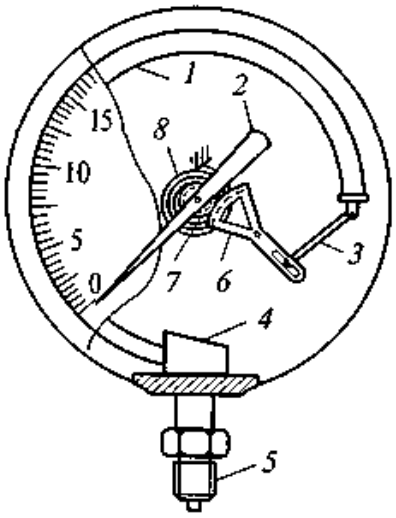



Рис. 3.7. Манометр с одновитковой трубчатой пружиной:

*1* — трубчатая пружина (трубка Бурдона); *2* — стрелка манометра; *3* — поводок; *4* — основание трубчатой пружины; *5* — присоединительный штуцер; *6* — зубчатый сектор; *7* — зубчатое колесо; *8* — спиральная возвратная пружина

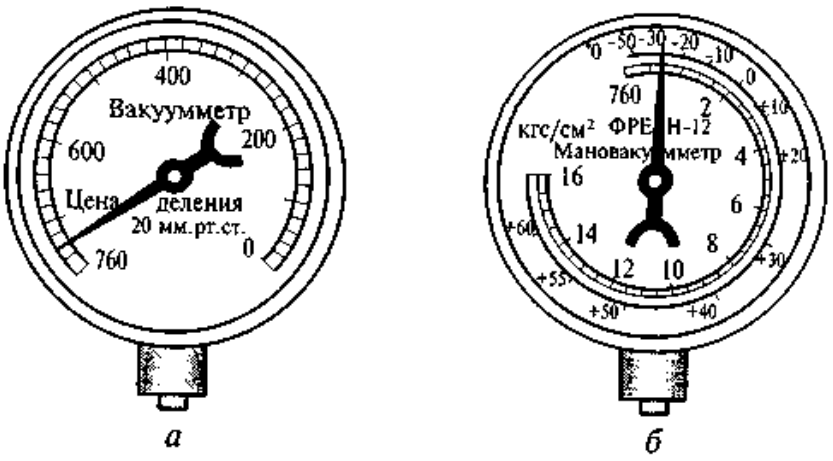
Такая одновитковая трубчатая пружина получила название «трубка Бурдона». Конструкция пружинного манометра с трубчатой пружиной показана на рис. 3.7.

При повышении давления пружина *1* стремится разогнуться, а при понижении — скручиваться. Любое изменение кривизны трубки через поводок *3*, зубчатый сектор *6* и зубчатое колесо *7* передается на стрелку *2* манометра.

Пружинными манометрами измеряют давление выше или ниже атмосферного.

Приборы, измеряющие превышение давления над атмосферным (барометрическим), получили название *манометров избыточного давления*. Манометры, измеряющие давление ниже атмосферного, получили название *вакуумметров* (рис. 3.8, *а*). Существуют приборы, позволяющие измерять давление как выше, так и ниже барометрического. Такие приборы получили название мановакуумметров (рис. 3.8, *б*).

Для удобства обслуживания холодильного оборудования часто шкалы пружинных манометров снабжают температурной шкалой. Ограничением применения таких манометров является то, что они дают достоверные показания только для того хладагента, который указан на шкале.




*а* *б*

Рис. 3.8. Приборы для измерения давлений и разряжений:

*а* — вакуумметр; *б* — мановакуумметр с температурной шкалой для R12

## Приборы для измерения влажности воздуха

При холодильной обработке пищевых продуктов воздух чаще всего выполняет функции теплоносителя между испарителем холодильной машины и продуктом.

*Воздух* — это механическая смесь газов и водяного пара. Сухой воздух (без водяного пара) состоит из 78 % азота (по объему), 21 % кислорода и 1 % составляют углекислый газ, водород, гелий, неон, аргон. Возможны примеси и других газообразных веществ — продуктов сгорания топлива в двигателях автомобилей, выбросы тепловых электростанций, химических и металлургических производств.

Объемная доля водяного пара в воздухе составляет 1...3 % и зависит от погодных условий, климата местности, наличия водоемов.

Влажность воздуха принято оценивать абсолютной и относительной величиной.

*Абсолютная влажность воздуха* — это масса водяного пара в единице объема воздуха. Абсолютную влажность изменяют в граммах на кубический метр воздуха (г/м$^3$) или в килограммах на кубический метр (кг/м$^3$).

Для воздуха при определенной температуре существует предельная абсолютная влажность, когда количество водяного пара в воздухе максимально. Эта предельная абсолютная влажность называется *влагоемкостью.*

Отношение абсолютной влажности воздуха к его влагоемкости при одинаковой температуре называется *относительной влажностью* $\varphi$. Относительную влажность принято измерять в процентах. При относительной влажности $\varphi = 0$ % воздух абсолютно сухой (в природе такое состояние не встречается). Значение относительной влажности $\varphi = 100$ % свидетельствует о предельной абсолютной влажности, а воздух называется насыщенным водяным паром или просто насыщенным.

Для измерения относительной влажности используются психрометры. Психрометр — это прибор, состоящий из двух термометров — сухого и мокрого (рис. 3.9).

Баллончик с термометрической жидкостью мокрого термометра обернут тканью, свободный конец которой погружен в воду. Вода по

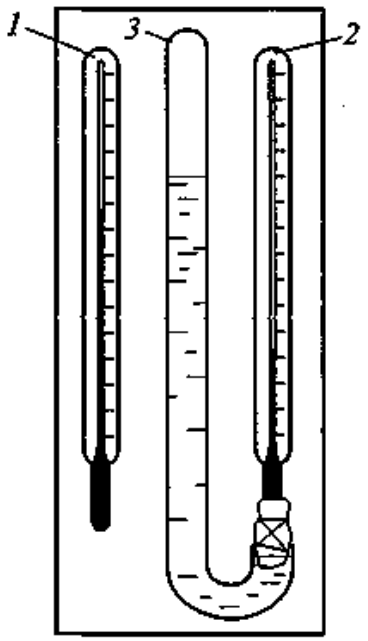



Рис. 3.9. Психрометр Августа:
*1* — сухой термометр; *2* — мокрый термометр; *3* — резервуар с водой

ткани, как по фитилю, поднимается вверх и смачивает баллончик термометра. С поверхности увлажненной ткани вода постоянно испаряется, и температура мокрого термометра всегда ниже сухого. Используя показания сухого и мокрого термометров по психрометрической таблице, определяют относительную влажность воздуха.

### Течеискатели

Поиск утечек хладагента из холодильной машины один из важных этапов ремонта холодильного оборудования.

Одним самых простых способов нахождения утечек является обмыливание. В воде разводят мыло и полученный раствор кисточкой наносят на то место, где предполагается утечка хладагента. Об утечке судят по наличию пузырей. Недостатком такого метода является сложность обмыливания всех предполагаемых мест утечек.

Места утечек в холодильных мащинах, работающих на фреоне 12 (R12), фреоне 22 (R22) или фреоне 502 (R502), обнаруживают с помощью *универсальной лампы* (рис. 3.10). Лампа состоит из баллона *1*, заполненного смесью пропан-бутан, и непосредственно горелки *5*. Смесь пропан-бутана через сопло *3* и эжектор *6* поступает на наконечник *4* с медной насадкой. Эжектор 6 устроен так, что при работе горелки в трубку *7* подсасывается воздух. Если ее поднести к месту утечки, то произойдет окрашивание пламени горелки в зеленоватый цвет, а высота горения факела увеличивается. Если утечка хладагента значительная, то пламя сначала становится зеленым, затем ярко-голубым, начинает выделяться дым, а пламя горелки может погаснуть.

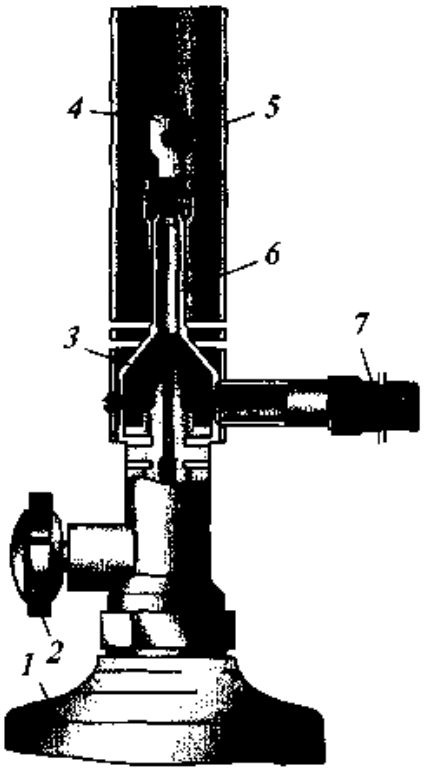



Рис. 3.10. Универсальная лампа для обнаружения утечек хладагента:

*1* — баллон с пропан-бутановой смесью; *2* — запорно-регулирующий вентиль; *3* — сопло; *4* — наконечник с медной насадкой; *5* — горелка; *6* — эжектор; *7* — трубка

В последнее время все большее распространение получают *электронные течеискатели* (рис. 3.11). Это переносной прибор, оснащенный

гибким шлангом *1* из металлорукава, на торце которого размещается чувствительный элемент *2* (ионизационный датчик или датчик теплопроводности). Чувствительный элемент подносят к местам предполагаемых утечек хладагента и в случае обнаружения утечки прибор издает звук высокой тональности или начинает мигать сигнальная лампа и включается зуммер. Электронные течеискатели обладают очень высокой чувствительностью, что позволяет определить небольшие утечки хладагента. К их недостаткам следует отнести невозможность использования для определения утечек аммиачных холодильных машин.

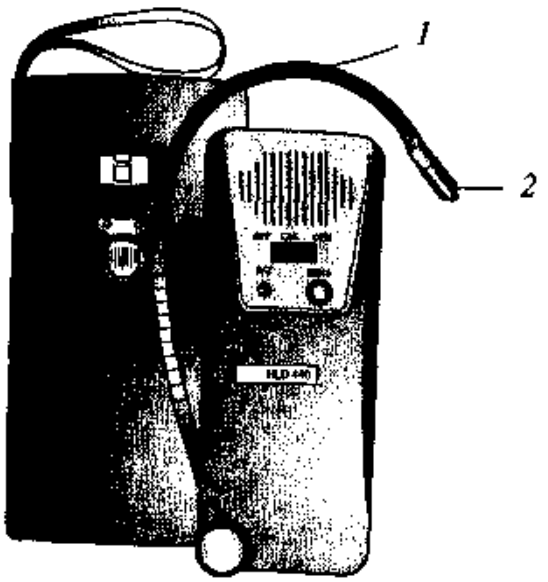



Рис. 3.11. Электронный течеискатель:
1 — гибкий шланг; 2 — чувствительный элемент

## 3.4. Основы термодинамики и теплопередачи

### Основы термодинамики

Все, что относится к понятию «холодильная техника», неразрывно связано с такими параметрами, как температура и теплота. Для того чтобы охладить какое-либо тело, т. е. понизить его температуру, необходимо отвести от тела определенное количество теплоты (энергии). Мерой отведенной энергии тела (вещества) является температура. Энергия может передаваться от одного тела к другому или превращаться в другие виды энергии, например электрическая в механическую или тепловую, тепловая в механическую.

*Термодинамикой* называется наука о законах превращения одних видов энергии в другие. Данное название произошло от двух греческих слов: «термо» — теплота и «динамис» — сила, т. е. основа совершаемой работы, и сформировалось в конце XIX в., когда широкое распространение получили паровые машины, работа которых была основана на превращении тепловой энергии (теплоты) в механическую энергию (работу).

Рассматривая строение вещества и виды внутренней энергии, мы уже сформулировали один из основных законов термодинамики. Закон, получивший название первого закона термодинамики, является законом сохранения энергии, представленным в форме, удобной для описания процесса передачи теплоты и превращения

механической энергии в тепловую. Закон справедлив для всех без исключения тел, участвующих в любых явлениях и процессах.

В реальных условиях энергия в форме теплоты передается от более нагретого тела к менее нагретому. Это естественный процесс и здесь не требуется дополнительных мер для его организации.

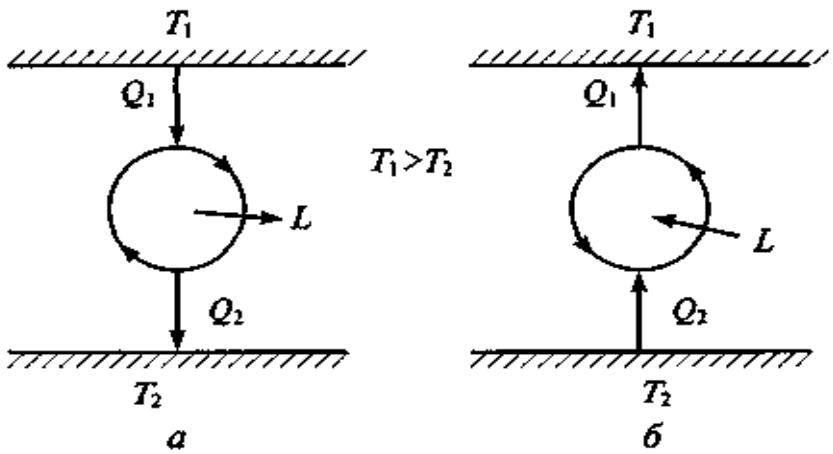
Рассматривая процессы холодильной техники, чаще всего сталкиваются с обратной картиной — необходимостью передачи теплоты от менее нагретого тела к более нагретому. Это охлаждение воздуха в холодильной камере, охлаждение и замораживание продуктов перед хранением, холодильное хранение продуктов.

Обоснование передачи теплоты с более низкого температурного уровня на более высокий дает второй закон термодинамики, одна из формулировок которого гласит: «Теплота не может переходить сама собой от более холодного тела к более горячему. Для передачи теплоты нужны специальные искусственные условия — организация цикла с затратой работы». Передача теплоты с низкого уровня на более высокий связана с наличием термодинамической системы (посредника), совершающей цикл с процессом превращения работы в теплоту.

*Термодинамическим циклом* (или круговым процессом) называют процесс, при котором термодинамическая система, выйдя из первоначального состояния по завершении цикла, вновь возвращается в это же состояние. Различают прямые и обратные циклы (рис. 3.12).

В *прямом цикле* теплота передается от тела с более высокого температурного уровня к телу с более низкой температурой, а термодинамическая система, выполняющая роль посредника, превращает часть передаваемой теплоты в работу.

*В обратном цикле* теплота передается от тела с более низкой температурой к телу с более высокой температурой, но для осуществления этого процесса требуется затрата энергии.




*а* *б*

Рис. 3.12. Прямой (*а*) и обратный (*б*) термодинамические циклы:

$T_1$ — тело с более высокой температурой; $T_2$ — тело с более низкой температурой; $Q$ — теплота; $L$ — работа

Любая холодильная машина реализует обратный термодинамический цикл и подобна насосу, «перекачивающему» теплоту $Q_2$ с более низкого уровня $T_2$ на более высокий $T_1$, но для этого процесса требуется совершить работу $L$. Причем на более высокий температурный уровень будет передано количество теплоты $Q_1 = Q_2 + L$. Такие обратные термодинамические циклы получили название холодильных.

## Основы теплопередачи

При охлаждении или замораживании происходит передача теплоты (энергии) от одного тела к другому. Для передачи теплоты от одного тела к другому обязательным условием является разность температур тел, причем теплота передается от тела с более высокой температурой к телу с более низкой. Тело с более высокой температурой получило название источника теплоты, а тело с более низкой температурой — приемника теплоты (теплоприемника).

Передача теплоты может осуществляться тремя способами: теплопроводностью, конвекцией и излучением.

**Теплопроводность.** Процесс передачи теплоты от одной частицы тела к другой или от одного тела к другому, когда эти тела соприкасаются друг с другом, называется теплопроводностью. Нагрев любого тела с одной стороны приводит к тому, что через некоторое время холодная часть тела начинает нагреваться. Молекулы нагретой части тела имеют скорость бóльшую, чем молекулы холодной части. Перемещаются они на большее расстояние и при столкновении с молекулами холодной части тела передают им часть своей энергии. Увеличение энергии молекул холодной части тела приводит к повышению температуры.

*Теплопроводностью теплота может передаваться не только внутри* однородного тела. Если два тела плотно соприкасаются друг с другом, то через контакт этих тел передается теплота. Теплопроводностью теплота может передаваться и через жидкие и газообразные тела.

Интенсивность передачи теплоты неодинакова для различных материалов. Металлы хорошо проводят теплоту, а вспененные полимерные материалы (пенопласт, пенополиуретан) — плохо. Материалы с хорошей способностью передавать теплоту получили название теплопроводных материалов. Материалы с низкой теплопроводной способностью получили название теплоизоляционных материалов. Твердые вещества являются более хорошими проводниками теплоты, чем жидкости, а жидкости — лучшими, чем газы.

Передача теплоты теплопроводностью прямо пропорциональна разности температур. Количество теплоты $Q$, передаваемое теп-

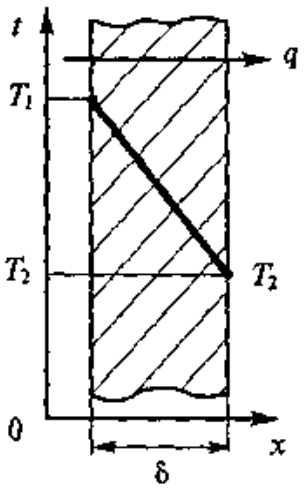



Рис. 3.13. Изменение температуры по толщине плоской стенки

лопроводностью, принято оценивать плотностью теплового потока

$$q = \frac{Q}{F\tau},$$

где $q$ — плотность теплового потока, Вт/м$^2$; $Q$ — количество переданной теплоты, Дж; $F$ — площадь поверхности, через которую передается теплота, м$^2$; $\tau$ — время, с.

Плотностью теплового потока $q$ называется количество теплоты, проходящей (передаваемой) через единицу поверхности $F$ в единицу времени $\tau$.

Изменение температуры при передаче теплоты через стенку толщиной $\delta$ показано на рис. 3.13.

Теплота передается от левой части стенки, нагретой до температуры $T_1$, к более холодной (правой) части с температурой $T_2$.

Плотность теплового потока

$$q = \frac{\lambda}{\delta}(T_1 - T_2),$$

где $\delta$ — толщина стенки.

Коэффициент $\lambda$ называется коэффициентом теплопроводности и имеет размерность Вт/(м·К). Величина коэффициента теплопроводности позволяет определить, к какой группе (теплопроводных или теплоизоляционных) относится тот или иной материал. Так, для чистой меди $\lambda = 390$ Вт/(м·К), а для пенопласта $\lambda = 0{,}03$ Вт/(м·К).

Теплопроводность жидкостей составляет $\lambda = (0{,}1 \ldots 0{,}7)$ Вт/(м·К), а для газов $\lambda = 0{,}01 \ldots 1{,}0$ Вт/(м·К).

На практике принято величину $\frac{\delta}{\lambda}$ называть термическим сопротивлением $R$. В этом случае плотность теплового потока определится как

$$q = \frac{(T_1 - T_2)}{R} = \frac{\Delta T}{R}.$$

Передача теплоты может осуществляться через многослойную стенку. Примером такой стенки может служить теплоизоляционное ограждение стационарных холодильных камер или тепловая изоляция торгового холодильного оборудования. В этом случае термическое сопротивление многослойной стенки определится как сумма термических сопротивлений всех слоев:

$$R = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \ldots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}.$$

**Конвекция.** Передача теплоты может осуществляться не только в виде передачи энергии от одной молекулы к другой, но и перемещением молекул в пространстве. Если мы имеем поток среды (газа или жидкости) и температура потока в разных местах различна, то такой способ передачи теплоты называется конвекцией.

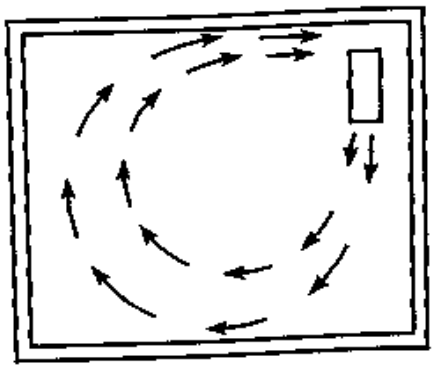


Рис. 3.14. Схема охлаждения холодильной камеры при естественной конвекции

Движение газовой или жидкой среды под действием разности температур может быть естественным, без специальных устройств, перемещающих среду. Примером такого движения может служить система охлаждения холодильных камер. Охлажденный воздух имеет большую плотность и опускается в нижнюю часть холодильной камеры (рис. 3.14). Такой способ конвективного теплообмена получил название естественной конвекции.

Движение среды при конвективном теплообмене может осуществляться принудительно (вентилятор для воздуха, мешалка для жидкости). Теплообмен в этом случае называется вынужденной (или принудительной) конвекцией. Примером такого способа передачи теплоты могут служить бытовой фен (нагреватель, снабженный вентилятором) или системы охлаждения большинства видов торгового холодильного оборудования. В данном оборудовании охлаждение объема с продуктами осуществляется при принудительном движении охлажденного воздуха. Плотность теплового потока при конвективном теплообмене

$$q = \alpha (T_1 - T_2),$$

где $q$ — плотность теплового потока, Вт/м$^2$; $\alpha$ — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м$^2$·К); $T_1$, $T_2$ — температуры разных участков потока, К.

Коэффициент пропорциональности $\alpha$ в формуле получил название коэффициента теплоотдачи. Данный коэффициент численно равен количеству теплоты, передаваемой через единицу поверхности в единицу времени при разности температур в 1 К.

На величину коэффициента теплоотдачи $\alpha$ оказывают влияние характер движения и физические свойства среды. Значение $\alpha$ для газов при естественной конвекции может составлять $\alpha_г = (3...20)$ Вт/(м$^2$·К), а для жидкостей $\alpha_ж = (100...600)$ Вт/(м$^2$·К). Принудительное движение среды приводит к увеличению коэффициента теплоотдачи и для газов эта величина может составить $\alpha_г = (10...100)$ Вт/(м$^2$·К), а для жидкостей $\alpha_ж = (500...10\,000)$ Вт/(м$^2$·К). Бóльших значений коэффициент теплоотдачи достигает при фазовых переходах —

кипении или конденсации. Так, при кипении коэффициент теплоотдачи может достигать 20 000 Вт/(м$^2$·К), а при конденсации — 100 000 Вт/(м$^2$·К).

**Излучение.** Если два тела имеют разную температуру и между ними отсутствует среда для передачи теплоты теплопроводностью или конвекцией, то переданное количество теплоты называется радиационной теплотой, а процесс передачи теплоты — теплообменом излучением. В этом случае перенос энергии от более нагретого тела к менее нагретому осуществляется в виде электромагнитных колебаний (электромагнитных волн). Все вещества излучают (отдают) и принимают (поглощают) теплоту в виде энергии электромагнитных волн. Тепловое излучение подобно световому и отличается только длиной или частотой волны. Причем при нагреве тела происходит изменение частоты излучения и при определенной частоте тело начинает светиться (например, нагрев металла). Тепловое излучение может проходить сквозь материал, отражаться и поглощаться. Чистое стекло, воздух пропускают большую часть теплового излучения, непрозрачные материалы — дерево, металл и др. — поглощают. Материалы светлого цвета и материалы с зеркальной и хорошо отполированной поверхностью отражают максимальное количество теплового излучения.

В холодильной технике доля теплообмена излучением относительно невелика и на практике не учитывается.

### Коэффициент теплопередачи

На практике чаще всего имеют дело с передачей теплоты от одной среды к другой, причем среды эти разделены жесткой однослойной или многослойной перегородкой. Примером такого способа передачи теплоты может служить теплоизоляционное ограждение холодильной камеры. Теплота из окружающей среды (теплый воздух) передается к более холодному воздуху внутри холодильной камеры (рис. 3.15).

В данном случае мы имеем пример двух способов передачи теплоты — конвекцией и теплопроводностью. Теплота окружающего воздуха конвективным теплообменом переносится к стенке холодильной камеры. Воздух имеет температуру $T_{о.в}$, а температура стенки более низкая — $T_{ст1}$. Коэффициент теплоотдачи для данного процесса передачи теплоты равен $\alpha_1$.

Через стенку холодильной камеры теплота передается теплопроводностью. Толщина стенки обозначена $\delta$, а коэффициент теплопроводности — $\lambda$.

Между стенкой и воздухом в холодильной камере также осуществляется процесс передачи теплоты конвекцией с коэффициентом теплопередачи $\alpha_2$ и при разности температур $T_{ст2}$ и $T_{х.к}$.

Плотность теплового потока $q$ через стенку определяется по формуле

$$q = \frac{T_{о.в} - T_{х.к}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = K(T_{о.в} - T_{х.к}).$$

Коэффициент пропорциональности $K$ получил название коэффициента теплопередачи. Коэффициент теплопередачи имеет размерность Вт/(м$^2$·К).

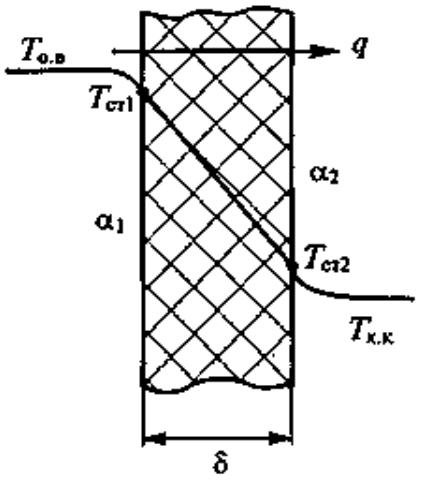



Рис. 3.15. Схема передачи теплоты из окружающей среды в холодильную камеру

Для уменьшения количества переданной теплоты $q$ (пример со стенкой холодильной камеры) увеличивают толщину стенки $\delta$ и используют материалы с низкими значениями коэффициента теплопроводности $\lambda$ (пенопласты, пенополиуритан и др.).

## 3.5. Фазовые (агрегатные) переходы веществ

Состояние любого вещества в одном из агрегатных состояний (твердое, жидкое, газообразное) характеризуется определенными значениями различных физических величин. Некоторые из этих величин имеют простой и наглядный смысл и могут измеряться приборами. К ним относятся объем, плотность, температура, давление. Имеется ряд величин, не поддающихся непосредственному измерению. Их рассчитывают по формулам, используя значения простых измерительных величин. К этим условным величинам относятся внутренняя энергия вещества, теплота, энтальпия. Для холодильной техники одной из важнейших величин является теплота, так как важно знать, какое количество теплоты нужно отвести от продуктов при охлаждении или замораживании.

Количество теплоты $Q$ измеряют в джоулях (Дж) или килоджоулях (кДж): 1 кДж = 1000 Дж. Количество теплоты, подведенной или отведенной в единицу времени, называется тепловой нагрузкой. Тепловая нагрузка имеет размерность джоуль в секунду (Дж/с) и называется ватт (Вт). Для определения количества подведенной или отведенной теплоты необходимо знать, в каком агрегатном состоянии находится вещество. Важно знать, не изменяется ли его агрегатное состояние в процессе передачи теплоты.

Взяв в качестве примера воду ($H_2O$), следует помнить, что она может находиться в твердом, жидком и газообразном состояниях (водяной пар).

Подвод теплоты к веществу в твердом агрегатном состоянии приводит к повышению температуры. Количество подведенной теплоты и повышение температуры вещества ($T_{кон} - T_{нач}$) можно определить по следующей формуле:

$$Q_т = m\, c_т (T_{кон} - T_{нач}),$$

где $Q_т$ — количество теплоты, Дж; $m$ — масса вещества, кг; $c_т$ — удельная массовая теплоемкость твердого вещества, Дж/(кг·К); $T_{кон}$, $T_{нач}$ — конечная и начальная температура вещества соответственно, К.

Удельная массовая теплоемкость является физической характеристикой каждого вещества. Этот коэффициент численно равен количеству теплоты, которое требуется для нагрева (или охлаждения) 1 кг вещества на 1 К. Каждое вещество имеет свое значение удельной массовой теплоемкости $c$, причем одно и то же вещество в разных агрегатных состояниях имеет разные значения. Для водного льда удельная массовая теплоемкость $c_т = 2{,}095$ кДж/(кг·К), для воды $c_ж = 4{,}19$ кДж/(кг·К), для водяного пара $c_п = 1{,}87$ кДж/(кг·К).

На теплоемкость оказывают влияние давление (особенно в газообразном состоянии) и температура. Количество отведенной теплоты и понижение температуры вещества могут быть определены по этой же формуле.

Подводя теплоту к веществу в твердом агрегатном состоянии, можно повысить его температуру до некоторого значения, называемого температурой плавления. Эта температура различна для разных веществ. Например, при нормальном атмосферном давлении температура плавления свинца равна 327 °С, меди — 1083 °С, а водного льда — 0 °С.

Если к веществу продолжать проводить теплоту, то будет происходить плавление, т. е. превращение вещества из твердого состояния в жидкое, а температура его в процессе плавления остается постоянной. Теплота, получаемая веществом при переходе из твердого состояния в жидкое, расходуется на преодоление межмолекулярных сил притяжения. Молекулы получают бóльшую свободу перемещений, вещество теряет свою жесткую форму, и образующаяся жидкость приобретает форму емкости, в которой она находится.

Количество теплоты, необходимой для плавления 1 кг вещества, принято называть скрытой теплотой плавления. Эта величина является физической характеристикой каждого вещества и зависит от давления, при котором осуществляется процесс плавления.

Изменение агрегатного состояния происходит при одной и той же температуре, и в процессе плавления или затвердевания эта температура остается постоянной. Процесс плавления или затвердевания называют изотермическим процессом.

Количество теплоты, требуемое для плавления или затвердевания, может быть определено по формуле

$$Q_{т\text{-}ж} = m\, r_{т\text{-}ж},$$

где $Q_{т\text{-}ж}$ — количество теплоты, Дж; $m$ — масса вещества, кг; $r_{т\text{-}ж}$ — скрытая теплота плавления или затвердевания, Дж/кг.

После того как все твердое кристаллическое вещество превратится в жидкость, подвод теплоты будет сопровождаться повышением температуры.

Количество теплоты, требуемое для повышения температуры вещества в жидком состоянии:

$$Q_{ж} = m\, c_{ж}(T_{кон} - T_{нач}),$$

где $Q_{ж}$ — количество теплоты, Дж; $m$ — масса вещества, кг; $c_{ж}$ — удельная массовая теплоемкость жидкости, Дж/(кг·К); $T_{кон}$, $T_{нач}$ — конечная и начальная температура жидкости соответственно, К.

Повышение температуры жидкости может происходить до определенного значения, после которого начинается интенсивное превращение жидкости в пар.

Температуру, при которой вещество из жидкого агрегатного состояния переходит в газообразное (парообразное), называют температурой насыщения, или температурой кипения. Жидкость при температуре насыщения называется насыщенной, а пар — насыщенным паром.

Температура насыщения (кипения) неодинакова для различных жидкостей и существенно зависит от давления. При нормальном атмосферном давлении вода кипит при температуре +100 °С, этиловый спирт ($C_2H_5OH$) — при +77 °С, аммиак ($NH_3$) — при температуре –33 °С, а жидкий воздух — при температуре –192 °С. Увеличение давления пара над кипящей жидкостью приводит к повышению температуры кипения, а снижение давления — к понижению температуры кипения.

Широко используемый в холодильной технике аммиак ($NH_3$) при нормальном атмосферном давлении (примерно 0,1 МПа) кипит при температуре –33 °С. Понижение давления паров аммиака до 0,03 МПа приводит к снижению температуры кипения до –55 °С. С другой стороны, увеличение давления кипения аммиака до 1,0 МПа приводит к повышению температуры кипения до +25 °С.

Для перехода вещества из жидкого агрегатного состояния в парообразное необходимо большое количество энергии, в данном случае — теплоты. Количество теплоты, необходимой для превращения в пар 1 кг жидкости, называют скрытой теплотой парообразования. Эта величина является физической характеристикой вещества и различна для разных веществ. Она зависит от температуры и давления жидкости.

Количество теплоты, необходимое для превращения жидкости в пар, определяется по формуле

$$Q_{\text{п}} = m r_{\text{п}},$$

где $Q_{\text{п}}$ — количество теплоты, Дж; $m$ — масса жидкости, кг; $r_{\text{п}}$ — скрытая теплота парообразования, Дж/кг.

Аналогично процессу плавления, процесс кипения и превращения жидкости в пар осуществляется при постоянной температуре, т. е. это процесс изотермический.

Существует обратный процесс образованию пара из жидкости. Процесс превращения пара в жидкость получил название конденсации. Процесс конденсации осуществляется при той же температуре, что и кипение, и это также изотермический процесс. Количество теплоты, отводимой от пара при его конденсации, равно количеству теплоты, подведенной к жидкости при кипении (для одинаковой по массе жидкости и пара).

Пар, имеющий температуру выше температуры насыщения, называется перегретым паром, и дальнейших фазовых превращений с ним не происходит.

Для нагрева или охлаждения перегретого пара необходимо следующее количество теплоты:

$$Q_{\text{п}} = m c_{\text{п}} (T_{\text{кон}} - T_{\text{нач}}),$$

где $Q_{\text{п}}$ — количество теплоты, Дж; $m$ — масса пара, кг; $c_{\text{п}}$ — удельная массовая теплоемкость пара Дж/(кг·К); $T_{\text{кон}}$, $T_{\text{нач}}$ — конечная и начальная температура пара соответственно, К.

Зависимости, определяющие количества теплоты для нагрева (или охлаждения) твердого тела, жидкости или пара, одинаковы, но значения удельных массовых теплоемкостей ($c_{\text{т}}$, $c_{\text{ж}}$ и $c_{\text{п}}$) будут различными даже для одного и того же вещества в разных агрегатных состояниях.

## 3.6. Основные процессы получения искусственного холода

Любое нагретое тело естественным путем можно охладить только до температуры среды, в которой находится это тело. Понизить его температуру ниже температуры окружающей среды можно только искусственным путем, используя один из способов охлаждения.

Охлаждение — процесс отвода теплоты от охлаждаемого тела к другому телу (среде), имеющему более низкую температуру. Охлаждаемой средой является воздух холодильной камеры, холодильного шкафа или охлаждаемой витрины, продукты, напитки и пр.

Тело, имеющее более низкую, чем охлаждаемая среда, температуру, называется охлаждающим. Реализация специальных физических процессов позволяет понизить температуру охлаждающего тела, но для этого требуется затрата энергии. Получение

низких температур может быть достигнуто при осуществлении следующих процессов: изменении агрегатного состояния рабочего тела; расширении рабочего тела с совершением внешней полезной работы; дросселировании рабочего тела (эффект Джоуля — Томпсона); реализации вихревого эффекта (эффект Ранка — Хильша); термоэлектрическом охлаждении (эффект Пельтье).

### Охлаждение при изменении агрегатного состояния рабочего тела

Все вещества, которые участвуют в реализации процессов получения искусственного холода, получили название рабочих тел. Для получения искусственного холода используют процессы, протекающие с поглощением теплоты. К этим процессам относятся плавление (таяние), сублимация, кипение. Изменение агрегатного состояния рабочего тела протекает при постоянной температуре, что позволяет контролировать процесс охлаждения или управлять им.

Другая отличительная особенность изменения агрегатного состояния — низкая температура этих процессов для применяемых в холодильной технике рабочих тел.

Теплота фазового перехода достаточно велика и для охлаждения требуется меньшее количество рабочего тела.

Все это обусловило применение указанных процессов в холодильной технике.

*Плавление* — переход рабочего тела из твердого агрегатного состояния в жидкое. Достаточно часто этот процесс называют таянием.

Наиболее доступным и поэтому используемым в холодильной технике рабочим телом в твердом агрегатном состоянии является водный лед. Температура плавления льда — 0 °С, а теплота плавления одного килограмма льда составляет 335 кДж. Эту величину называют удельной массовой теплотой плавления $r = 335$ кДж/кг и используют в расчетах.

Более низкую температуру плавления имеет смесь колотого водного льда с солью. При эвтектической концентрации температура плавления будет минимальной. Наибольшее применение в холодильной технике нашли смеси хлористого натрия со льдом (температура плавления до –21,2 °С) и хлористого кальция со льдом (температура плавления до –55 °С). Удельная массовая теплота плавления смеси ниже, чем водного льда.

*Кипение* — процесс превращения рабочего тела из жидкого агрегатного состояния в парообразное. Существует большое число рабочих тел с температурами кипения ниже температуры окружающей среды. Учитывая, что температура кипения жидкого рабочего тела зависит от давления, можно регулировать эту температуру изменением давления. Этот процесс положен в основу большинства современных холодильных машин.

В некоторых случаях для охлаждения используют рабочие тела, имеющие температуру кипения ниже –120 °С. Такие рабочие тела получили название криогенных рабочих тел, или криогенных жидкостей. К ним относятся: жидкий азот ($N_2$, температура кипения –196 °С), жидкий кислород ($O_2$, –183 °С) или жидкий воздух (–192 °С).

*Сублимация* — процесс перехода из твердого агрегатного состояния в парообразное, минуя жидкую фазу. Примером рабочего тела, переходящего из твердого состояния в парообразное при барометрическом давлении, является диоксид углерода $CO_2$. Это рабочее тело называют еще твердой углекислотой или сухим льдом. Переход твердой углекислоты в парообразное состояние осуществляется при температуре –78,9 °С. Удельная массовая теплота сублимации этого вещества $r = 575$ кДж/кг.

Общим недостатком всех процессов фазового перехода является то, что расходуемое рабочее тело нужно периодически пополнять, т. е. постоянно иметь запас рабочего тела в твердом или жидком состояниях. Поэтому для искусственного охлаждения интерес представляют такие охлаждающие системы, в которых реализуется непрерывный процесс охлаждения и одно и то же рабочее тело многократно используется в циклическом процессе.

### Охлаждение при расширении газообразного рабочего тела с совершением полезной работы

Если давление газообразного рабочего тела резко понизить и отвести работу расширения, то температура газа понизится. Процесс, обратный сжатию газа в компрессоре, осуществляется в специальных машинах, получивших название детандеры. В зависимости от принципа действия детандеры разделяют на поршневые и трубодетандеры. Работа, отводимая на вал детандера, может полезно использоваться.

Наибольший эффект при расширении достигается в полностью изолированных условиях, т. е. без теплообмена с окружающей средой. При этом процесс расширения осуществляется только за счет изменения внутренней энергии рабочего тела и понижение температуры максимальное.

Недостатком данного способа охлаждения является необходимость предварительного сжатия рабочего тела в компрессорах.

### Охлаждение при дросселировании рабочего тела

*Дросселированием* называют процесс понижения давления рабочего тела в жидком или газообразном состоянии без совершения полезной работы. На практике этот процесс реализуется при проходе жидкости или газа через отверстие небольшого размера или специальное устройство с небольшим проходным сечением из ем-

кости с высоким давлением в емкость низкого давления. В качестве сужающего устройства может использоваться диафрагма с калиброванным отверстием, регулирующий вентиль или кран. При прохождении через узкое сечение (дросселировании) происходит расширение рабочего тела и уменьшение его внутренней энергии. При этом полезная работа в процессе дросселирования не совершается.

При дросселировании реальных рабочих тел происходит понижение температуры (эффект Джоуля — Томпсона). Дросселирование жидкости сопровождается снижением давления и температуры кипения. Процесс дросселирования имеет меньшую эффективность, чем процесс расширения в детандере, но оборудование для дросселирования намного проще и существенно дешевле.

### Охлаждение за счет вихревого эффекта

Искусственное охлаждение, основанное на расширении сжатого газообразного рабочего тела с последующим разделением потоков на теплый и холодный в специальном устройстве, получило название вихревого эффекта. Устройство для реализации данного эффекта называется вихревой трубой (рис. 3.16).

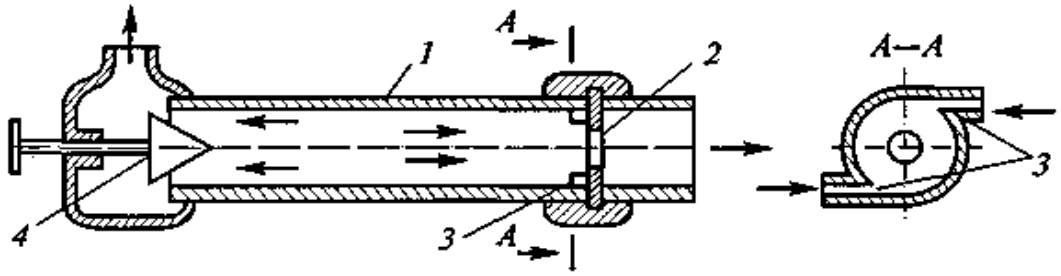



Рис. 3.16. Схема вихревой трубы:
*1* — вихревая труба; *2* — диафрагма; *3* — сопло; *4* — вентиль

Газообразное рабочее тело (чаще всего воздух), сжатый и охлажденный до температуры окружающей среды, подается в вихревую трубу *1* через сопла *3*. В трубе воздух расширяется и совершает вращательное вихревое движение, в результате которого потоки разделяются. Более теплый поток воздуха выходит через вентиль *4*, а более холодный — через диафрагму *2*. Вихревой эффект реализуется без совершения внешней работы.

### Термоэлектрическое охлаждение

Данный способ получения искусственного охлаждения заключается в том, что под действием электрического тока, проходящего по цепи из двух разнородных материалов, спаи этих метал-

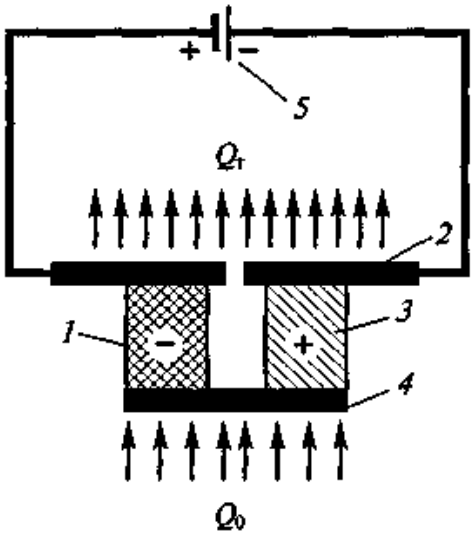



Рис. 3.17. Термоэлектрический охладитель:

*1, 3* — материалы термоэлемента; *2, 4* — металлические пластины; *5* — источник тока

лов будут иметь разную температуру. Пара разнородных материалов, объединенных в цепь, получила название термоэлемента (рис. 3.17). В качестве материалов термоэлемента *1, 3* могут использоваться металлы или полупроводники. Эти материалы соединяются металлическими пластинами *2* и *4*, служащими одновременно для поглощения теплоты $Q_0$ от охлаждаемой среды и отвода теплоты на более высоком температурном уровне $Q_т$ в окружающую среду.

Положительными свойствами охладителей с термоэлементами являются их портативность, бесшумность и отсутствие движущихся частей. Но стоимость этих устройств достаточно высока и они потребляют большое количество электроэнергии. Промышленность выпускает термоэлектрические охладители для холодильных шкафов, охлаждаемых баров, переносных автомобильных холодильников.

# Глава 4. РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

## 4.1 Основные способы охлаждения

*Холодильная техника* — это отрасль, занимающаяся вопросами охлаждения и поддержания температуры в специальных помещениях ниже температуры окружающей среды.

*Процесс охлаждения* — это процесс отвода теплоты от тела с более высокой температурой к телу с более низкой температурой. Объектом, от которого отводится теплота, являются пищевые продукты или воздух в холодильной, камере. Приемником теплоты, т.е. телом с более низкой температурой, являются специальные вещества, называемые холодильными агентами или теплоносителями.

*Холодильным агентом* (или хладагентом) называется вещество, используемое в любом холодильном процессе для поглощения теплоты, отводимой от охлаждаемого объекта.

*Теплоносителем* называется вещество (чаще всего в жидком или газообразном состоянии), осуществляющее передачу теплоты от охлаждаемого объекта к приемнику теплоты.

В качестве хладагента может использоваться любое вещество в твердом, жидком или газообразном состояниях. Единственное требование — температура хладагента должна быть ниже температуры охлаждаемого тела.

Для примера возьмем холодильную камеру с положительной температурой (>0 °С) и поместим в нее сосуд с охлажденной до 0 °С водой (рис. 4.1). В течение некоторого промежутка времени из холодильной камеры будет отводиться теплота к более холодной воде. Температура в холодильной камере понизится, а температура воды в сосуде повысится. Когда температура воды и температура в холодильной камере сравняются, передача теплоты прекратится. Процесс охлаждения не будет непрерывным и температура в холодильной камере не будет постоянной. Количество теплоты, отведенной к воде, будет небольшим.

Заменим сосуд с охлажденной водой водным льдом, причем масса льда будет равна массе воды в сосуде (рис. 4.2). Температура таяния льда 0 °С и приблизительно соответствует температуре воды в сосуде для предыдущего примера. В отличие от воды температура льда при подводе к нему теплоты меняться не будет до тех пор, пока весь лед не растает. Водный лед переходит из твердой фазы в жидкую, а температура его в процессе перехода (таяния) остается

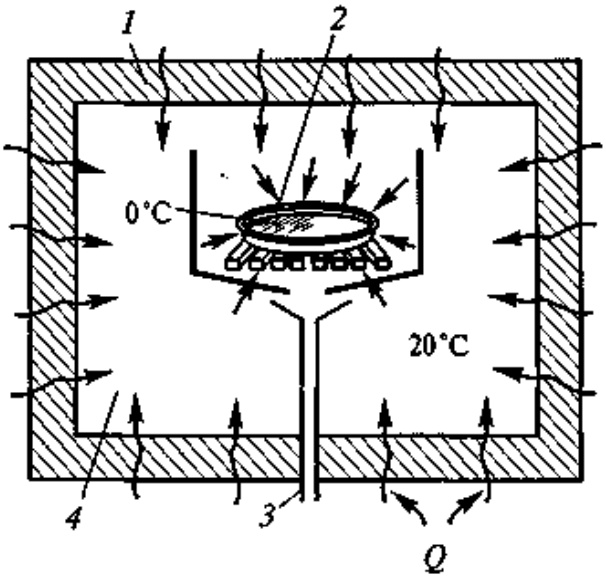



Рис. 4.1. Охлаждение холодильной камеры водой:

*1* — теплоизолированная стенка камеры; *2* — сосуд с охлажденной водой; *3* — дренаж; *4* — холодильная камера

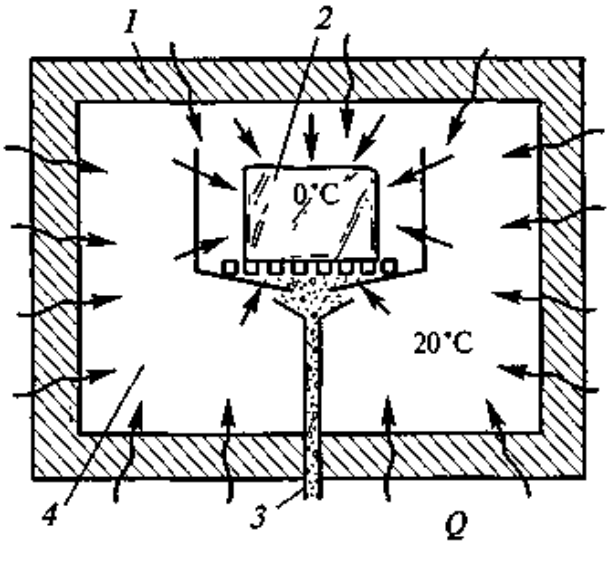



Рис. 4.2. Охлаждение холодильной камеры тающим водным льдом:

*1* — теплоизолированная стенка камеры; *2* — тающий лед; *3* — трубка отвода талой воды; *4* — холодильная камера

постоянной. Теплота, подведенная ко льду, выводится из холодильной камеры вместе с талой водой. Охлаждающее действие такого хладагента будет непрерывным до тех пор, пока не растает весь лед. Процесс охлаждения может быть продолжен, если периодически в камеру добавлять лед.

*Охлаждение тающим льдом* в течение долгого времени с успехом использовалось в бытовых холодильниках и холодильных шкафах предприятий торговли и питания. Существовали транспортные железнодорожные вагоны — холодильники, использовавшие водный лед в качестве аккумулятора теплоты.

Недостатком данного способа охлаждения является необходимость иметь запас льда, кроме того, температура в холодильной камере не может быть ниже 0 °С. Эта система не поддается автоматизации, и температура в холодильной камере зависит от тепловой нагрузки, т. е. от количества загружаемых продуктов.

Понизить температуру в холодильной камере можно при использовании *льдосоляного охлаждения*. Колотый лед смешивают с хлористым натрием (NaCl) или хлористым кальцием ($CaCl_2$). Полученная смесь может иметь температуру таяния до –20 °С и обеспечивает охлаждение холодильной камеры до отрицательных температур (но не ниже –20 °С).

Способность жидкостей поглощать огромное количество теплоты при кипении было известно давно. Однако чтобы использовать это явление, необходимо иметь температуру кипения жидкости ниже температуры охлаждаемого объекта — холодильной камеры. Достичь низкой температуры кипения жидкости можно понижением давле-

ния паров над уровнем жидкости или применением жидкостей, имеющих низкую температуру кипения при барометрическом давлении.

*Использование воды в качестве хладагента* сопряжено с техническими сложностями, так как кипение воды при температуре, близкой к 0 °С, можно осуществить при очень низком давлении (вакууме). Помимо технических сложностей данный способ охлаждения экономически нецелесообразен.

В действительности только небольшое число жидкостей позволяют использовать их в качестве хладагентов. Большинство из них являются специально созданными химическими соединениями или смесями. В настоящее время не существует ни одного хладагента, полностью удовлетворяющего требованиям для применения во всех рабочих условиях.

Среди известных жидкостей требованиям универсального хладагента достаточно точно соответствует фторированный углеводород метановой группы — *дифтордихлорметан* ($CCl_2F_2$). Этот хладагент имеет температуру кипения -29,8 °С при нормальном барометрическом давлении, что позволяет его использовать для охлаждения холодильных камер.

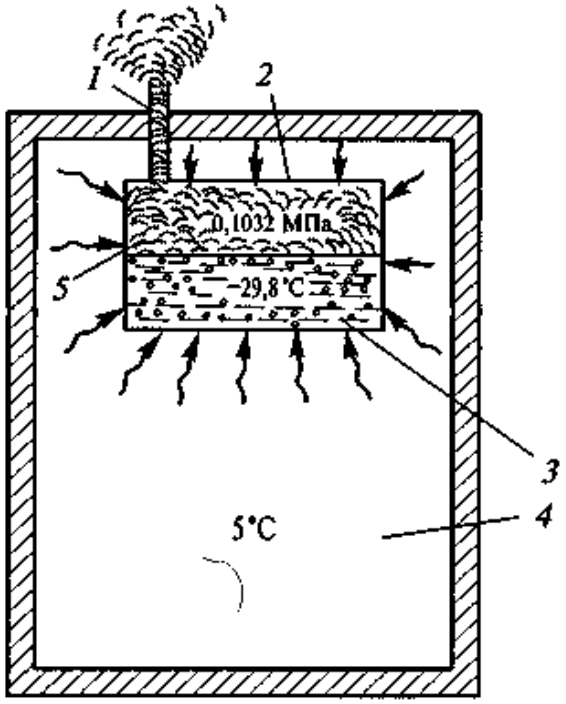



Рис. 4.3. Охлаждение холодильной камеры кипящим хладагентом:

*1* — выпускной трубопровод; *2* — парообразный хладагент; *3* — кипящий жидкий хладагент; *4* — охлаждаемая камера; *5* — сосуд с хладагентом

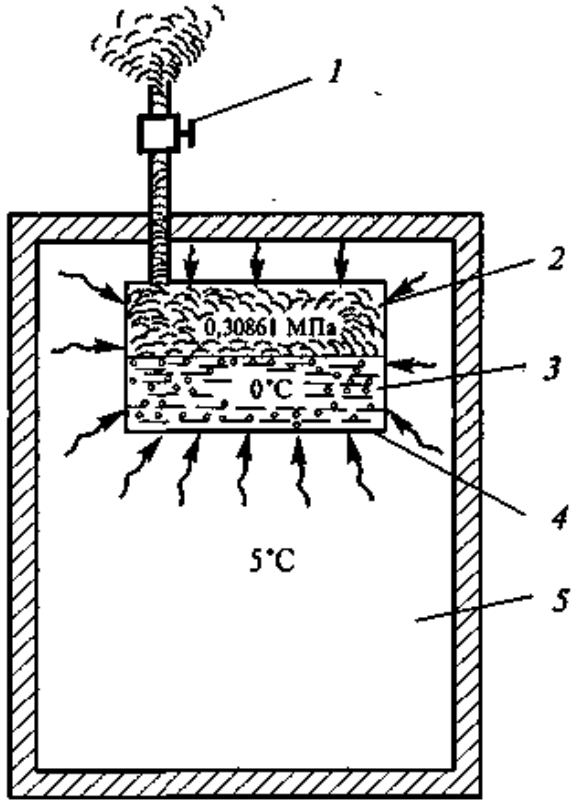



Рис. 4.4. Модернизированная система охлаждения холодильной камеры кипящим хладагентом:

*1* — регулирующий вентиль; *2* — парообразный хладагент; *3* — жидкий хладагент; *4* — емкость для хладагента; *5* — охлаждаемая камера

Этот хладагент широко известен под названием «фреон-12», однако известны и другие его фирменные названия.

Для охлаждения камеры сосуд *5* с хладагентом фреон-12 размещают внутри (рис. 4.3), а выпускной трубопровод *1* выводят за пределы камеры. Теплота из холодильной камеры через стенки сосуда отводится к хладагенту, который кипит при температуре –29,8 °С. Образующийся в результате кипения пар хладагента выводится за пределы камеры. Температура кипящего хладагента остается постоянной до тех пор, пока не выкипит вся жидкость в сосуде.

Использование кипящих при низкой температуре жидких хладагентов имеет еще одно важное преимущество — изменяя давление пара, можно изменять температуру кипения хладагента. А это значит, что можно регулировать процесс отвода теплоты, а также температуру охлаждаемого объекта.

Модернизируем предыдущую систему охлаждения (рис. 4.4). На выпускном трубопроводе установим регулирующий вентиль, позволяющий регулировать проходное сечение трубопровода.

Если площадь проходного сечения на выходе уменьшить, то давление пара над уровнем кипящего хладагента повысится. Увеличение давления до 0,3086 МПа приведет к повышению температуры кипения хладагента в сосуде до 0 °С. Настройкой регулирующего вентиля *1* можно установить температуру кипения хладагента от –29,8 °С до температуры камеры, в которой установлен сосуд с кипящим хладагентом.

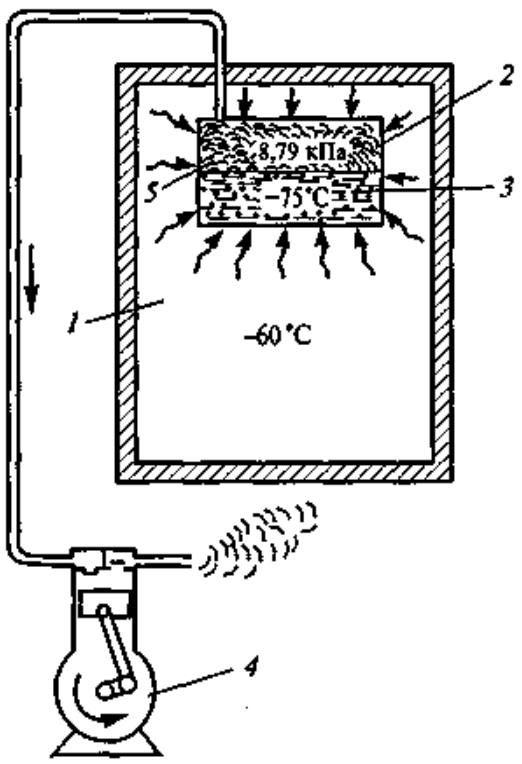



Рис. 4.5. Низкотемпературная система охлаждения:

*1* — охлаждаемая камера; *2* — парообразный хладагент; *3* — жидкий хладагент; *4* — вакуумный насос

Если регулирующий вентиль полностью закрыт, то пар перестает выходить из сосуда и давление его будет повышаться. Одновременно будет повышаться и температура кипения хладагента до температуры камеры, в которой расположен сосуд. Отсутствие разности температур между хладагентом и внутри холодильной камеры свидетельствует о том, что передачи теплоты к жидкому хладагенту не происходит и кипение последнего прекращается.

Изменением давления паров хладагента можно понизить температуру кипения (рис. 4.5). Если

к выпускному трубопроводу присоединить вакуумный насос и понизить давление ниже барометрического, то и температура кипения понизится. При давлении пара над кипящим хладагентом 8,79 кПа температура кипения фреона-12 составит –75 °С.

Охлаждение кипящим жидким хладагентом используется в большинстве современных холодильных машин и холодильного оборудования.

## 4.2. Хладагенты

В холодильной технике применяют достаточно большое число жидких и газообразных хладагентов. В настоящее время известно более 40 хладагентов, но только 15 из них находят практическое применение. Помимо однокомпонентных (или чистых) хладагентов в последнее время находят применение многочисленные смеси, составленные из двух и более чистых хладагентов.

Идеальный хладагент должен обладать хорошими термодинамическими показателями и обеспечивать высокую эффективность работы холодильной машины. Кроме того, хладагент должен быть химически стабильным, не разлагаться и не вступать в реакции с металлами и смазочными маслами. Хладагент должен обеспечивать безопасность эксплуатации — не воспламеняться, не образовывать взрывчатых соединений, не быть токсичным.

Поскольку не существует идеального хладагента, который подходил бы по всем показателям, на практике применяют хладагенты, соответствующие наиболее важным требованиям. К наиболее широко используемым хладагентам относится аммиак, фреоны, чистые углеводороды и вода.

В России принята разработанная Международной организацией по стандартизации (ИСО) специальная система обозначения хладагентов. Хладагент обозначается буквой R и числом. Буква R — это первая буква в слове Refrigerant — хладагент. Цифры обозначают марку хладагента и его структуру.

Смеси хладагентов обозначают как названия компонентов через дробь, а в скобках дают соотношение массовых долей. Так смесь хладагентов, состоящая на 90 % из R22 и 10 % из R12, обозначают как R22/R12 (90/10).

Азеотропные смеси — это смеси, ведущие себя как однокомпонентное вещество. В процессах кипения и конденсации этих смесей не изменяются соотношения между компонентами. Эти хладагенты условно обозначают цифрами 500, 501 и т. п. Например, хорошо известный хладагент R 502 представляет собой азеотропную смесь, состоящую на 48,8 % из хладагента R22 и на 51,2 % из R115, и имеет еще одно обозначение — R22/R115 (48,8/51,2).

Хладагенты неорганического происхождения (аммиак, вода) обозначают цифрой 700, к которой прибавляют молекулярную

массу вещества. По этой системе обозначений аммиак и вода имеют номера R717 и R718 соответственно.

Основные характеристики наиболее часто применяемых хладагентов приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

**Физические свойства хладагентов**

| Хладагент | Символическое обозначение | Химическая формула | Молекулярная масса | Нормальная температура кипения при 760 мм рт. ст., °С | Критическая температура, °С | Критическое давление, МПа | Температура замерзания, °С |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Вода | R718 | $H_2O$ | 18,016 | +100 | 374,15 | 22,11 | –0,1 |
| Аммиак | R717 | $NH_3$ | 17,03 | –33,3 | 132,4 | 11,28 | –77,7 |
| Углекислота | R744 | $CO_2$ | 44,1 | –78,9 | 31,0 | 7,36 | –56,6 |
| Хлорметил | — | $CH_3Cl$ | 50,42 | –23,74 | 143,1 | 6,68 | –97,6 |
| Фреон-11 | R11 | $CFCl_3$ | 137,39 | +23,7 | 198,0 | 4,37 | –111,0 |
| Хладон-12 (фреон-12) | R12 | $CF_2Cl_2$ | 120,92 | –29,8 | 112,0 | 4,11 | –155,0 |
| Фреон-13 | R13 | $CF_3Cl$ | 104,47 | –81,5 | 28,78 | 3,85 | –180,0 |
| Хладон-22 (фреон-22) | R22 | $CHF_2Cl$ | 86,48 | –40,8 | 96,0 | 4,93 | –160,0 |
| Фреон-113 | R113 | $C_2F_3Cl_3$ | 187,37 | +47,6 | 214,1 | 3,41 | –36,6 |
| Фреон-142 | R142 | $C_2H_3F_2Cl$ | 100,48 | –9,21 | 137,1 | 3,92 | –130,8 |
| Фреон-13B1 | R13B1 | $CF_3Br$ | 148,88 | –57,8 | 67,0 | 6,56 | –143,2 |
| Хладон-502 (фреон-502) | R502 | $CHF_2Cl$ $C_2F_5Cl$ | 111,64 | –45,6 | 90,1 | 4,1 | — |

В малых холодильных машинах, которыми оснащается торговое холодильное оборудование, в качестве хладагентов используют следующие: R12, R22, R502, R13, R134a.

В последнее время начинают применять озонобезопасный хладагент R134a, но число холодильных машин, работающих на данном хладагенте, мало.

*Хладагент R12* (дифтордихлорметан — $CCl_2F_2$). Наиболее распространенный хладагент для малых холодильных машин и бытовых холодильников. Бесцветный газ, тяжелее воздуха, практически без запаха. При концентрации в воздухе более 20 % появляется слабый сладковатый запах эфира. Хладагент не горит и не образу-

ет с воздухом взрывоопасной смеси, хорошо растворяет смазочное масло в рабочем диапазоне температур, крайне мало растворяется в воде. В отсутствие влаги нейтрален практически по всем металлам. При температуре выше 330 °С R12 в присутствии металлов разлагается с образованием хлористого и фтористого водорода и небольшого количества ядовитого газа — фосгена. При содержании R12 в воздухе до 20 % он безвреден для человека.

Хладагент R12 применяют в одноступенчатых среднетемпературных холодильных машинах с диапазоном кипения 10...–25 °С.

*Хладагент R22* (дифтормонохлорметан — $CHF_2Cl$). Бесцветный газ со слабым запахом хлороформа, имеет более низкую температуру кипения и более высокое давление конденсации, чем R12, для одинаковых условий. Он нейтрален к металлам, не горит и не образует с воздухом взрывчатых смесей, неограниченно растворяет смазочное масло при температурах не ниже –10...–20 °С. При более низких температурах масло начинает отделяться от хладагента и образует масляную пленку, препятствующую процессу кипения.

Использование R22 в малых холодильных машинах вместо R12 позволяет на 35...40 % снизить производительность компрессора при той же холодопроизводительности. Это, в свою очередь, приводит к снижению металлоемкости холодильной машины.

Даже при низких температурах кипения R22 давление его на всасывании в компрессор будет выше барометрического, что повышает надежность работы компрессора, особенно при низкотемпературных режимах.

Хладагент R22 используют в одно- и двухступенчатых низкотемпературных холодильных машинах, а также в холодильных машинах воздушных кондиционеров. Диапазон кипения R22 достаточно широк –75...+10 °С.

*Хладагент R502* представляет собой азеотропную смесь хладагентов: 48,8 % R22 и 51,2 % R115 (пентафтормонохлорэтан — $C_2ClF_5$).

Хладагент R502 не горит, не взрывоопасен, химически стабилен и менее токсичен, чем R22. Объемная холодопроизводительность R502 выше, чем у R22, при одинаковых температурах кипения, а температура нагнетания значительно (около 20 °С) ниже. Хладагент R502 находит применение в средне- и низкотемпературных холодильных машинах, бытовых холодильных и каскадных холодильных машинах.

Использование R502 вместо R22 в низкотемпературных холодильных машинах повышает холодопроизводительность на 20...40 % и улучшает энергетические показатели компрессора на 10...12 %. Термодинамические свойства R502 приведены в табл. 4.2.

*Хладагент R13* (трифтормонохлорметан $CF_3Cl$). Хладагент R13 не горит, не взрывоопасен, практически безвреден для человека. Растворимость в смазочном масле ограничена.

Таблица 4.2

**Соотношение между температурой и давлением хладагентов в состоянии насыщения**

| Температура, °С | Давление абсолютное·10⁵, Па | | | | Температура, °С | Давление абсолютное·10⁵, Па | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | R12 | R22 | R502 | R717 (аммиак) | | R12 | R22 | R502 | R717 (аммиак) |
| –100 | — | 0,0199 | — | — | –72 | 0,1075 | 0,1796 | 0,2449 | 0,09436 |
| –99 | — | 0,0218 | — | — | –71 | 0,1148 | 0,1917 | 0,2604 | 0,10164 |
| –98 | — | 0,0239 | — | — | –70 | 0,1226 | 0,2045 | 0,2767 | 0,10938 |
| –97 | — | 0,0262 | — | — | –69 | 0,1307 | 0,218 | 0,2938 | 0,11763 |
| –96 | — | 0,0286 | — | — | –68 | 0,1393 | 0,2322 | 0,3117 | 0,12639 |
| –95 | — | 0,0313 | — | — | –67 | 0,1484 | 0,2471 | 0,3305 | 0,1357 |
| –94 | — | 0,0341 | — | — | –66 | 0,1579 | 0,2629 | 0,3502 | 0,14559 |
| –93 | — | 0,0372 | — | — | –65 | 0,1679 | 0,2794 | 0,371 | 0,15608 |
| –92 | — | 0,0405 | — | — | –64 | 0,1785 | 0,2968 | 0,3927 | 0,1672 |
| –91 | — | 0,044 | — | — | –63 | 0,1897 | 0,315 | 0,4154 | 0,17898 |
| –90 | — | 0,0478 | — | — | –62 | 0,2012 | 0,3341 | 0,4391 | 0,19145 |
| –89 | — | 0,0519 | — | — | –61 | 0,2134 | 0,3541 | 0,4639 | 0,20464 |
| –88 | — | 0,0563 | — | — | –60 | 0,2262 | 0,3752 | 0,4899 | 0,21859 |
| –87 | — | 0,0609 | — | — | –59 | 0,2396 | 0,3972 | 0,517 | 0,23333 |
| –86 | | 0,0659 | — | — | –58 | 0,2537 | 0,4202 | 0,5452 | 0,2489 |
| –85 | — | 0,0712 | 0,1012 | — | –57 | 0,2634 | 0,4443 | 0,5747 | 0,26533 |
| –84 | — | 0,0768 | 0,1094 | — | –56 | 0,2838 | 0,4695 | 0,6055 | 0,28265 |
| –83 | — | 0,0829 | 0,1173 | — | –55 | 0,2999 | 0,4958 | 0,6376 | 0,30091 |
| –82 | — | 0,0893 | 0,1258 | — | –54 | 0,3168 | 0,5234 | 0,671 | 0,32014 |
| –81 | — | 0,0961 | 0,1346 | — | –53 | 0,3344 | 0,5521 | 0,7058 | 0,34038 |
| –80 | — | 0,1034 | 0,1462 | — | –52 | 0,3527 | 0,5821 | 0,7421 | 0,36168 |
| –79 | — | 0,1111 | 0,1563 | — | –51 | 0,3719 | 0,6134 | 0,7798 | 0,38408 |
| –78 | — | 0,1193 | 0,1671 | — | –50 | 0,3919 | 0,6459 | 0,819 | 0,40762 |
| –77 | — | 0,128 | 0,1783 | 0,06427 | –49 | 0,4127 | 0,6799 | 0,8597 | 0,43234 |
| –76 | — | 0,1372 | 0,1874 | 0,06952 | –48 | 0,4345 | 0,7152 | 0,9021 | 0,45829 |
| –75 | 0,0879 | 0,1469 | 0,2028 | 0,07513 | –47 | 0,4571 | 0,752 | 0,946 | 0,48551 |
| –74 | 0,094 | 0,1572 | 0,2162 | 0,08113 | –46 | 0,4806 | 0,7903 | 0,9916 | 0,51406 |
| –73 | 0,1006 | 0,1681 | 0,2302 | 0,08753 | –45 | 0,5051 | 0,8302 | 1,039 | 0,54398 |

*Продолжение табл. 4.2*

| Температура, °С | Давление абсолютное $\cdot 10^5$, Па | | | | Температура, °С | Давление абсолютное $\cdot 10^5$, Па | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | R12 | R22 | R502 | R717 (аммиак) | | R12 | R22 | R502 | R717 (аммиак) |
| –44 | 0,5306 | 0,8715 | 1,0881 | 0,57532 | –15 | 1,83 | 2,966 | 3,4928 | 2,3636 |
| –43 | 0,5571 | 0,9145 | 1,1391 | 0,60813 | –14 | 1,899 | 3,076 | 3,6173 | 2,4659 |
| –42 | 0,5847 | 0,9592 | 1,1919 | 0,64246 | –13 | 1,97 | 3,19 | 3,7452 | 2,5716 |
| –41 | 0,6133 | 1,006 | 1,2465 | 0,67837 | –12 | 2,044 | 3,308 | 3,8764 | 2,681 |
| –40 | 0,643 | 1,054 | 1,3032 | 0,71591 | –11 | 2,119 | 3,428 | 4,0112 | 2,7939 |
| –39 | 0,6738 | 1,104 | 1,3617 | 0,75513 | –10 | 2,196 | 3,552 | 4,1493 | 2,9106 |
| –38 | 0,7057 | 1,155 | 1,4224 | 0,7961 | –9 | 2,275 | 3,679 | 4,291 | 3,0312 |
| –37 | 0,7389 | 1,209 | 1,4851 | 0,83886 | –8 | 2,357 | 3,809 | 4,4364 | 3,1556 |
| –36 | 0,7732 | 1,265 | 1,55 | 0,88348 | –7 | 2,44 | 3,943 | 4,5853 | 3,284 |
| –35 | 0,8088 | 1,322 | 1,617 | 0,93002 | –6 | 2,526 | 4,081 | 4,7361 | 3,4164 |
| –34 | 0,8457 | 1,382 | 1,6863 | 0,97853 | –5 | 2,614 | 4,222 | 4,8945 | 3,5531 |
| –33 | 0,8839 | 1,443 | 1,7578 | 1,0291 | –4 | 2,705 | 4,367 | 5,0549 | 3,6939 |
| –32 | 0,9234 | 1,507 | 1,8317 | 1,0817 | –3 | 2,798 | 4,515 | 5,2191 | 3,8391 |
| –31 | 0,9643 | 1,573 | 1,9079 | 1,1365 | –2 | 2,893 | 4,667 | 5,3873 | 3,9888 |
| –30 | 1,006 | 1,641 | 1,9866 | 1,5145 | –1 | 2,99 | 4,823 | 5,5694 | 4,1429 |
| –29 | 1,05 | 1,712 | 2,0678 | 1,5863 | 0 | 3,091 | 4,983 | 5,7358 | 4,3017 |
| –28 | 1,095 | 1,784 | 2,1514 | 1,6609 | 1 | 3,193 | 5,147 | 5,9161 | 4,4652 |
| –27 | 1,142 | 1,86 | 2,2377 | 1,7382 | 2 | 3,298 | 5,315 | 6,1007 | 4,6334 |
| –26 | 1,19 | 1,937 | 2,3266 | 1,8184 | 3 | 3,406 | 5,487 | 6,2994 | 4,8066 |
| –25 | 1,24 | 2,017 | 2,4182 | 1,1936 | 4 | 3,516 | 5,663 | 6,4826 | 4,9847 |
| –24 | 1,291 | 2,1 | 2,5124 | 1,2529 | 5 | 3,629 | 5,844 | 6,5639 | 5,1679 |
| –23 | 1,344 | 2,185 | 2,6095 | 1,3146 | 6 | 3,745 | 3,026 | 6,882 | 5,3563 |
| –22 | 1,399 | 2,273 | 2,7094 | 1,3787 | 7 | 3,863 | 6,217 | 6,0884 | 5,5499 |
| –21 | 1,455 | 2,363 | 2,8122 | 1,4453 | 8 | 3,984 | 6,411 | 7,2602 | 5,7489 |
| –20 | 1,513 | 2,456 | 2,918 | 1,9015 | 9 | 4,108 | 6,608 | 7,515 | 5,9534 |
| –19 | 1,573 | 2,552 | 3,0268 | 1,9876 | 10 | 4,235 | 6,811 | 7,7352 | 6,1635 |
| –18 | 1,634 | 2,651 | 3,1386 | 2,0767 | 11 | 4,365 | 7,018 | 7,9603 | 6,3792 |
| –17 | 1,698 | 2,753 | 3,2534 | 2,1691 | 12 | 4,497 | 7,229 | 8,1901 | 6,0007 |
| –16 | 1,763 | 2,858 | 3,3715 | 2,2347 | 13 | 4,633 | 7,445 | 8,4248 | 6,828 |

*Окончание табл. 4.2*

| Температура, °С | Давление абсолютное·$10^5$, Па | | | | Температура, °С | Давление абсолютное·$10^5$, Па | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | R12 | R22 | R502 | R717 (аммиак) | | R12 | R22 | R502 | R717 (аммиак) |
| 14 | 4,772 | 7,667 | 8,6644 | 7,0613 | 36 | 8,672 | 13,876 | 15,3253 | 13,916 |
| 15 | 4,913 | 7,892 | 8,9091 | 7,3007 | 37 | 8,892 | 14,226 | 15,5979 | 14,316 |
| 16 | 5,058 | 7,123 | 9,1588 | 7,5462 | 38 | 9,116 | 14,582 | 16,0774 | 14,724 |
| 17 | 5,206 | 8,359 | 9,4136 | 7,798 | 39 | 9,344 | 14,945 | 16,4835 | 15,141 |
| 18 | 5,357 | 8,6 | 9,6737 | 8,0562 | 40 | 9,577 | 15,315 | 16,8567 | 15,567 |
| 19 | 5,511 | 8,846 | 9,939 | 8,3209 | 41 | 9,814 | 15,691 | 17,2567 | 16,002 |
| 20 | 5,689 | 9,097 | 10,2097 | 8,5922 | 42 | 10,10 | 16,074 | 17,6639 | 16,446 |
| 21 | 5,83 | 8,353 | 10,4857 | 8,8701 | 43 | 10,3 | 16,464 | 18,0782 | 16,899 |
| 22 | 5,994 | 9,615 | 10,7673 | 9,1548 | 44 | 10,55 | 16,862 | 18,4998 | 17,362 |
| 23 | 6,162 | 9,882 | 11,0544 | 9,4465 | 45 | 10,8 | 17,266 | 18,9287 | 17,834 |
| 24 | 6,333 | 10,154 | 11,3471 | 9,7452 | 46 | 11,06 | 17,677 | 19,3651 | 18,315 |
| 25 | 6,508 | 10,432 | 11,6455 | 10,051 | 47 | 11,33 | 18,095 | 19,809 | 18,806 |
| 26 | 6,686 | 10,716 | 11,9496 | 10,364 | 48 | 11,59 | 18,521 | 20,2606 | 19,307 |
| 27 | 6,868 | 11,005 | 12,2697 | 10,684 | 49 | 11,87 | 18,954 | 20,7199 | 19,818 |
| 28 | 7,053 | 11,3 | 12,5756 | 11,012 | 50 | 12,14 | 19,395 | 21,1871 | 20,338 |
| 29 | 7,242 | 11,601 | 12,8976 | 11,347 | 51 | 12,43 | 19,843 | 21,55 | 20,869 |
| 30 | 7,435 | 11,908 | 13,2256 | 11,69 | 52 | 12,71 | 20,299 | 22,03 | 21,411 |
| 31 | 7,631 | 12,221 | 13,5597 | 12,041 | 53 | 13 | 20,763 | 22,51 | 21,962 |
| 32 | 7,882 | 12,539 | 13,9 | 12,4 | 54 | 13,3 | 21,235 | 22,3 | 22,525 |
| 33 | 8,036 | 12,864 | 14,2467 | 12,767 | 55 | 13,6 | 21,714 | 23,3 | 23,098 |
| 34 | 8,244 | 13,196 | 14,5997 | 13,141 | 56 | 13,91 | 22,202 | 23,7 | 23,681 |
| 35 | 8,456 | 13,532 | 14,9592 | 13,525 | 57 | 14,22 | 22,698 | 24,3 | 24,276 |

R13 применяют в каскадных холодильных машинах на нижних контурах при температурах кипения –70...–110 °С.

*Аммиак R717* ($NH_3$). Бесцветный газ с резким запахом, температура кипения $NH_3$ при барометрическом давлении –33,3 °С. Он обладает хорошими термодинамическими свойствами, большой объемной холодопроизводительностью.

Аммиак практически нерастворим в масле и очень интенсивно поглощается водой. Утечки аммиака из холодной системы легко обнаруживаются по запаху или с помощью лакмусовой бумаги. С чер-

ными металлами (сталь, чугун) аммиак не вступает в реакцию, но в присутствии влаги разъедает цинк, медь и медные сплавы.

Оказывает вредное воздействие на человека — раздражает слизистые оболочки глаз, желудка, дыхательных путей, вызывает ожоги кожного покрова и спазмы дыхательных органов. Обладая резким запахом, аммиак распознается органами осязания человека при концентрации 0,0005 %. При содержании аммиака в воздухе свыше 0,5 % возможно отравление человека. При концентрации в воздухе 16...27 % R717 (аммиак) образует взрывчатую смесь.

Аммиак — дешевый хладагент с очень хорошими термодинамическими характеристиками. Он применяется в средних и крупных холодильных машинах с поршневыми и винтовыми компрессорами. Холодильные машины, работающие на R717, функционируют при температуре кипения хладагента до –70 °С. В малых холодильных машинах $NH_3$ не применяется из-за его токсичности и взрывоопасности.

Характеристики хладагента R717 и других хладагентов приведены в табл. 4.2.

Хладагенты в рабочем диапазоне температур для холодильной машины могут находиться в жидком и парообразном состоянии. Существенное влияние на состояние хладагента оказывает давление. Причем для хладагента в замкнутом объеме температура и давление взаимосвязаны. Повышение температуры хладагента в замкнутом объеме сопровождается повышением температуры, и наоборот.

*Вода* (R718) при атмосферном давлении кипит при температуре 100 °С. Эту температуру имеет жидкость на дне сосуда и водяной пар, находящийся над поверхностью воды. Температура, при которой вещество превращается из жидкости в пар, называется температурой насыщения. Жидкость, имеющая температуру насыщения, называется насыщенной, а пар — насыщенным. Температура насыщения для конкретного давления — это максимальная температура, которую может иметь жидкость, и минимальная температура, которую может иметь пар. Причем эта температура одинакова для жидкости и пара. Если к жидкости постоянно подводится теплота, то жидкость кипит, а пар через открытый вентиль выводится за пределы сосуда. Давление и температура жидкости и пара остаются постоянными до тех пор, пока в емкости будет находиться жидкость.

Если вентиль частично прикрыть, то давление пара над уровнем жидкости и соответственно давление жидкости повысятся. Если давление кипящей жидкости (давление насыщения) повысится до 97,2 кПа, то температура кипения (температура насыщения) до 120 °С. Новое значение температуры насыщения получено благодаря увеличению давления. Данный эффект используется в бытовой кастрюле-скороварке. Понижение давления пара над уров-

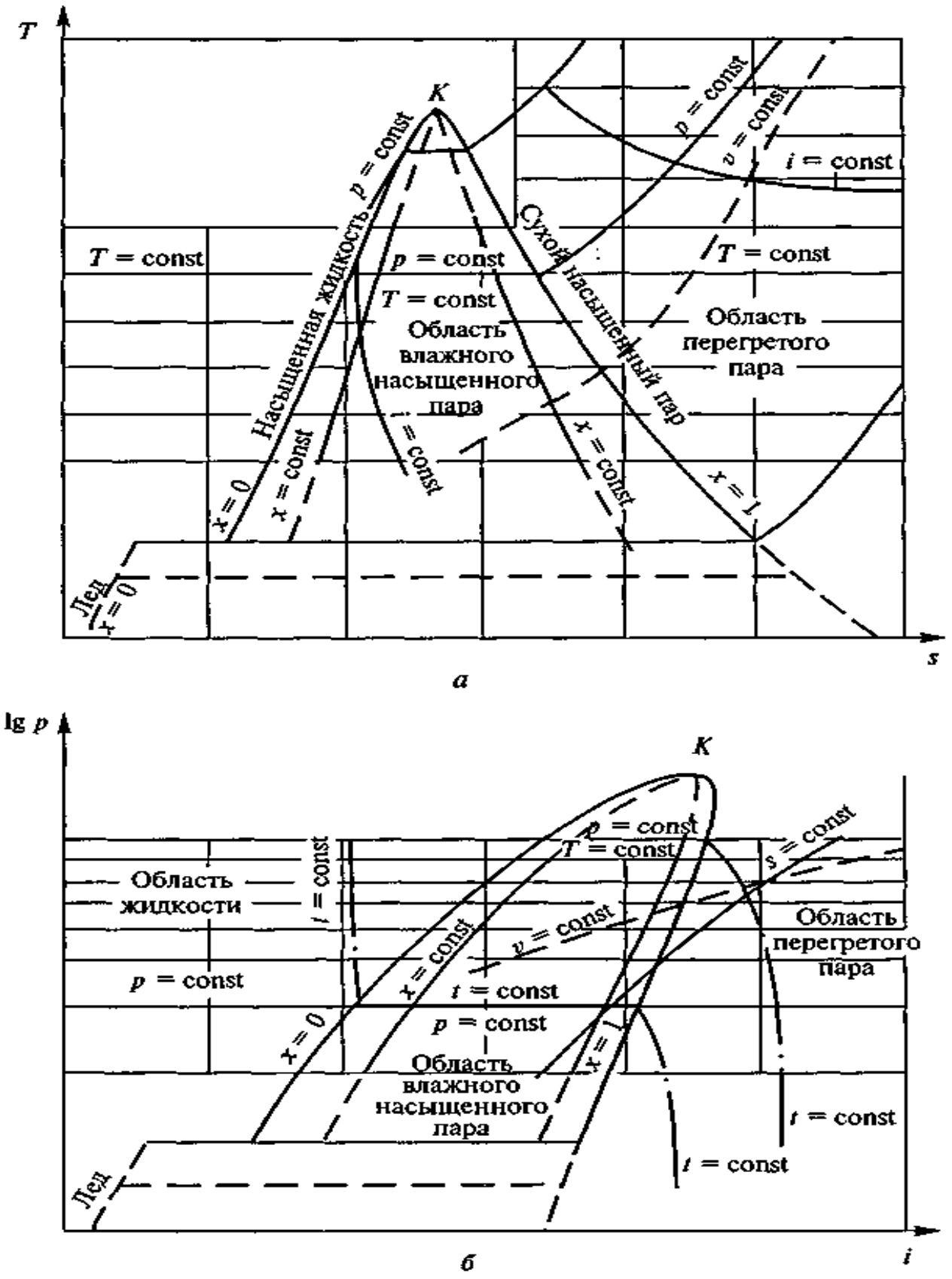



Рис. 4.6. Термодинамические диаграммы:
*а* — в координатах $T - s$; *б* — в координатах $\lg p - i$

нем кипящей жидкости приводит к понижению температуры кипения жидкости.

Взаимосвязь между температурой и давлением в состоянии насыщения существует для всех хладагентов. В табл. 4.2 приведено соотношение между температурой и давлением наиболее часто используемых хладагентов в состоянии насыщения.

Для анализа процессов, происходящих в холодильных машинах, и определения параметров хладагентов помимо таблиц используют термодинамические диаграммы (рис. 4.6). Чаще всего свойства хладагентов представляют в диаграммах с координатами $T — s$ (температура — энтропия) и $\lg p — i$ (давление — энтальпия). Для каждого хладагента существует своя термодинамическая диаграмма, позволяющая определять параметры состояния, — давление $p$, температуру $T$, удельный объем $v$, энтропию $s$ и энтальпию $i$. Все термодинамические диаграммы строятся для 1 кг рабочего тела.

Как правило, термодинамические диаграммы имеют прямоугольные координаты. Кривой выпуклой линией диаграмма разделена на несколько областей. Верхняя часть выпуклой линии обозначена точкой $K$ и называется критической. При температуре рабочего тела (хладагента) выше критической (выше точки $K$) хладагент может находиться только в газообразном состоянии. Ниже критической точки рабочее тело может находиться в газообразном, жидком или парожидкостном состояниях. Линии, отходящие от критической точки $K$, называются пограничными кривыми, делящими диаграмму на отдельные области.

## 4.3. Теплоносители

В холодильной технике наибольшее распространение получили следующие теплоносители: вода; водный раствор хлористого натрия (NaCl); водный раствор хлористого кальция ($CaCl_2$); этиленгликоль; пропиленгликоль; глицерин; метиловый спирт (метанол).

Теплоносители можно условно разбить на три группы: вода, рассолы и антифризы.

**Вода.** Наиболее универсальным теплоносителем является вода и ее применение оправдано во всех холодильных системах, обеспечивающих охлаждение помещений и камер при температуре выше 0 °С. Как правило, это крупные установки и системы кондиционирования воздуха.

Обладая хорошей текучестью, большой теплоемкостью и высокими значениями коэффициента теплоотдачи, вода является очень хорошим теплоносителем и с точки зрения термодинамики и теплопередачи. Стоимость воды невелика, она практически не вызывает коррозии трубопроводов и аппаратов холодильных машин.

Недостатком воды как теплоносителя является высокая температура замерзания, что существенно ограничивает ее применение.

**Рассолы.** Для понижения температуры замерзания теплоносителей используют водные растворы солей, которые получили название рассолов. Чем больше растворено соли в воде, тем ниже температура замерзания раствора, но это понижение температуры замерзания не бесконечно. Раствор любой соли в воде имеет определенную концентрацию, при которой температура замерзания раствора минимальна. Такая концентрация раствора соли в воде получила название эвтектической концентрации (или эвтектики), а раствор — *эвтектического раствора.*

В холодильной технике используют два вида рассола — водный раствор хлористого натрия (NaCl) и хлористого кальция ($CaCl_2$).

Минимальная температура раствора хлористого натрия –21 °С. Она достигается при эвтектической концентрации 23 % соли в воде. Раствор хлористого натрия используют для охлаждения и замораживания мяса, рыбы и других продуктов преимущественно орошением. Раствор хлористого натрия (поваренная соль) безопасен для человека, что позволяет использовать его при контакте продукта с охлаждающей или замораживающей средой, т.е. теплоносителем.

Водный раствор хлористого кальция ($CaCl_2$) используют в технологических процессах замораживания или хранения продуктов, когда температура охлажденного теплоносителя (рассола) должна быть ниже –18 °С. Эвтектическая температура раствора хлористого кальция составляет –55 °С при концентрации около 30 %. Недостатком раствора хлористого кальция является его токсичность и коррозионная активность к материалу трубопроводов.

Характеристики растворов хлористого натрия и хлористого кальция в воде приведены в табл. 4.3 и 4.4.

Таблица 4.3

**Характеристика водного раствора (рассола) хлористого натрия**

| Количество NaCl в растворе, % по массе | Плотность при 15,5 °С, кг/л | Удельная теплоемкость при 15,5 °С, кДж/(кг·К) | Температура замерзания, °С |
|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 4,18 | 0 |
| 5 | 1,035 | 3,92 | −2,8 |
| 10 | 1,072 | 3,71 | −6,4 |
| 15 | 1,111 | 3,54 | −11,1 |
| 20 | 1,15 | 3,4 | −16,8 |
| 23 | 1,175 | 3,33 | −21,1 |
| 25 | 1,191 | 3,29 | −8,8 |

Таблица 4.4

**Характеристика водного раствора (рассола) хлористого кальция**

| Количество $CaCl_2$ в растворе, % по массе | Плотность при 15,5 °С, кг/л | Удельная теплоемкость при 15,5 °С, кДж/(кг·К) | Температура замерзания, °С |
|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 4,18 | 0 |
| 5 | 1,044 | 3,86 | −2,4 |
| 10 | 1,087 | 3,57 | −5,4 |
| 15 | 1,133 | 3,31 | −10,3 |
| 20 | 1,182 | 3,08 | −18 |
| 25 | 1,233 | 2,88 | −29,4 |
| 29,87 | 1,29 | 2,74 | −55 |
| 30 | 1,295 | 2,73 | −46 |

**Антифризы.** Некоторые водорастворимые соединения, имеющие низкую температуру замерзания, получили название антифризов. К наиболее часто применяемым антифризам относятся водные растворы этиленгликоля, пропиленгликоля, метилового спирта и глицерина. В табл. 4.5 приведены температуры замерзания антифризов в зависимости от их концентрации в воде.

Таблица 4.5

**Температура замерзания водных растворов антифризов**

| Метиловый спирт | | Глицерин | | Этиленгликоль | | Пропиленгликоль | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Содержание, % по массе | Температура замерзания, $t$, °С | Содержание, % по массе | Температура замерзания, $t$, °С | Содержание, % по массе | Температура замерзания, $t$, °С | Содержание, % по массе | Температура замерзания, $t$, °С |
| 5 | −2,2 | 10 | −1,6 | 15 | −5,3 | 5 | −1,7 |
| 10 | −4,7 | 20 | −4,8 | 20 | −8,8 | 10 | −3,3 |
| 15 | −6,8 | 30 | −9,5 | 25 | −12,2 | 15 | −5,3 |
| 20 | −10,4 | 40 | −15,4 | 30 | −15,8 | 20 | −7,2 |
| 25 | −14,7 | 50 | −23 | 35 | −20 | 25 | −9,5 |
| 30 | −19,2 | 60 | −34,7 | 40 | −24,7 | 30 | −12,8 |
| 35 | −25,1 | 70 | −38,9 | 45 | −30 | 35 | −16,4 |
| 40 | −29,4 | 80 | −20,8 | 50 | −35,8 | 40 | −20,8 |
| 45 | −33,1 | 90 | −1,6 | | | 45 | −26,1 |
| 50 | −36,7 | 100 | 17 | | | 50 | −31,9 |
| 55 | −40,3 | | | | | 55 | −39,8 |
| | | | | | | 59 | −49,4 |

Наиболее широко в холодильной технике применяют водные растворы этиленгликоля и пропиленгликоля. Причем применение пропиленгликоля предпочтительней, так как этиленгликоль токсичен. В отличие от рассолов антифризы исключительно стойкие соединения и не испаряются при эксплуатации. Антифризы не вызывают коррозии трубопроводов, не вступают в химические реакции с цветными металлами и сплавами, но они существенно дороже рассолов.

## 4.4. Принцип действия парокомпрессионной холодильной машины

Было установлено, что процесс фазового перехода, особенно кипения, наиболее удобен для получения искусственного холода. Кроме того, регулировать температуру кипения рабочего тела можно изменением давления. Эффективность такого процесса достаточно велика.

Установлено также, что с экономической и термодинамической точек зрения целесообразно создать циклическое перемещение рабочего тела по замкнутому контуру с многократным его использованием. При этом рабочее тело периодически превращается в жидкость и пар и организует процесс переноса теплоты от охлаждаемого тела (из холодильной камеры) к среде с более высокой температурой (например, в окружающую среду).

Непрерывный круговой процесс, в результате которого теплота от холодного тела передается более теплому, получил название обратного термодинамического цикла или холодильного цикла.

Рабочее тело, участвующее в холодильном цикле и совершающее обратный крутовой процесс, называют хладагентом.

Процесс передачи теплоты с низкого температурного уровня на более высокий, в соответствии со вторым законом термодинамики, требует затраты энергии. Это может быть механическая энергия или любая другая, которая обеспечивает реализацию холодильного цикла. Устройство, позволяющее реализовать холодильный цикл, называется *холодильной машиной.*

Холодильные машины, в которых рабочее тело не изменяет агрегатного состояния, оставаясь всегда в газообразном виде, получили название газовых. При использовании воздуха в качестве рабочего тела такие машины называются воздушными холодильными машинами.

Холодильные машины, в которых для получения искусственного охлаждения используется кипение жидких хладагентов при низких температурах, получили название парожидкостных или паровых холодильных машин.

Для получения эффекта охлаждения в газовых холодильных машинах используют процесс расширения рабочего тела в детандере с совершением внешней работы или вихревой эффект.

В паровых холодильных машинах в качестве холодообразующего процесса используется кипение жидкого хладагента при низком давлении, причем понижение давления хладагента достигается дросселированием.

### Цикл воздушной холодильной машины

Принципиальная схема воздушной холодильной машины приведена на рис. 4.7, *а*. Холодильная машина предназначена для поддержания температуры в охлаждающем помещении *ОП* и состоит из компрессора *Км* для сжатия воздуха, газового холодильника *ХГ* и детандера или расширительного цилиндра *РЦ*.

Воздух из охлаждаемого помещения *ОП* подается на всасывание в компрессор *Км*. Давление на всасывании в компрессор равно $p_0$ и соответствует барометрическому давлению. В компрессоре давление воздуха повышается с $p_0$ до $p$ (процесс *1—2*), при этом повышается и температура воздуха (рис. 4.7, *б, в*). Сжатый горячий воздух поступает в газовый холодильник *ХГ*, где он охлаждается при неизменном давлении (процесс *2—3*). Охлажденный воздух подается в поршневой детандер *РЦ*, где адиабатически расширяется до давления $p_0$ (процесс *3—4*). В результате расширения температура воздуха понижается и холодный воздух подается в охлаждаемое помещение *ОП*. За счет теплопритоков из окружающей среды, контакта с продуктами, людьми и др. воздух в охлаждающем помещении подогревается (процесс *4—1*) и вновь отводится на всасывание в компрессор. Далее все процессы повторяются циклически.

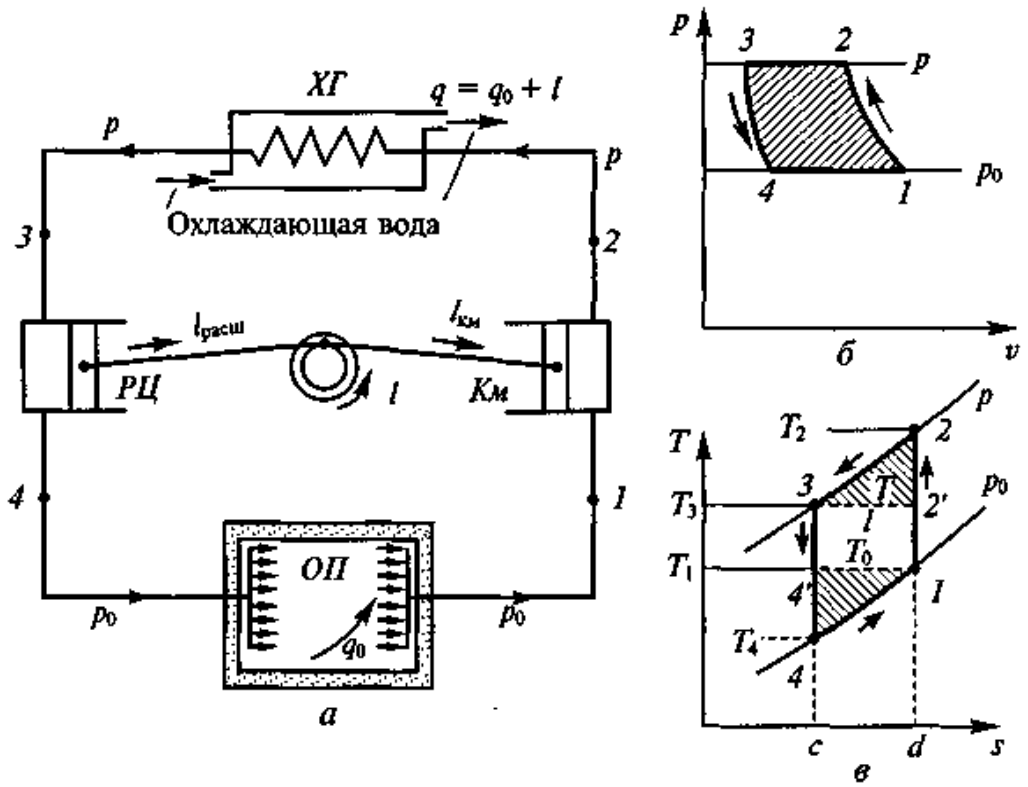



Рис. 4.7. Схема газовой холодильной машины

В результате реализации цикла газовой холодильной машины теплота из охлаждаемого помещения *ОП* отводится холодным воздухом и передается охлаждающей воде в газовом холодильнике *ХГ*.

Для переноса теплоты с более низкого температурного уровня *ОП* на более высокий *ХГ* в компрессоре *Км* затрачивается работа $l_{км}$. При расширении сжатого и охлажденного воздуха от детандера отводится полезная работа $l_{расш}$, которая может быть использована для компенсации части работы сжатия в компрессоре *Км*.

Таким образом, на совершение газового холодильного цикла затрачивается работа

$$l = l_{км} - l_{расш}.$$

Количество теплоты, отведенное из охлаждаемого помещения *ОП* одним килограммом рабочего тела, называется удельной массовой холодопроизводительностью $q_0$.

В соответствии с первым законом термодинамики (закон сохранения энергии), вся энергия, подведенная к рабочему телу, должна быть отведена от него. Элементом, в котором осуществляется отвод энергии от рабочего тела, является газовый холодильник *ХГ*.

К рабочему телу энергия подводится в охлаждающем помещении *ОП* (в виде теплоты) и в компрессоре *Км* (в виде работы с учетом полезной работы расширения). Суммарное количество энергии, отведенной в холодильнике *ХГ*:

$$q = q_0 + l,$$

где $q_0$ — удельная массовая холодопроизводительность, Дж/кг.

Величина $q$ получила название удельной массовой тепловой нагрузки на холодильник *ХГ*. Эта величина больше удельной массовой холодопроизводительности $q_0$ на величину работы $l$, затраченной на совершение холодильного цикла.

Эффективность холодильного цикла принято оценивать показателем, получившим название холодильного коэффициента:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l}.$$

Воздушные холодильные машины не получили большого распространения, так как воздух в силу своих физических и термодинамических свойств требует больших размеров компрессоров и детандеров, циркуляции больших объемов воздуха по элементам холодильной машины.

### Цикл паровой холодильной машины

Рабочим телом в паровых холодильных машинах являются кипящие при низких температурах хладагенты. При совершении холодильного цикла они периодически изменяют агрегатное состо-

яние, переходя из жидкости в пар и снова в жидкость.

Холодильная машина (рис. 4.8) состоит из компрессора *Км*, конденсатора *Кд*, детандера *Д* и испарителя *И*. Все элементы соединены последовательно трубопроводами в замкнутую герметичную систему. Внутренний объем системы заполнен хладагентом.

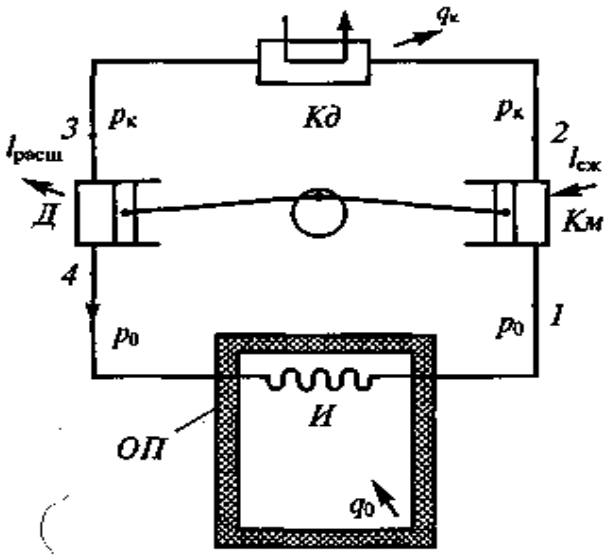



Рис. 4.8. Схема паровой холодильной машины

В охлаждаемом помещении установлен испаритель *И* холодильной машины. Под действием теплопритоков $q_0$ хладагент кипит в испарителе при низком давлении $p_0$. Пары хладагента поступают в компрессор *Км* и сжимаются с давления $p_0$ до $p_к$. Для сжатия хладагента затрачивается работа $l_{сж}$. В процессе сжатия температура хладагента повышается с $t_0$ до $t_к$. Сжатый парообразный хладагент нагнетается в конденсатор *Кд*. В нем от хладагента отводится теплота и хладагент из состояния насыщенного пара переходит в жидкое состояние, т. е. конденсируется. Жидкий хладагент поступает в детандер, где он адиабатически расширяется до давления $p_0$. В процессе расширения температура хладагента понижается с $t_к$ до $t_0$. Хладагент низкого давления с низкой температурой подается в испаритель *И*, где кипит, отводя теплоту из охлаждаемого помещения *ОП*. Холодильный цикл замкнулся.

В испарителе *И* и конденсаторе *Кд* хладагент претерпевает фазовые превращения. В этих процессах давление и температура хладагента взаимосвязаны. Давление кипения $p_0$ выбирается таким образом, чтобы температура кипения хладагента в испарителе *И* была ниже температуры охлаждаемого помещения *ОП*. Давление конденсации $p_к$ должно быть выбрано таким, чтобы температура конденсации $t_к$ (рис. 4.9) была выше температуры охлаждающей конденсатор среды (воды или воздуха).

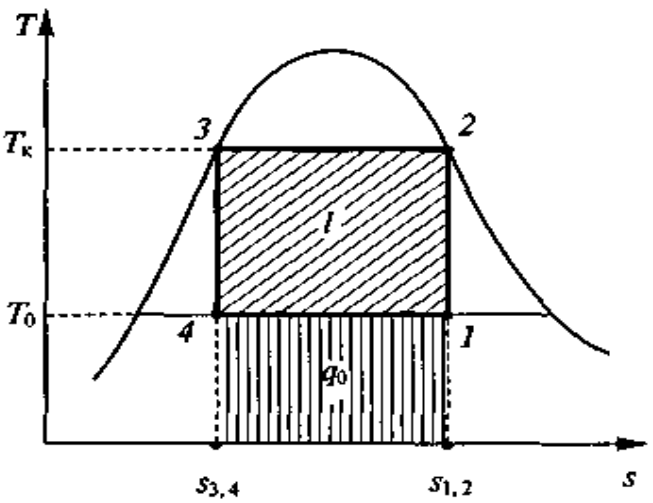



Рис. 4.9. Цикл Карно в координатах $T — s$

В термодинамической диаграмме $T — s$ цикл паровой хо-

лодильной машины (цикл Карно) представлен двумя линиями постоянной температуры (изотермами $T = \text{const}$) и двумя линиями постоянной энтропии ($s = \text{const}$).

Цикл холодильной машины может быть представлен в виде четырех последовательных процессов.

*Процесс 1—2.* Пары хладагента из испарителя *И* сжимаются компрессором *Км* с давления $p_0$ до давления $p_к$. В процессе сжатия хладагента температура его повышается с $T_0$ до $T_к$. Для того чтобы сжать хладагент, затрачивается работа $l_{сж}$.

*Процесс 2—3.* В результате отвода теплоты хладагент из состояния сухого насыщенного пара (точка *2*) переходит в состояние насыщенной жидкости (точка *3*).

*Процесс 3—4.* Жидкий хладагент поступает в расширительное устройство — детандер, где он адиабатически расширяется до состояния *4*. В процессе расширения давление хладагента понижается от $p_к$ до $p_0$, а температура понижается от $T_к$ до $T_0$. В процессе расширения хладагент производит работу $l_{расш}$.

*Процесс 4—1.* В состоянии *4* (парожидкостная смесь при низком давлении) хладагент поступает в испаритель *И*, где он кипит, отводя теплоту от охлаждаемого объема (холодильной камеры, продуктов). В процессе кипения температура хладагента остается постоянной и равной $T_0$. Перейдя в состояние *1*, хладагент подается на всасывание компрессора. Цикл замкнулся.

Отличительной особенностью термодинамической диаграммы $T—s$ является то, что площадь под процессором равна количеству подведенной или отведенной энергии к хладагенту. В соответствии с этим удельная массовая холодопроизводительность $q_0$ определится площадью под процессом $4—1$, т. е. площадью $s_{1,2} — 1 — 4 — s_{3,4}$. Теплота, отведенная от хладагента в конденсаторе $q_к$ (процесс $2—3$), или удельная массовая тепловая нагрузка на конденсатор, определится площадью $s_{1,2} — 2 — 3 — s_{3,4}$.

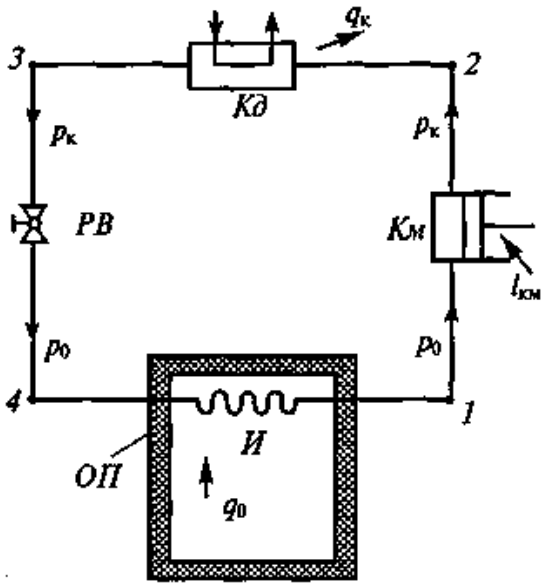



Рис. 4.10. Схема паровой холодильной машины с регулирующим вентилем: *Км* — компрессор; *Кд* — конденсатор; *РВ* — регулирующий вентиль; *И* — испаритель; *ОП* — охлаждаемое помещение

Работа $l$, необходимая для реализации цикла, равна разности между затраченной работой на сжатие хладагента в компрессоре $l_{сж}$ и работой расширения $l_{расш}$, отводимой с вала де-

тандера. В диаграмме $T—s$ работа цикла выражается площадью $1—2—3—4$.

Эффективность цикла паровой холодильной машины оценивается холодильным коэффициентом ε, представляющим собой отношение удельной массовой холодопроизводительности $q_0$ к работе цикла $l$:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l} = \frac{\text{площадь } s_{1,2} — 1 — 4 — s_{3,4} — s_{1,2}}{\text{площадь } 1 — 2 — 3 — 4}.$$

Для цикла Карно удельная массовая холодопроизводительность

$$q_0 = T_0(s_{1,2} - s_{3,4}).$$

Работу цикла $l$, соответствующую площади $1—2—3—4$, можно вычислить по следующей зависимости

$$l = (T_к - T_0)(s_{1,2} - s_{4,3}).$$

Используя выражение для определения холодильного коэффициента ε запишем

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l} = \frac{T_0(s_{1,2} - s_{4,3})}{(T_к - T_0)(s_{1,2} - s_{4,3})} = \frac{T_0}{T_к - T_0}.$$

Одним из наиболее сложных для реализации на практике процессов является расширение хладагента в детандере. Работа расширения $l_{расш}$ невелика, а сложность изготовления детандера значительна.

В большинстве современных холодильных машин детандер заменяют более простым устройством — регулирующим вентилем. Схема холодильной машины с регулирующим вентилем приведена на рис. 4.10.

В отличие от детандера *Д* регулирующий вентиль *РВ* прост по устройству и позволяет регулировать подачу хладагента в испаритель *И*. Замена детандера на регулирующий вентиль *РВ* приводит к тому, что вместо расширения хладагента реализуется процесс дросселирования и изображение цикла изменяется (рис. 4.11).

Дросселирование приводит к следующим потерям: увеличивается работа цикла $l$, которая становится равной $l_{км}$; уменьшается удельная массовая холодопроизводительность цикла $q_0$ на $\Delta q_0$.

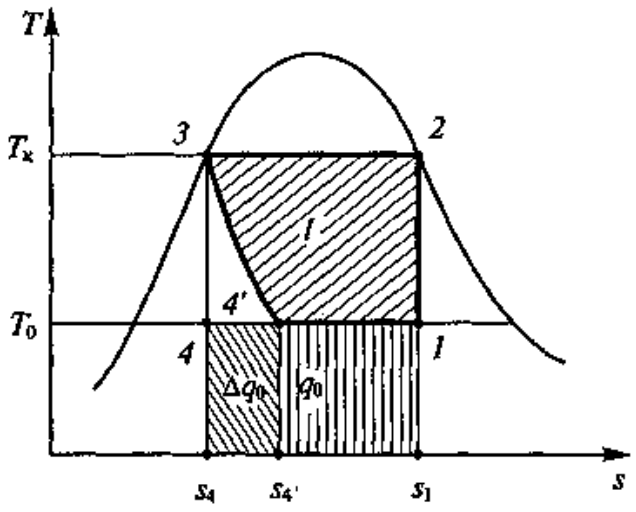



Рис. 4.11. Цикл паровой холодильной машины с регулирующим вентилем

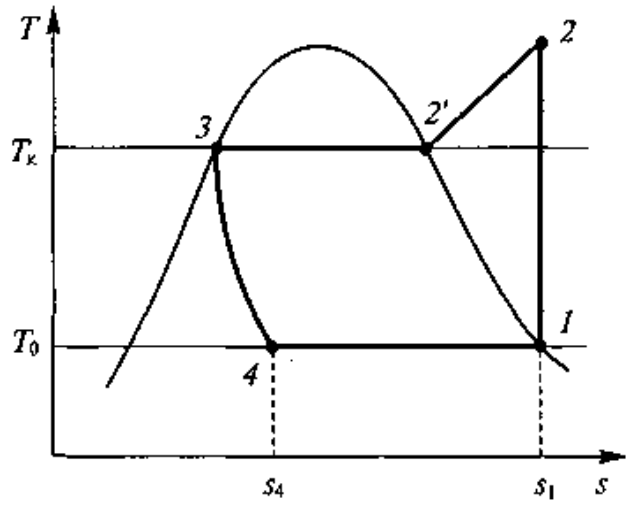



Рис. 4.12. Цикл паровой холодильной машины с процессом сжатия в области перегретого пара

В цикле Карно сжатие хладагента осуществляется в области влажного пара, т. е. при наличии капельной жидкости в хладагенте. На практике реализовать такой процесс невозможно, так как попадание жидкого хладагента в цилиндр компрессора приводит к гидравлическому удару и разрушению компрессора. Для исключения этого явления процесс сжатия переводят в область перегретого пара (рис. 4.12).

В этом случае удельная массовая холодопроизводительность цикла определится площадью под процессом в испарителе (площадь $s_1 — 1 — 4 — s_4 — s_1$). Удельная массовая работа сжатия $l$ будет пропорциональна площади $1 — 2 — 2' — 3 — 4 — 1$.

Холодильный коэффициент цикла в этом случае

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l}.$$

Определять удельные массовые характеристики $q_0$ и $l_{сж}$ по значениям площадей крайне неудобно. Поэтому на практике чаще всего используют термодинамическую диаграмму lg $p—i$, позволяющую не только построить цикл холодильной машины, но и определить удельные показатели цикла. Изображение цикла паровой машины с регулирующим вентилем и сжатием хладагента в области перегретого пара приведено на рис. 4.13.

Подобно циклу Карно данный цикл можно представить в виде ряда последовательных процессов.

*Процесс 1—2.* Сжатие хладагента. В конце сжатия температура $t_2$ значительно выше температуры $t_к$ хладагента. Работа, затрачиваемая на сжатие хладагента, определится разностью энтальпий конца и начала процесса сжатия:

$$l_{сж} = i_2 - i_1.$$

*Процесс 2—3.* Данный процесс, осуществляемый в конденсаторе холодильной машины, можно разделить на две составляющие. Процесс $2—2'$ — охлаждение хладагента от температуры конца процесса сжатия $t_2$ до температуры сухого насыщенного пара $t_2'$.

Процесс $2'—3$ — конденсация (превращение в жидкое состояние) паров хладагента. Этот процесс осуществляется при температуре $t_к$ и давлении $p_к$. Для конденсации хладагента от него нуж-

но отвести теплоту. Эта теплота определится разностью энтальпий начала и конца процесса

$$q_к = i_2 - i_3.$$

Величина $q_к$ получила название удельной массовой тепловой нагрузки на конденсатор.

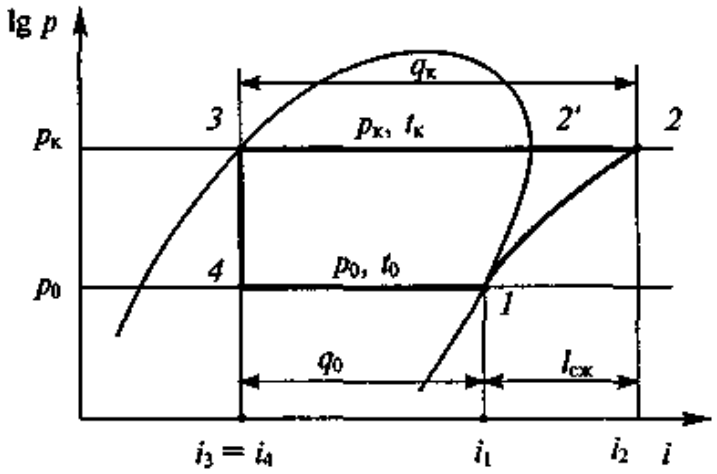



Рис. 4.13. Цикл паровой холодильной машины в lg $p$ — $i$ координатах

*Процесс 3—4.* Дросселирование (расширение) жидкого хладагента в регулирующем вентиле. Этот процесс осуществляется без совершения внешней работы и проходит при постоянной энтальпии $i_3 = i_4$.

*Процесс 4—1.* Процесс кипения хладагента в испарителе. После дросселирования хладагента (точка *4*) его давление становится равным $p_0$ и температура кипения — $t_0$. При данных условиях хладагент кипит и превращается в пар. Теплота, подводимая к хладагенту при кипении, равна разности энтальпий конца и начала процесса

$$q_0 = i_1 - i_4,$$

где $q_0$ — удельная массовая холодопроизводительность цикла.

В соответствии с законом сохранения (первый закон термодинамики) энергия, подведенная к хладагенту при совершении холодильного цикла, должна быть равна отведенной энергии. К хладагенту энергия подводится при сжатии ($l_{сж}$ в процессе *1—2*) и при кипении хладагента в испарителе ($q_0$ в процессе *4—1*). Энергия отводится от хладагента в конденсаторе ($q_к$ в процессе *2—3*). Закон сохранения энергии для холодильного цикла имеет вид

$$q_к = q_0 + l_{сж}.$$

Это выражение называется также тепловым или энергетическим балансом паровой холодильной машины.

## 4.5. Расчет цикла холодильной машины

**Удельные характеристики.** Расчет цикла паровой холодильной машины сводится к определению следующих удельных характеристик: массовой холодопроизводительности $q_0$; удельной массовой тепловой нагрузки на конденсатор $q_к$; удельной массовой работы сжатия $l_{сж}$.

В расчет цикла входит также определение такого показателя эффективности цикла, как холодильный коэффициент ε.

*Удельная массовая холодопроизводительность* $q_0$ показывает, какое количество теплоты может отвести 1 кг хладагента, участвующего в осуществлении холодильного цикла. В соответствии с изображением цикла (см. рис. 4.13) удельная массовая холодопроизводительность определяется разностью энтальпий хладагента, выходящего из испарителя (точка *1*) и входящего в испаритель (точка *4*):

$$q_0 = i_1 - i_4.$$

*Удельная массовая работа сжатия* $l_{сж}$ определяет, какое количество работы нужно совершить, чтобы сжать 1 кг хладагента от давления кипения $p_0$ до давления конденсации $p_к$. Рассчитать удельную работу сжатия можно по разности энтальпий хладагента на выходе и входе в компрессор

$$l_{сж} = i_2 - i_1.$$

Удельная работа сжатия выражается в джоулях на килограмм или килоджоулях на килограмм (Дж/кг или кДж/кг).

*Удельная массовая тепловая нагрузка на конденсатор* $q_к$. Вся энергия, подведенная к хладагенту в испарителе и компрессоре, должна быть отведена от него. Процесс отвода теплоты осуществляется в конденсаторе холодильной машины. Количество теплоты, отведенное от 1 кг хладагента в конденсаторе, получило название удельной тепловой нагрузки на конденсатор $q_к$. Аналогично определению других удельных характеристик холодильного цикла ($q_0$ и $l_{сж}$), величина $q_к$ определяется разностью энтальпий хладагента на входе и выходе из конденсатора

$$q_к = i_2 - i_3.$$

Холодильный коэффициент ε является одним из показателей эффективности холодильного цикла и определяется отношением удельной массовой холодопроизводительности $q_0$ к удельной работе сжатия $l_{сж}$:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l_{сж}}.$$

**Влияние температуры кипения $t_0$ хладагента на характеристики холодильного цикла.** Характеристики холодильного цикла в большой степени зависят от условий работы — температур кипения $t_0$ и конденсации $t_к$ хладагента.

Для иллюстрации влияния температуры кипения на характеристики рассмотрим два цикла холодильной машины, отличающиеся значением температуры кипения $t_0$ (рис. 4.14).

Первый холодильный цикл *1 — 2 — 3 — 4 — 1* осуществляется при давлениях $p_0$ и $p_к$.

Второй цикл имеет более высокую температуру кипения $t_0'$ и более высокое давление кипения $p_0'$.

Сравнивая удельные массовые холодопроизводительности двух циклов, можно утверждать, что удельная массовая холодопроизводительность второго цикла ($q_0' = i_1' - i_4'$) будет больше удельной массовой холодопроизводительности первого цикла ($q_0 = i_1 - i_4$), т. е.

$$q_0' > q_0.$$

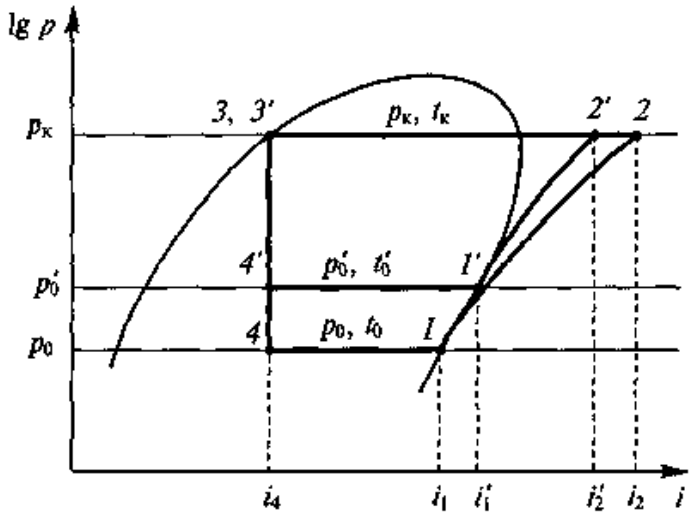



Рис. 4.14. Влияние температуры кипения $t_0$ на характеристики цикла

Более высокое давление кипения второго цикла ($p_0' > p_0$) приводит к тому, что удельная работа сжатия второго цикла ($l_{сж}' = i_2' - i_1'$) будет меньше удельной работы сжатия первого цикла ($l_{сж} = i_2 - i_1$), т. е.

$$l_{сж}' < l_{сж}.$$

Сравнивая значения *холодильных коэффициентов первого* ($\varepsilon = q_0/l_{сж}$) и второго ($\varepsilon' = q_0'/l_{сж}'$) циклов нетрудно установить, что эффективность второго цикла будет выше $\varepsilon' > \varepsilon$. Отсюда следует, что с повышением температуры кипения хладагента $t_0$ эффективность холодильного цикла возрастает. И наоборот, с понижением температуры кипения хладагента $t_0$ эффективность холодильного цикла падает.

**Влияние температуры конденсации $t_к$ на характеристики холодильного цикла.** Подобно предыдущему разделу рассмотрим два цикла холодильной машины, имеющих одинаковую температуру кипения хладагента $t_0$ и отличающихся температурами конденсации (рис. 4.15).

Первый цикл обозначен цифрами *1 — 2 — 3 — 4 — 1* и имеет давление кипения и конденсации $p_0$ и $p_к$ соответственно.

Давление $p_к'$ и температура $t_к'$ конденсации второго цикла выше первого:

$$p_к' > p_к \text{ и } t_к' > t_к.$$

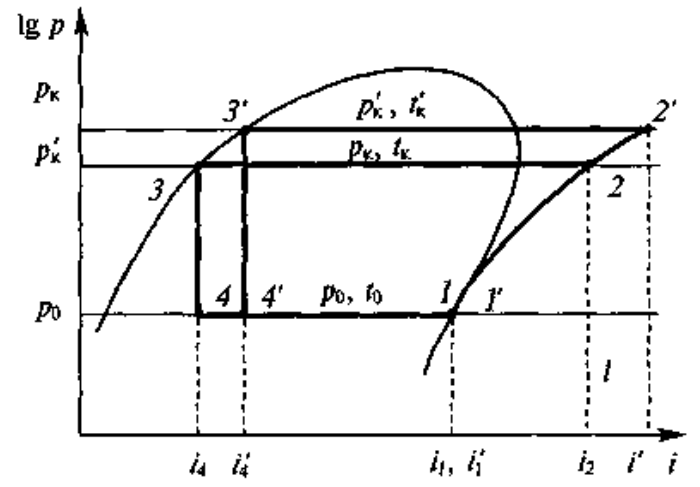



Рис. 4.15. Влияние температуры конденсации $t_к$ на характеристики цикла

Если сравнить удельную работу сжатия двух

рассматриваемых циклов, то очевидно, что на сжатие хладагента во втором цикле требуется больше энергии, т. е. $l'_{сж} > l_{сж}$.

Увеличение температуры и давления конденсации приводит к тому, что удельная массовая холодопроизводительность $q_0$ второго цикла уменьшилась по сравнению с первым

$$q'_0 < q_0.$$

Сопоставление холодильных коэффициентов двух циклов показывает, что холодильный коэффициент цикла с более высоким давлением конденсации меньше:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l_{сж}};\ \varepsilon' = \frac{q'_0}{l'_{сж}};\ \varepsilon' < \varepsilon.$$

С повышением температуры конденсации эффективность цикла холодильной машины падает, и наоборот, с понижением температуры конденсации эффективность цикла холодильной машины возрастает.

**Реальные холодильные циклы.** Реальные холодильные циклы, т. е. циклы, осуществляемые в реальных условиях, несколько отличаются от циклов, рассмотренных выше.

*Перегрев хладагента на всасывании.* В рассмотренных выше холодильных циклах сжатие хладагента начинается с состояния сухого насыщенного пара. В реальных холодильных машинах хладагент поступает в компрессор в состоянии перегретого пара. Перегрев паров хладагента осуществляется во всасывающих трубопроводах компрессора и в самом компрессоре. В некоторых конструкциях компрессоров хладагент после испарителя подается на охлаждение электродвигателя компрессора, где и происходит его перегрев.

*Переохлаждение жидкого хладагента.* На выходе из конденсатора хладагент чаще всего имеет температуру более низкую, чем температура конденсации $t_к$. Это понижение температуры называют переохлаждением жидкого хладагента перед дросселирующим устройством.

**Цикл холодильной машины с регенеративным теплообменником.** Потребность в одновременном перегреве хладагента перед всасыванием в компрессор и переохлаждении перед дросселирующим устройством привела к созданию холодильного цикла со специальным теплообменным аппаратом — регенеративным теплообменником (рис. 4.16).

Хладагент из испарителя *И* в состоянии сухого насыщенного пара (точка *1'*) поступает в регенеративный теплообменник *РТО* и перегревается (точка *1*). Перегретый пар сжимается в компрессоре *Км* и конденсируется в конденсаторе *Кд*. Жидкий хладагент после конденсатора поступает в регенеративный теплообменник *РТО* и переохлаждается парами хладагента, выходящими из испарителя. Количество теплоты, отведенной при переохлаждении

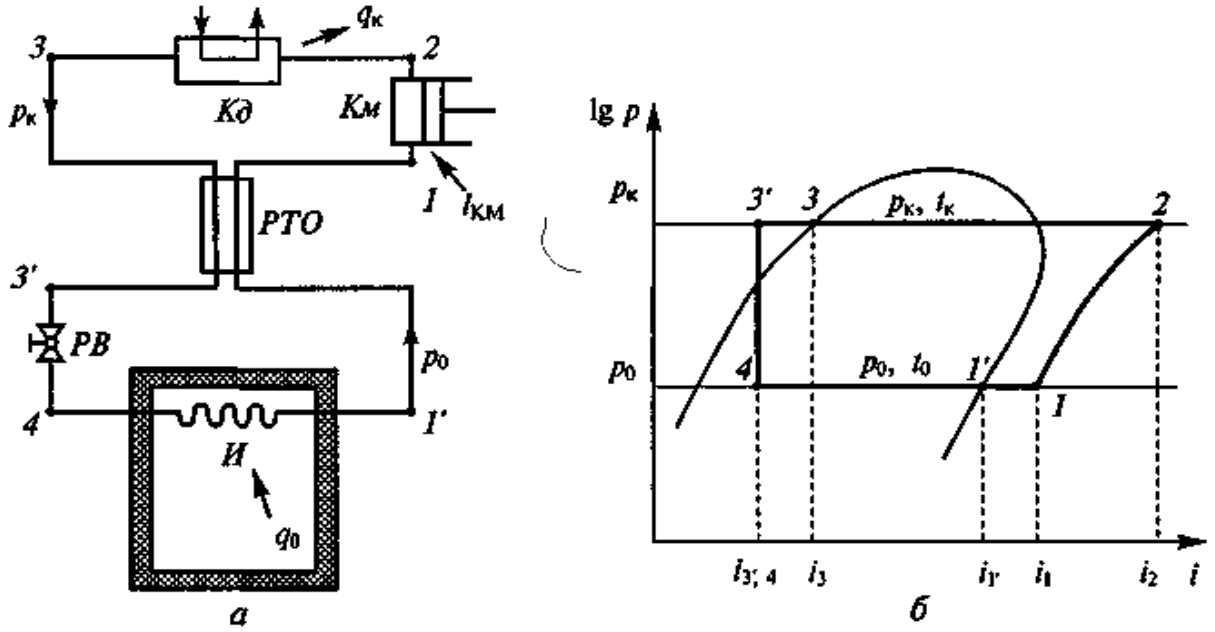



Рис. 4.16. Холодильный цикл с регенеративным теплообменником:
*а* — схема цикла; *б* — цикл в координатах lg $p$ — $i$

жидкого хладагента, равно количеству теплоты, подведенной к парообразному хладагенту.

## 4.6. Многоступенчатые и каскадные холодильные машины

Получение низких температур до –25...–30 °С может быть осуществлено достаточно эффективно в одноступенчатых паровых холодильных машинах. Однако в ряде случаев требуется получение более низких температур. Например, стоимость и пищевая ценность некоторых сортов морской рыбы существенно выше при температуре замораживания и хранения –40...–45 °С.

Попытки использования одноступенчатых паровых холодильных машин для поддержания температур ниже –30 °С приводят к резкому снижению их эффективности, повышению нагрузки на компрессор, возможности термического разложения смазочного масла в компрессоре. Поэтому при температурах кипения хладагента в испарителе холодильной машины ниже –25...–30 °С следует использовать двухступенчатые холодильные машины.

Для получения температур кипения хладагента –70 °С и ниже используют трехступенчатые холодильные машины или переходят на каскадные холодильные машины.

### Двухступенчатые холодильные машины

Снижение температуры кипения и соответственно давления хладагента в испарителе приводит к тому, что при сжатии хладагента в компрессоре температура его в конце процесса сжатия будет воз-

растать, но не безгранично. В современных компрессорах при использовании современных смазочных масел она не может быть выше 160 °С. Превышение этой температуры приводит к тому, что масло начнет разлагаться с образованием смолистых веществ. Этот процесс получил название коксование. Эти смолистые вещества сначала ухудшают работу компрессора, а затем выводят его из строя.

Температура конца сжатия выше 160 °С достигается при температуре кипения хладагента в испарителе ниже –30 °С. Поэтому эта температура и является условием перехода от одноступенчатых холодильных машин к двухступенчатым.

**Двухступенчатая холодильная машина с неполным промежуточным охлаждением** (рис. 4.17). Пары хладагента, кипящего в испарителе *И* при температуре $T_0$ и давлении $p_0$, подаются на сжатие в компрессор. Если бы сжатие осуществилось в одной ступени компрессора, то температура в конце сжатия соответствовала бы параметрам точки *2'*. Для снижения этой температуры процесс сжатия разбивают на две ступени. В первой ступени хладагент сжимается от давления $p_0$ до промежуточного давления $p_{пр}$ (процесс *1—2*). Перед началом сжатия во второй ступени компрессора пары хладагента охлаждают в специальном теплообменном аппарате — промежуточном холодильнике *ПХ* (процесс *2—3'*). Охлажденный хладагент сжимается от давления $p_{пр}$ до давления конденсации $p_к$ во второй ступени компрессора (процесс *3'—4'*). Температура в конце сжатия во второй ступени будет соответствовать параметрам точки *4'* и температура его будет ниже температуры в точке *2'* (рис. 4.17, *б*). Далее хладагент конденсируется в конденсаторе *Кд*, дросселируется в регулирующем вентиле *РВ* и при низком давлении $p_0$ подается в испаритель *И* холодильной машины.

Холодильные машины, работающие по двухступенчатой схеме с неполным промежуточным охлаждением, достаточно просты по

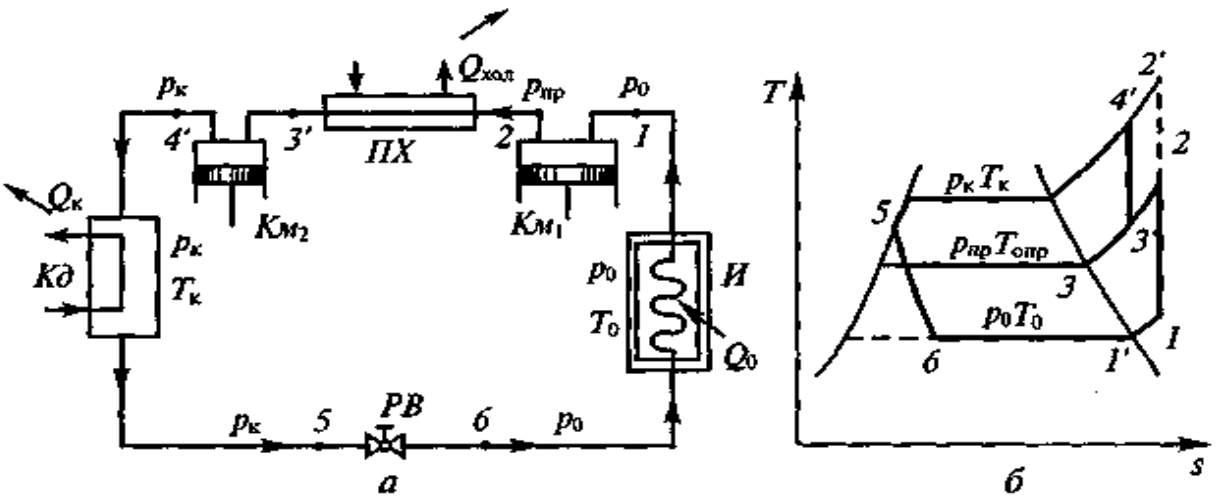



Рис. 4.17. Двухступенчатая паровая холодильная машина с неполным промежуточным охлаждением:

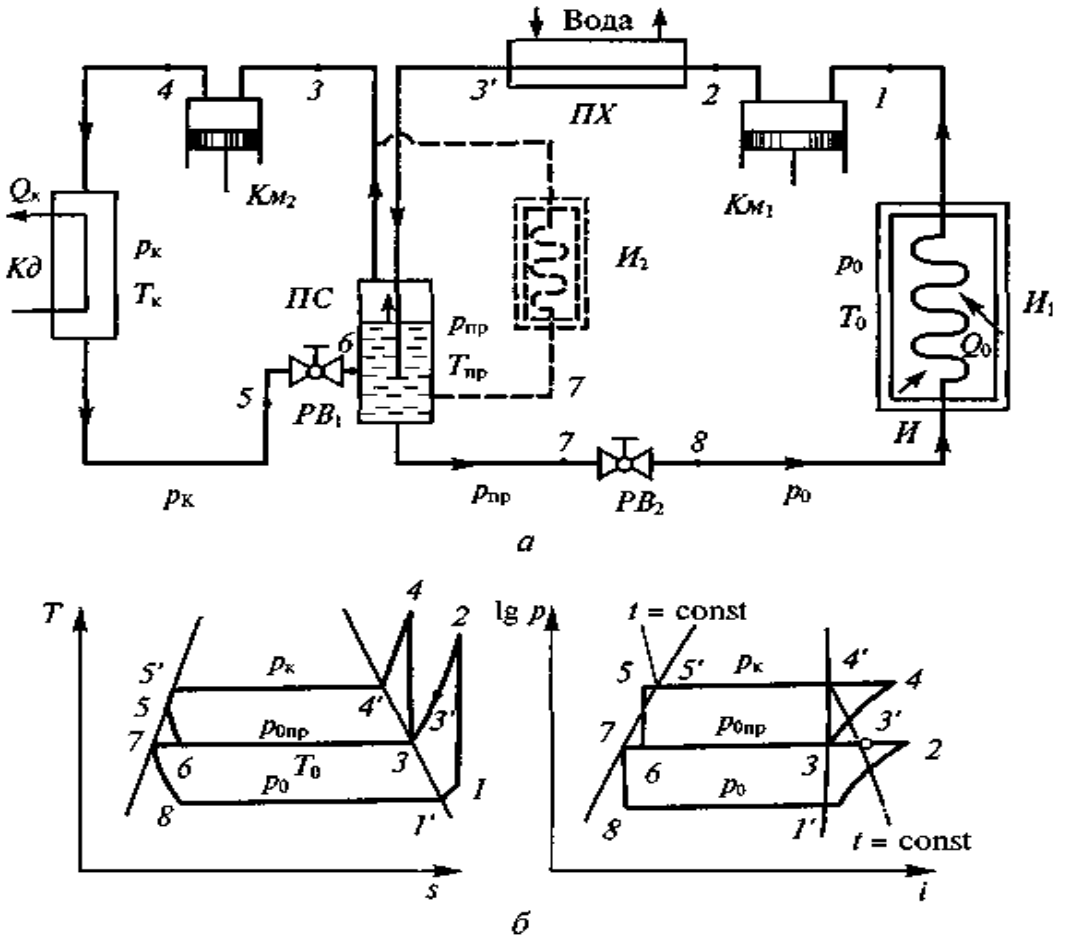
*а* — принципиальная схема; *б* — изображение цикла в координатах $T—s$

конструкции, несложны при монтаже и обслуживании. Однако неполное промежуточное охлаждение приводит к высоким температурам нагнетания. Это ограничивает использование машин данного типа при работе на фреонах при температурах кипения хладагента ниже −40 °С.

**Двухступенчатая холодильная машина с полным промежуточным охлаждением.** Использование полного промежуточного охлаждения позволяет понизить температуру кипения хладагента, и, кроме того, получить две разные температуры кипения. Одну холодильную машину можно использовать для охлаждения двух холодильных камер, имеющих разные температуры.

Принципиальная схема двухступенчатой холодильной машины с полным промежуточным охлаждением и изображение ее цикла в термодинамических диаграммах $T — s$ и $\lg p — i$ приведена на рис. 4.18.

Хладагент из испарителя холодильной машины $И_1$ поступает на сжатие в компрессор первой ступени $Км_1$. После сжатия в пер-




*б*

Рис. 4.18. Двухступенчатая холодильная машина с полным промежуточным охлаждением:

*а* — принципиальная схема; *б* — цикл в координатах $T — s$ и $\lg p — i$

вой ступени компрессора (процесс *1—2*) до давления $p_{пр}$ хладагент охлаждается в промежуточном холодильнике *ПХ* (процесс *2—3'*) и подается в промежуточный сосуд *ПС*. В промежуточном сосуде имеется некоторый уровень хладагента при давлении $p_{пр}$ и температуре $T_{пр}$. Охлажденный до температуры точки *3'* (неполное промежуточное охлаждение) хладагент подается в нижнюю часть промежуточного сосуда и в виде пузырьков проходит через слой жидкого хладагента. Такой процесс называется *барботированием*. В процессе барботирования происходит полное промежуточное охлаждение хладагента.

На всасывание во вторую степень компрессора $Км_2$ хладагент подается в состоянии сухого насыщенного пара (точка *3*). После сжатия в компрессоре (процесс *3—4*) хладагент при давлении $p_к$ подается в конденсатор *Кд*, где конденсируется при отводе теплоты конденсации $Q_к$. Жидкий хладагент при давлении $p_к$ и с температурой $T_к$ дросселируется до промежуточного давления $p_{пр}$ и подается в промежуточный сосуд *ПС*, в котором происходит разделение хладагента на парообразный и жидкий. Парообразный хладагент отводится на всасывание в компрессор $Км_2$, а жидкий дросселируется в регулирующем вентиле $РВ_2$ и подается на заполнение испарителя $И_1$, в котором хладагент кипит, отводя теплоту от охлаждаемой среды, из холодильной камеры, от продуктов и пр.

В рассматриваемой холодильной машине может быть предусмотрен испаритель $И_2$, используемый для охлаждения на более высоком температурном уровне. В испарителе $И_2$ хладагент находится при давлении $p_{пр}$ и кипит при температуре $T_{пр}$. Однако подобная схема работоспособна и без применения испарителя $И_2$.

## Каскадная холодильная машина

Отличием каскадных холодильных машин от многоступенчатых является то, что они состоят из двух или трех одноступенчатых холодильных машин, работающих на разных хладагентах.

Наиболее простая холодильная машина состоит из двух одноступенчатых холодильных машин, включенных последовательно и объединенных одним общим теплообменным аппаратом. Схема каскадной холодильной машины приведена на рис. 4.19.

Каждая холодильная машина получила название ступени каскада. *Нижняя ступень* каскада *НС* работает на хладагенте высокого давления. Это означает, что низкая температура кипения достигается при относительно высоком давлении. Верхняя ступень каскада *ВС* работает на хладагентах, применяемых в одноступенчатых холодильных машинах.

В испарителе *И* нижней ступени *НС* хладагент кипит при температуре $t_0$ за счет теплоты $Q_{0н}$, отводимой от охлаждаемой среды. Парообразный хладагент подается на всасывание в компрессор

$Км_н$ и сжимается (процесс *1—2*). Охлажденный в теплообменнике хладагент (процесс *2—2'*) подается в испаритель-конденсатор *И—К* — теплообменный аппарат, объединяющий ступени каскадной холодильной машины. Для нижнего каскада этот теплообменный аппарат выполняет функции конденсатора, в котором происходит конденсация хладагента нижнего каскада. Теплота конденсации отводится к кипящему хладагенту верхнего каскада.

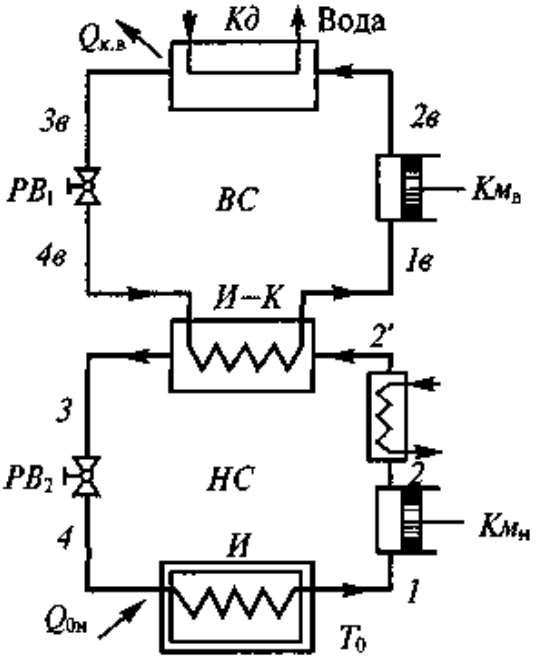



Рис. 4.19. Каскадная холодильная машина

Сконденсированный (процесс *2'—3*) в испарителе-конденсаторе *И—К* хладагент нижнего каскада дросселируется в регулирующем вентиле $PB_2$ и при низком давлении подается в испаритель *И* нижнего каскада *НС*.

*Верхняя ступень* каскада *ВС* также предоставляет собой одноступенчатую холодильную машину. Хладагент верхней ступени каскада кипит за счет подводимой к нему теплоты конденсации нижнего каскада. Пары хладагента сжимаются в компрессоре $Км_в$ (процесс *1в—2в*), конденсируется в конденсаторе *Кд* с отводом теплоты $Q_{к.в}$ (процесс *2в—3в*) и после дросселирования в регулирующем вентиле $PB_1$ подаются в испаритель-конденсатор *И—К*.

Наибольшее распространен получили каскадные холодильные машины, использующие в качестве хладагента нижнего каскада R13, а верхнего каскада — R22.

## 4.7. Абсорбционные холодильные машины

Существует особый класс холодильных машин, которые работают без затраты механической энергии, но для своей работы требуют затраты тепловой энергии. Эти холодильные машины получили название абсорбционных.

В качестве рабочего тела в абсорбционных холодильных машинах используют растворы, состоящие из двух компонентов, которые называют бинарными. Компонентами растворов являются хладагент и поглотитель (абсорбент).

К хладагентам абсорбционных машин предъявляют такие же требования, как и к хладагентам паровых машин. Это, прежде всего, низкая температура кипения и удовлетворительные удельные характеристики (теплота парообразования, объемная холодопроизводительность).

Абсорбенты должны хорошо поглощать хладагент, но не вступать с хладагентом в химические реакции, не образовывать новых соединений. Температура кипения абсорбента должна быть существенно выше температуры кипения хладагента при одном и том же давлении.

В настоящее время на практике используются в основном два вида рабочего тела абсорбционных холодильных машин.

**Водоаммиачные холодильные машины.** Хладагентом в данной холодильной машине является аммиак ($NH_3$). Абсорбент в данной системе — вода ($H_2O$). Данные холодильные машины имеют большую холодопроизводительность (до 35... 100 кВТ) и используются в химической промышленности, на крупных мясокомбинатах и других предприятиях, являющихся крупными потребителями холода. Существуют малые безнасосные абсорбционно-дифузионные холодильные машины холодопроизводительностью до 20... 55 Вт. Машины этого типа используются в бытовых холодильниках и торговом холодильном оборудовании.

**Бромистолитиевые холодильные машины.** В качестве рабочего тела в них используется водный раствор бромистого лития ($LiBr + H_2O$). Вода является хладагентом, а бромистый литий — абсорбентом. Бромистолитиевые абсорбционные холодильные машины непрерывного действия холодопроизводительностью до 450... 3000 кВт используют в системах кондиционирования.

Схема абсорбционной холодильной машины приведена на рис. 4.20. Хладагент (в данном случае это аммиак) кипит в испарителе *И* при давлении $p_0$ за счет теплоты $Q_0$, отводимой из охлаждающего помещения, продуктов и др. Парообразный хладагент интенсивно поглощается слабым водоаммиачным раствором в абсорбере *Аб*. Интенсивность поглощения парообразного аммиака такова, что в испарителе постоянно поддерживается низкое давление кипения $p_0$. Процесс поглощения паров аммиака сопровождается выделением теплоты $Q_{аб}$, которая отводится в охлаждающую воду или окружающую среду. Насыщенный аммиаком раствор из абсорбера *Аб* насосом *Н* перекачивается в кипятильник (генератор) *Кп*. В процессе перекачки насос не только перемещает водоаммиачный раствор, но и повышает его давление с $p_0$ до $p_к$.

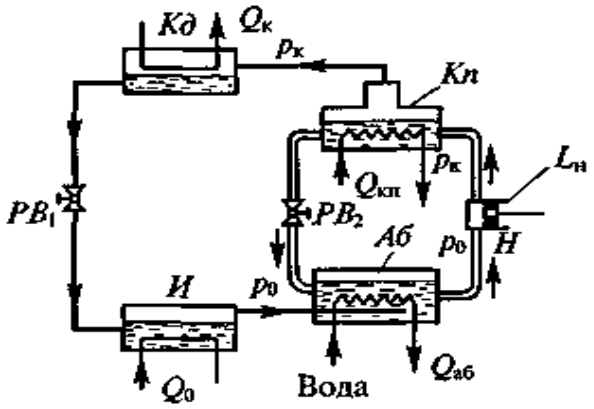



Рис. 4.20. Принципиальная схема абсорбционной холодильной машины:

*И* — испаритель; *Аб* — абсорбер; *Н* — насос; *Кп* — кипятильник (генератор); *Кд* — конденсатор; $PB_1$, $PB_2$ — регулирующие вентили

К кипятильнику *Кп* подводится теплота от высокотемпературного источника. Этим источником может быть теплота от электрического нагревателя, теплота сгорания топлива, теплота любого внешнего источника. В кипятильнике обогащенный водоаммиачный раствор кипит при давлении $p_к$, и при этом из раствора выделяется практически чистый хладагент — аммиак. Обедненный аммиаком раствор дросселируется от давления $p_к$ до давления $p_0$ и подается в абсорбер *Аб* для поглощения паров хладагента из испарителя *И*.

Парообразный хладагент из кипятильника поступает в конденсатор *Кд*, в котором при постоянном давлении $p_к$ от хладагента отводится теплота $Q_{кд}$ и хладагент конденсируется (переходит из парообразного состояния в жидкое). Жидкий хладагент дросселируется в регулирующем вентиле $РВ_1$ от давления $p_к$ до давления $p_0$ и подается в испаритель *И*.

В абсорбционной холодильной машине имеются два контура — хладагента (аммиака) и водоаммиачного раствора. Причем в контуре водоаммиачного раствора реализуется прямой цикл (двигательный цикл), а в контуре хладагента — обратный (холодильный) цикл. Теплота, затрачиваемая на работу кипятильника, и работа насоса равнозначны работе компрессора в паровой холодильной машине.

Для абсорбционной холодильной машины уравнение энергетического (теплового) баланса имеет вид

$$Q_{кп} + Q_0 + L_н = Q_к + Q_{аб},$$

где $Q_{кп}$ — теплота, подведенная к насыщенному водоаммиачному раствору в кипятильнике; $Q_0$ — теплота, отводимая из охлаждаемой среды (холодопроизводительность); $L_н$ — работа насоса; $Q_к$ — теплота, отводимая от хладагента при его конденсации; $Q_{аб}$ — теплота поглощения хладагента слабым водоаммиачным раствором (теплота абсорбции).

**Малые абсорбционные холодильные машины.** Приведенная выше принципиальная схема абсорбционной холодильной машины (см. рис. 4.20) используется в крупных холодильных установках. На предприятиях торговли, массового питания, в бытовых условиях применяются малые абсорбционные холодильные машины, отличительной особенностью которых является отсутствие насоса для сжатия и перекачивания раствора. Функции насоса, создающего разность давлений $p_к$ и $p_0$, выполняет инертный к аммиаку и раствору газ — водород, добавляемый в систему. Схема малой абсорбционной холодильной машины показана на рис. 4.21.

Холодильные машины такого типа используются в бытовых холодильниках, отличающихся от других систем бесшумной работой. Холодильные машины, в которых образовавшийся в испарителе парообразный хладагент проникает (диффундирует) в инерт-

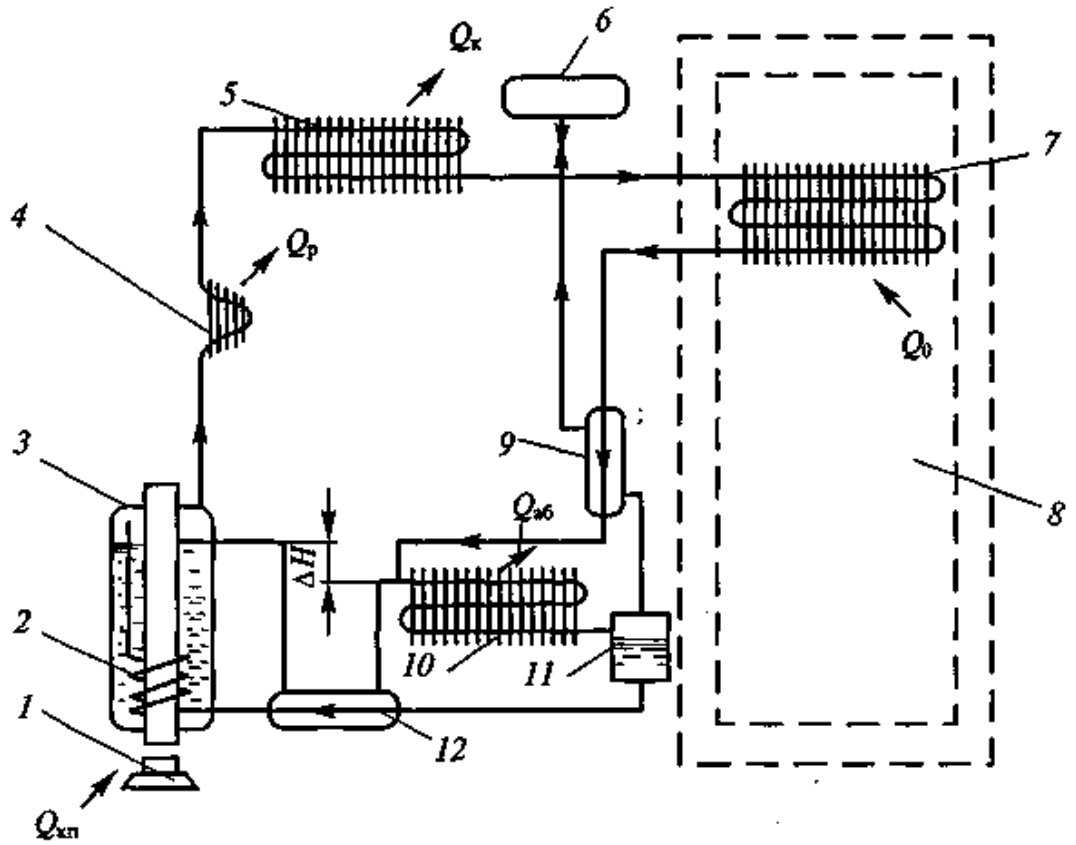



Рис. 4.21. Схема малой абсорбционной холодильной машины:

*1* — нагреватель; *2* — термосифон; *3* — кипятильник (генератор); *4* — ректификатор; *5* — конденсатор; *6* — сборник водорода; *7* — испаритель; *8* — охлаждаемый объем; *9* — теплообменник; *10* — абсорбер; *11* — сборник; *12* — теплообменник

ный газ, получили название абсорбционно-диффузионных. Разные давления конденсации и кипения хладагента достигаются разностью концентраций хладагента и инертного газа в конденсаторе и испарителе. Инертный газ выравнивает давление во всех аппаратах холодильной машины. Однако в конденсаторе количество инертного газа очень незначительно и температура конденсации хладагента высока. И наоборот, в испарителе холодильной машины концентрация хладагента в смеси с инертным газом невелика и температура кипения хладагента будет низкой.

В испарителе *7* абсорбционный холодильной машины хладагент (аммиак) испаряется и диффундирует в инертный газ — водород. Испарение происходит за счет теплоты $Q_0$, отводимой из охлаждаемой среды (объем холодильного шкафа, прилавка, охлаждение продуктов и пр.). Образовавшаяся аммиачно-водородная смесь поступает в газовый теплообменник *9*, в котором она подогревается и охлаждает водород, поступающий из абсорбера в испаритель. Подогретая аммиачно-водородная газовая смесь поступает в абсорбер *10* и соприкасается со слабым водоаммиачным раствором, поступающим из кипятильника *3*. Слабый раствор поглощает аммиак из газовой смеси и освобождает водород. Водород поднимается через газовый теплообменник *9* и возвращается в

испаритель *7*. В процессе поглощения аммиака слабым водоаммиачным раствором выделяется теплота абсорбции $Q_{аб}$, которая отводится в окружающий воздух через внешнюю поверхность абсорбера *10*. Крепкий водоаммиачный раствор собирается в сборнике *11* и через жидкостный теплообменник подается в кипятильник (генератор) *3*. В генераторе происходит выпаривание хладагента из крепкого раствора за счет внешнего источника теплоты $Q_{кп}$ с высокой температурой. Это могут быть электронагреватель, газовая горелка, горелка жидкого топлива и т. п. Важно, чтобы температура источника теплоты была выше температуры кипения крепкого водоаммиачного раствора.

Уровень раствора в кипятильнике всегда выше уровня раствора в абсорбере на величину $\Delta H$, что позволяет раствору самотеком поступать из кипятильника в абсорбер.

Для возврата крепкого раствора из абсорбера в кипятильник используется термосифон *2*. Он представляет собой несколько витков трубки небольшого диаметра, навитой на наружную нагреваемую поверхность кипятильника. Так как температура поверхности кипятильника и, соответственно, трубки выше температуры кипения раствора, в трубке будут образовываться пузырьки пара. Эти пузырьки, подобно поршням насоса, будут переталкивать жидкость в трубке на более высокий уровень в кипятильнике.

В результате кипячения раствора в кипятильнике происходит выделение практически чистого хладагента и обеднение раствора. Обедненный раствор через жидкостный теплообменник *12* подается в абсорбер *10*, а пары хладагента — в конденсатор *5*.

Для уменьшения содержания паров растворителя в хладагенте предусмотрен ректификатор *4*, охлаждаемый воздухом. В ректификаторе пары растворителя частично конденсируются и в жидком виде по стенке трубопровода стекают в кипятильник *3*. Из ректификатора практически чистый хладагент поступает в конденсатор *5*, где происходит его конденсация при отводе теплоты $Q_к$ в окружающую среду. Жидкий хладагент самотеком поступает в испаритель, смешиваясь по пути следования с инертным газом — водородом, который собирается в резервуаре *6*.

Для данной холодильной машины справедливо уравнение энергетического (теплового) баланса, т. е. равенство подведенной и отведенной энергии

$$Q_0 + Q_{кп} = Q_к + Q_{аб} + Q_р.$$

Преимуществом холодильных машин данного типа является простота изготовления, отсутствие движущихся частей и, как следствие, полная бесшумность работы. Их недостатком является низкая экономичность, особенно при использовании электрического нагревателя.

# Глава 5. КОМПРЕССОРЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

## 5.1. Классификация компрессоров

Компрессор паровой холодильной машины является одним из четырех основных элементов и предназначен для поддерживания в испарителе низкого давления кипения, сжатия хладагента от давления кипения до давления конденсации и последующего нагнетания хладагента в конденсатор. Расход хладагента через компрессор определяет холодопроизводительность холодильной машины.

В паровых холодильных машинах применяются компрессоры, отличающиеся принципом действия, холодопроизводительностью, конструктивными признаками.

По *принципу действия* компрессоры разделяют на поршневые, ротационные, спиральные, винтовые, центробежные.

Компрессор, включенный в состав холодильной машины, обеспечивает ее *холодопроизводительность.*

Холодопроизводительность принято сравнивать при стандартных режимах работы. Компрессоры бывают малой холодопроизводительности, до 12 кВт; средней холодопроизводительности, от 12 до 90 кВт; большой холодопроизводительности, свыше 90 кВт.

Под *конструктивными признаками* подразумевают количество ступеней сжатия и размещение электродвигателя привода.

По количеству ступеней сжатия компрессоры подразделяют на одноступенчатые для одноступенчатых паровых машин; многоступенчатые (двух- и трехступенчатые) для многоступенчатых холодильных машин.

В зависимости от размещения электродвигателя привода по степени герметичности компрессоры делятся:

на открытые или сальниковые (электродвигатель соединяется с валом компрессора муфтой или клиноременной передачей);

бессальниковые (полугерметичные — электродвигатель встроен в герметичный корпус компрессора);

герметичные (компрессор и электродвигатель размещаются в общем герметичном корпусе, который после сборки сваривается газовой или электросваркой и не подлежит разборке).

В современном торговом холодильном оборудовании применяются машины, оснащенные в основном поршневыми, ротационными и спиральными компрессорами.

## 5.2. Поршневые компрессоры

Конструкции поршневых компрессоров могут различаться по нескольким параметрам:

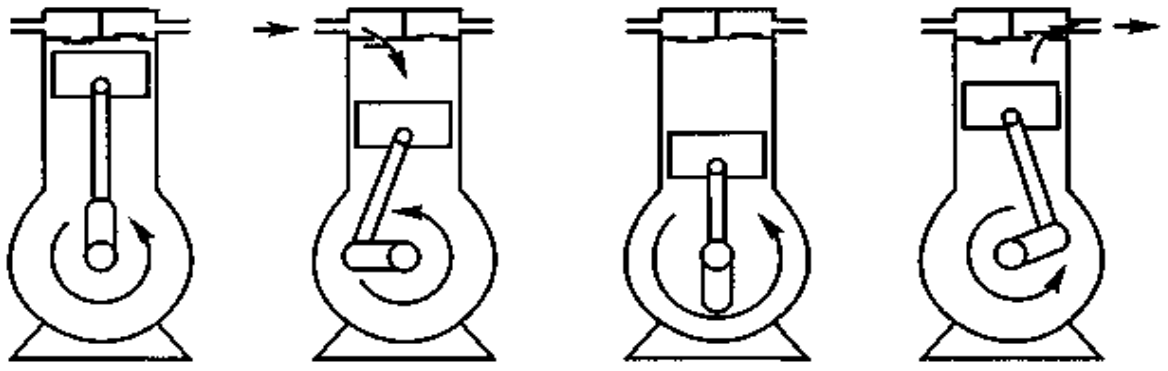
числу цилиндров — одноцилиндровые и многоцилиндровые;

расположению осей цилиндров — горизонтальные, вертикальные, V-образные, W-образные, веерообразные;

виду привода — с коленчатым валом, с эксцентриковым приводом.

**Принцип действия.** Несмотря на различие конструктивных особенностей, все поршневые компрессоры имеют одинаковый принцип действия (рис. 5.1).

В начальном положении (рис. 5.1, *а*) поршень компрессора находится в верхней части цилиндра, занимая положение, получившее название «верхняя мертвая точка», или ВМТ. При вращении вала компрессора по направлению, указанному стрелкой, поршень начинает перемещаться вниз. Небольшое количество парообразного хладагента, находящееся над поршнем в ВМТ, расширяется и давление хладагента начинает понижаться. Как только давление в цилиндре станет немного ниже давления кипения (давления всасывания), откроется всасывающий или впускной клапан (рис. 5.1, *б*). При открытом впускном клапане поршень перемещается вниз и достигает самого нижнего положения, получившего название «нижняя мертвая точка», или НМТ. В этом положении изменяется направление движения поршня и он начинает перемещаться вверх (рис. 5.1, *в*). При этом закрывается впускной клапан и находящийся в полости цилиндра хладагент начинает сжиматься. Процесс сжатия будет продолжаться до тех пор, пока давление в полости цилиндра не превысит давление конденсации (давление нагнетания). В этот момент откроется нагнетательный или выпускной клапан (рис. 5.1, *г*) и начнется нагнетание сжатого хладагента в конденсатор. После достижения поршнем ВМТ цикл работы компрессора заканчивается.



*а* *б* *в* *г*

Рис. 5.1. Цикл работы поршневого компрессора:

*а* — положение поршня в верхней мертвой точки; *б* — процесс всасывания; *в* — положение поршня в нижней мертвой точке; *г* — процесс нагнетания

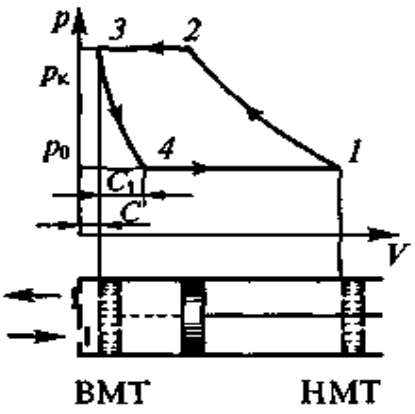



Рис. 5.2. Индикаторная диаграмма цикла поршневого компрессора:

$p_к$ — давление нагнетания; $p_0$ — давление всасывания; $C$ — мертвый объем

Из цилиндра компрессора в конденсатор нагнетается не весь парообразный хладагент. Некоторое его количество остается в зазоре между поршнем и днищем цилиндра, в каналах клапанов. Объем, который занимает оставшийся в цилиндре хладагент, получил название «мертвый объем». Чем меньше величина мертвого объема, тем меньше потери компрессора и лучше характеристики работы компрессора.

Наибольшую наглядность процессов, происходящих в рабочей полости компрессора, дает индикаторная диаграмма (рис. 5.2).

В процессе *1—2* происходит перемещение поршня компрессора из НМТ к ВМТ. Так как оба клапана компрессора закрыты, а объем хладагента в полости цилиндра уменьшается, происходит повышение давления или сжатие хладагента.

В точке *2* открывается выпускной (нагнетательный) клапан и хладагент при давлении $p_к$ начинает нагнетаться в конденсатор холодильной машины (процесс *2—3*).

В точке *3* поршень находится в ВМТ и процесс нагнетания заканчивается. Из цилиндра компрессора не весь хладагент подается в конденсатор. Часть сжатого до давления $p_к$ хладагента остается в мертвом объеме $C$. При движении поршня от ВМТ по направлению к НМТ оставшийся в мертвом объеме хладагент расширяется (его давление понижается) — процесс *3—4*.

В точке *4* открывается впускной (всасывающий) клапан компрессора и начинается процесс всасывания — заполнения полости цилиндра парообразным хладагентом из испарителя холодильной машины (процесс *4—1*). При достижении поршнем положения НМТ процесс всасывания заканчивается.

Наличие мертвого объема $C$ приводит к тому, что на части хода поршня, соответствующего объему $C_1$, происходит расширение хладагента. Чем меньше мертвый объем $C$, тем меньше потерь на расширение, т.е. меньше величина $C_1$.

**Объемные потери.** Максимальный (теоретический $V_{т.ц}$) объем хладагента, который может поступить в цилиндр, соответствует объему, описываемому поршнем цилиндра:

$$V_{т.ц} = \frac{\pi D_ц^{\,2}}{4} S,$$

где $D_ц$ — диаметр цилиндра; $S$ — ход поршня.

Расстояние, на которое перемещается поршень в цилиндре, т.е. расстояние между ВМТ и НМТ, получило название ход поршня. За один оборот коленчатого вала компрессора поршень совершает два хода.

В действительности объем хладагента, поступающего в цилиндр, всегда будет меньше теоретического. В реальном компрессоре всегда имеются потери, снижающие производительность компрессора. К этим потерям, получившим название «объемных», относятся: наличие мертвого объема; потери давления во всасывающем и нагнетательном клапанах; подогрев хладагента от стенок цилиндра при всасывании; утечки и перетечки хладагента внутри компрессора через неплотности в клапанах и поршневых кольцах.

Наличие этих потерь приводит к тому, что действительный объем $V_{д.ц}$ хладагента, поступающего в цилиндр, будет меньше теоретического $V_{т.ц}$

$$V_{д.ц} = \lambda V_{т.ц}.$$

Коэффициент $\lambda$, учитывающий все объемные потери в действительном рабочем процессе компрессора, называют коэффициентом подачи.

На практике принято оценивать производительность компрессора в кубических метрах хладагента, нагнетаемых в единицу времени — секунду, т.е. $м^3/с$. В этом случае теоретическая производительность компрессора

$$V_т = \frac{\pi D_ц^2}{4} Snz,$$

где $D_ц$ — диаметр цилиндра, м; $S$ — ход поршня, м; $z$ — число цилиндров; $n$ — частота вращения вала компрессора, $с^{-1}$.

Действительная производительность компрессора

$$V_д = \lambda V_т,$$

где $\lambda$ — коэффициент подачи компрессора.

**Энергетические потери.** Помимо объемных потерь, снижающих производительность компрессора, существуют энергетические потери, приводящие к увеличению энергетических затрат на привод компрессора.

В теоретическом цикле паровой холодильной машины удельная работа сжатия паров хладагента определялась как

$$l = i_2 - i_1,$$

где $l$ — удельная массовая работа сжатия, Дж/кг; $i_1$ — энтальпия хладагента на входе в компрессор, Дж/кг; $i_2$ — энтальпия сжатого хладагента на выходе из компрессора, Дж/кг.

Теоретическая мощность на адиабатическое сжатие хладагента в компрессоре

$$N_т = M l,$$

где $N_т$ — теоретическая мощность компрессора, Вт; $M$ — массовый расход хладагента через компрессор, кг/с; $l$ — удельная массовая работа сжатия, Дж/кг.

В действительном цикле компрессора присутствуют потери, приводящие к увеличению мощности. Мощность, затрачиваемая в действительном цикле компрессора на сжатие хладагента, называют индикаторной $N_i$. Индикаторная мощность $N_i$ всегда больше теоретической $N_т$ на величину потерь. Эти потери обусловлены гидравлическими сопротивлениями при движении хладагента через клапаны, теплообменом в цилиндре компрессора и др.

Соотношение между теоретической $N_т$ и индикаторной мощностями $N_i$ принято называть индикаторным коэффициентом полезного действия

$$\eta_i = \frac{N_т}{N_i},$$

где $N_т$, $N_i$ — теоретическая и индикаторная мощность соответственно, Вт.

Индикаторный к. п. д. не учитывает потерь на трение в подшипниках и всех движущихся частей компрессора. Эффективная мощность или мощность, подведенная к валу компрессора, учитывает все потери на трение:

$$N_e = N_i + \Delta N_{тр},$$

где $\Delta N_{тр}$ — мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения во всех движущихся частях компрессора (потери на трение), Вт.

Отношение индикаторной мощности $N_i$ к эффективной $N_e$ получило название механического коэффициента полезного действия

$$\eta_{мех} = \frac{N_i}{N_e}.$$

Для фреоновых малых и средних холодильных компрессоров величина механического к. п. д. составляет $\eta_{мех} = 0{,}84...0{,}97$.

Более важным показателем работы компрессора является мощность, подводимая к электрическому двигателю компрессора:

$$N_{эл} = \frac{N_e}{\eta_п \eta_{эд}},$$

где $N_{эл}$ — мощность электродвигателя компрессора, Вт; $\eta_п$ — коэффициент полезного действия передачи между электродвигателем и компрессором; $\eta_{эд}$ — коэффициент полезного действия электродвигателя.

Для клиноременной передачи от электродвигателя к валу компрессора $\eta_п = 0{,}95$, для соединения через муфту $\eta_п = 097 \ldots 0{,}99$. Коэффициент полезного действия электродвигателя определяется его типом и составляет $\eta_{эд} = 0{,}8 \ldots 0{,}95$.

**Основные элементы поршневых компрессоров.** Конструкция поршневого компрессора, входящего в состав паровой холодильной машины, приведена на рис. 5.3.

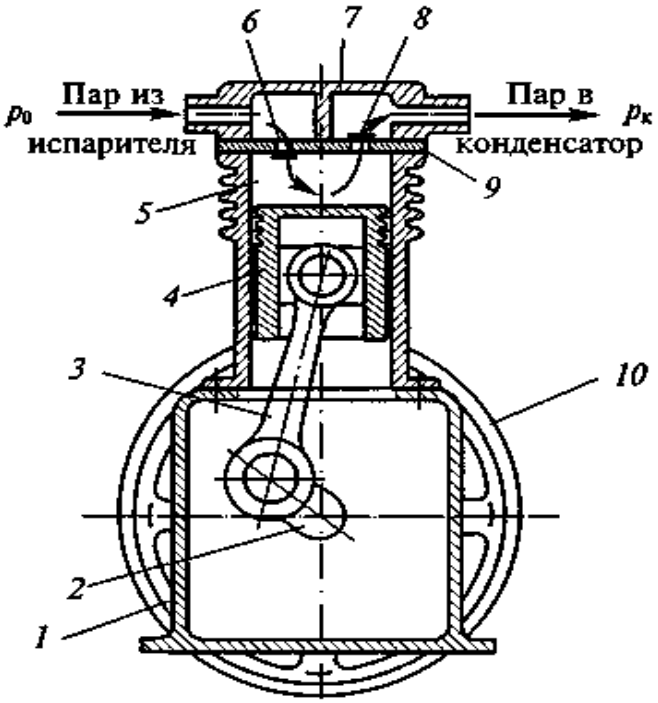



Рис. 5.3. Поршневой компрессор холодильной машины:

*1* — картер; *2* — коленчатый вал; *3* — шатун; *4* — поршень; *5* — цилиндр; *6*, *8* — клапаны; *7* — крышка цилиндра; *9* — доска клапанная; *10* — шкив (маховик)

В соответствии с данной конструктивной схемой базой компрессора является картер *1*, на котором и внутри которого устанавливаются все элементы холодильного компрессора. К картеру крепится цилиндр *5* или блок цилиндров, в котором перемещается возвратно-поступательно поршень *4*. Привод поршня обеспечивается кривошипно-шатунным механизмом (*2*, *3*), приводящимся в движение от электродвигателя через клиноременную передачу и шкив (маховик) *10*. В верхней части цилиндра установлена клапанная доска *9* со всасывающим *6* и нагнетательным *8* клапанами, коллекторы для подвода и отвода хладагента размещены в крышке цилиндра.

Картер компрессора является базовым элементом всего компрессора. Дополнительно картер компрессора воспринимает все усилия, возникающие в процессе работы компрессора.

Как правило, картеры компрессоров герметично изолированы от окружающей среды и заполнены парообразным хладагентом под давлением всасывания (давление в испарителе холодильной машины).

Конструктивная схема картера сальникового компрессора приведена на рис. 5.4.

Картер малых и средних холодильных машин изготавливают из серого чугуна Сч 18-36 или Сч 21-40. Для холодильных машин, используемых на транспорте, картеры компрессоров изготавливают из алюминиевых сплавов. Независимо от материала, из которого они изготовлены, картеры должны обладать прочностью и жесткостью конструкции. При механической обработке должны соблю-

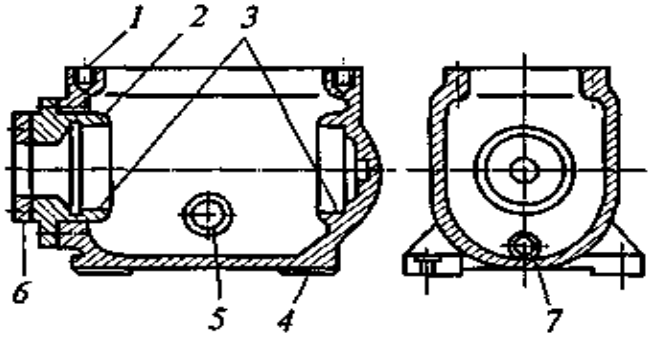



Рис. 5.4. Картер сальникового компрессора:

*1* — установочная поверхность для цилиндров; *2* — съемная передняя крышка картера; *3* — установочные места под коренные подшипники; *4* — опоры (лапы) для крепления компрессора; *5* — смотровое стекло; *6* — крышка сальника; *7* — отверстие для слива масла

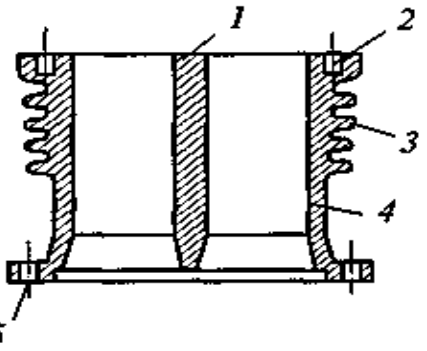



Рис. 5.5. Блок цилиндров:

*1* — плоскость установки клапанной доски; *2* — резьбовые отверстия для шпилек; *3* — охлаждающие ребра; *4* — зеркало цилиндра; *5* — отверстия под шпильки картера

даться требования соосности установочных мест под коренные подшипники и перпендикулярности торцевых фланцев. Плоскость установки цилиндра или блока цилиндров должна быть параллельна основанию картера.

За уровнем масла в картере компрессора наблюдают через смотровое стекло *5*. Для слива масла в процессе ремонтных работ предусмотрено сливное отверстие *7*, закрываемое герметично резьбовой пробкой.

В верхней части картера компрессора предусмотрена установочная поверхность для цилиндра или блока цилиндров. Блок цилиндров (рис. 5.5) крепится к картеру при помощи резьбовых шпилек, проходящих через отверстия *5* в нижней части блока. На наружной поверхности блока предусмотрены охлаждающие ребра *3*, отводящие теплоту сжатия в окружающую среду. Герметичность соединения цилиндр-картер обеспечивается прокладкой из паронита, устанавливаемой между картером и блоком цилиндров.

В верхней части блока цилиндров предусмотрена поверхность *1* для установки клапанной доски и крышки цилиндра. Крепление этих элементов к блоку цилиндров обеспечивается резьбовыми шпильками, устанавливаемыми в резьбовые отверстия *2*.

Цилиндры изготавливают из чугуна Сч 18—36 или Сч 21—40. Внутреннюю поверхность цилиндров, получившую название «зеркало цилиндра», обрабатывают наиболее тщательно. Окончательная обработка цилиндров обеспечивается шлифованием. При этом уменьшаются силы трения поршня о стенки цилиндра и улучшается уплотнение между стенкой цилиндра и поршневыми кольцами.

Шатунно-поршневая группа механизмов предназначена для преобразования вращательного движения вала в возврат-

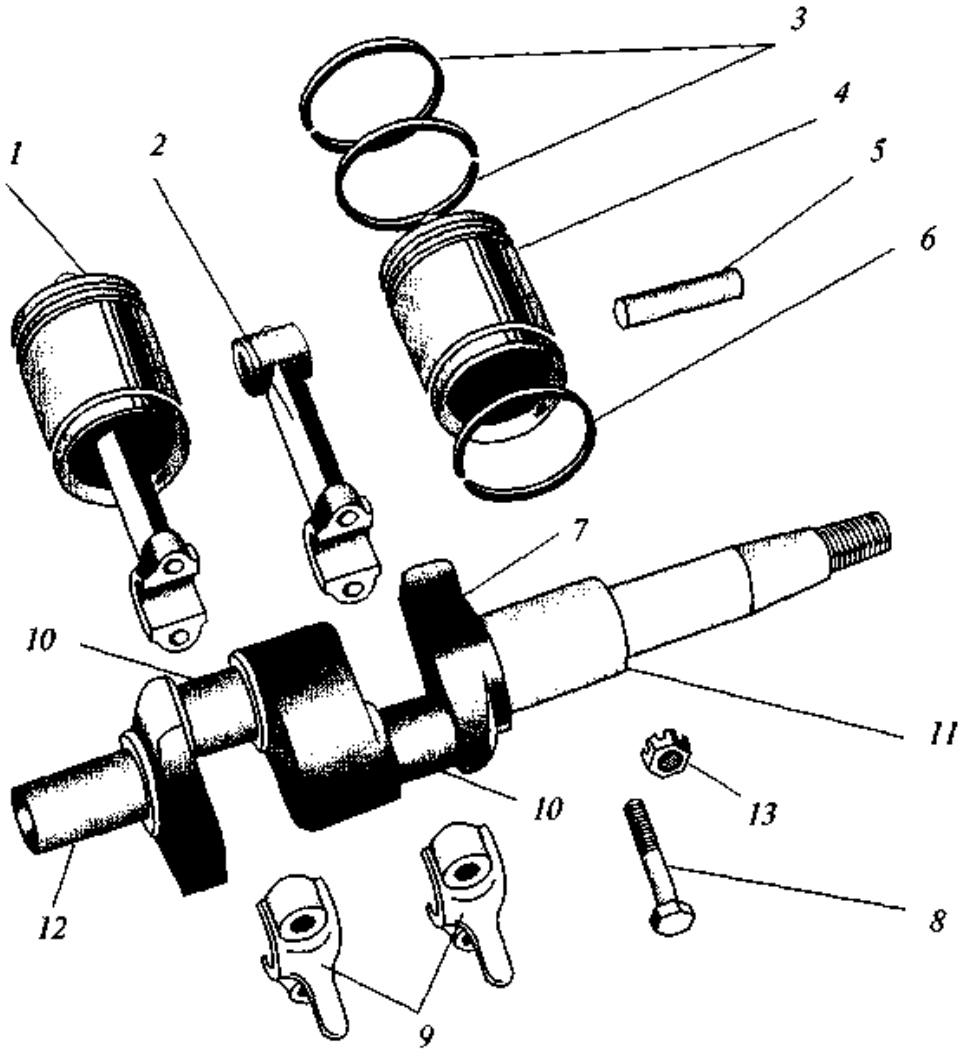



Рис. 5.6. Шатунно-поршневая группа:

*1* — поршень в сборе; *2* — шатун; *3* — уплотнительные кольца (компрессионные); *4* — поршень; *5* — поршневой палец; *6* — маслосъемное кольцо; *7* — коленчатый вал; *8* — шатунный болт; *9* — крышка подшипника шатуна; *10* — колена вала; *11* — посадочное место переднего подшипника коленчатого вала; *12* — посадочное место заднего подшипника коленчатого вала; *13* — гайка

но-поступательное движение поршней. Конструкция механизма перемещения поршней приведена на рис. 5.6.

Механизм перемещения поршней состоит из коленчатого вала *7*, который устанавливается в картере на подшипниках качения или скольжения. Для установки вала в подшипники предусмотрены специальные поверхности *11* и *12*. Эксцентрично оси вала размещаются колена *10*. Как правило, колена смещены одно относительно другого на 180°. На обработанной поверхности (шейка вала) устанавливается подшипник шатуна *2*. Подшипник шатуна выполнен разъемным. В теле шатуна *2* и крышке *9* предусмотрены установочные места для размещения составного подшипника скольжения. Этот подшипник представляет собой разрезанное кольцо, внутренняя поверхность которого покрыта антифрикционным материалом. В качестве антифрикционного покрытия, уменьшающе-

го силы трения, применяется либо бронза, либо специальный сплав — баббит. После установки на колено вала подшипника шатуна последний стягивается специальным шатунными болтами *8* с гайками *13*, которые предотвращаются от самопроизвольного отворачивания в процессе работы компрессора. В верхней части шатуна (головке шатуна) размещается второй подшипник скольжения, обеспечивающий подвижное соединение с поршнем. В отверстие поршня и головки шатуна вставляется специальная ось, получившая название «поршневой палец» *5*.

На наружной поверхности поршня предусмотрены канавки для установки поршневых колец. По своему назначению различают уплотнительные (или компрессионные) *3* и маслосъемные *6* кольца. *Компрессионные кольца* улучшают уплотнение в зазоре между поршнем и цилиндром и повышают характеристики компрессора. Хорошее уплотнение обеспечивает поршневое кольцо, прилегающее всеми точками наружной поверхности к зеркалу цилиндра и оказывающее равномерное давление на стенки цилиндра. Поршневые кольца выполняют разрезными, место разреза кольца называют замком. Пружинящие свойства разрезного кольца обеспечивают прижим кольца к стенке цилиндра и хорошее уплотнение зазора. Кроме того, разрезное кольцо может быть помещено в канавку поршня достаточно просто. Форм замков поршневого кольца может быть несколько, но чаще всего применяется косой замок и внахлестку.

*Маслосъемные кольца* от компрессионных отличаются тем, что предназначены для удаления излишков масла с внутренней поверхности цилиндра. Принцип действия маслосъемного кольца показан на рис. 5.7.

При движении поршня вверх (рис. 5.7, *а*) масляная пленка на поверхности цилиндра действует на конус в верхней части кольца и отжимает кольцо во внутреннюю часть кольцевой канавки поршня.

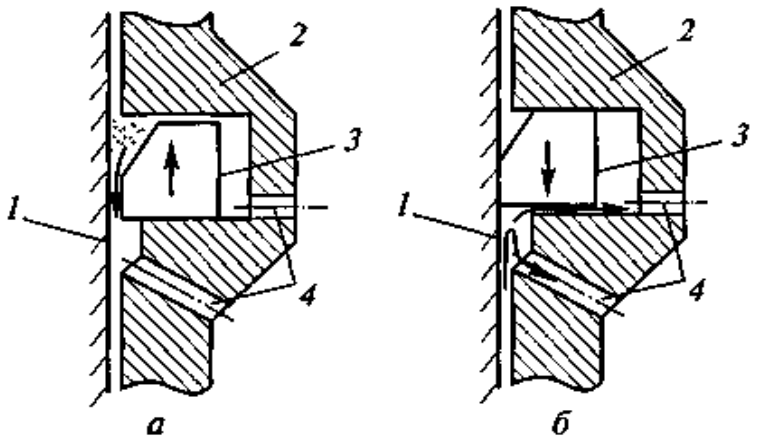



Рис. 5.7. Принцип действия маслосъемного кольца:

*1* — цилиндр; *2* — поршень; *3* — маслосъемное кольцо; *4* — отверстия для отвода масла

При этом масляная пленка сохраняется на стенке цилиндра. При движении поршня вниз (рис. 5.7, *б*) масляная пленка острой кромкой кольца снимается (слизывается) с поверхности цилиндра. Снимаемое масло подается в отверстие *4* в нижней части канавки и затем стекает в картер компрессора.

В холодильном компрессоре имеются всасывающие и нагнетательные клапаны, которые являются самодействующими, т.е. открываются под действием разности давлений на клапан, а закрываются под действием упругости пружины или пластины клапана. По виду уплотняющих элементов различают пластинчатые и тарельчатые клапаны.

*Всасывающие клапаны* часто выполняют в виде конструкций с полосовыми пружинящими элементами (рис. 5.8).

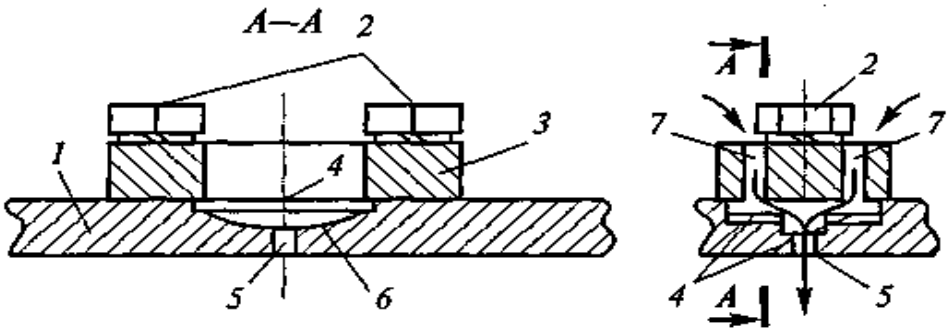



Рис. 5.8. Всасывающий пластинчатый клапан:

*1* — основание (корпус); *2* — крепежные болты; *3* — седло; *4* — пластины; *5* — отверстие подвода хладагента в полость цилиндра; *6* — ограничитель хода пластины; *7* — каналы

В ненагруженном состоянии пластины *4* прижимаются к стальной накладке, называемой седлом *3*. В прижатом состоянии пластины перекрывают каналы и разъединяют полость всасывания и рабочую полость цилиндра. При понижении давления хладагента в полости цилиндра ниже давления во всасывающем коллекторе (обычно до 0,03 МПа) упругая пластина *4* прогибается и отходит от клапанной доски. Хладагент из линии всасывания через каналы *7*, зазор между пластинами *4* и седлом *3* и отверстия *5* поступает в цилиндр компрессора. После завершения процесса всасывания упругие пластины *4* выпрямляются и перекрывают каналы *7*. Создаваемое в процессе сжатия в полости цилиндра давление способствует более плотному прилеганию пластин *4* к седлу *3*.

В малых холодильных машинах нагнетательные клапаны часто изготавливают с тарельчатыми или пятачковыми пластинами (рис. 5.9).

Под действием разности давления пластина *4* воздействует на пружину *9*, сжимает ее и приподнимается над седлом *5*. Сжатый хладагент из полости цилиндра компрессора через отверстия *6*, зазор между седлом *5* и пластиной *4* и отверстия *8* в корпусе *3* поступает в нагнетательный коллектор. Посадочная поверхность

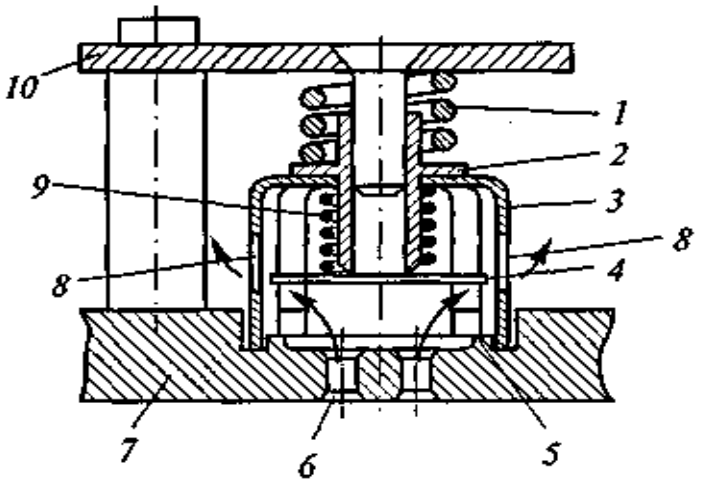



Рис. 5.9. Нагнетательный клапан:

*1* — пружина буферная; *2* — направляющая втулка клапана; *3* — корпус (стакан); *4* — пластина (пятачкового типа); *5* — седло; *6* — выпускное отверстие; *7* — основание; *8* — отверстия для прохода хладагента; *9* — пружина рабочая; *10* — упорная пластина

пластины *4*, называемой седлом *5*, выполнена в виде кольцевого выступа в корпусе. Пластина *4* притирается к седлу *5* и в прижатом пружиной *9* состоянии обеспечивает уплотнение по всей поверхности. Рабочая пружина *9* устанавливается на направляющей втулке *2*, которая одновременно служит ограничителем подъема клапанной пластины *4*. Корпус *3* клапана прижимается к основанию *7* буферной пружиной *1* через направляющую втулку клапана. Сверху буферная пружина поджимается упорной пластиной *10*. Буферная пружина выполняет дополнительно предохранительные функции: при попадании в цилиндр компрессора жидкого хладагента или смазочного масла буферная пружина сжимаясь позволяет увеличить высоту подъема клапанной пластины и избежать поломки компрессора от гидравлического удара.

*Нагнетательные клапаны* открываются при повышении давления в цилиндре компрессора выше давления в нагнетательном коллекторе (до 0,07 МПа) и обеспечивают подачу хладагента из цилиндра компрессора в коллектор и затем в конденсатор холодильной машины.

Достаточно часто всасывающие и нагнетательные клапаны малых холодильных машин объединяют в общую конструкцию, получившую название «клапанная доска» (рис. 5.10).

Клапанная доска устанавливается непосредственно на блок цилиндров и накрывается сверху коллекторной крышкой, выполняющей одновременно функции всасывающего и нагнетательного коллекторов. Герметичность уплотнения между блоком цилиндров и клапанной доской, а также между клапанной доской и крышкой обеспечивается прокладками из паронита.

В компрессорах открытого типа хвостовик коленчатого вала выходит из картера. На выступающую часть вала устанавливается шкив-маховик, соединяемый клиноременной передачей с электродвигателем.

Поскольку картер компрессора находится под давлением всасывания хладагента, возникает необходимость уплотнения выходящего конца вала во избежание утечек хладагента или подсасывания воздуха в контур холодильной машины. Уплотнитель-

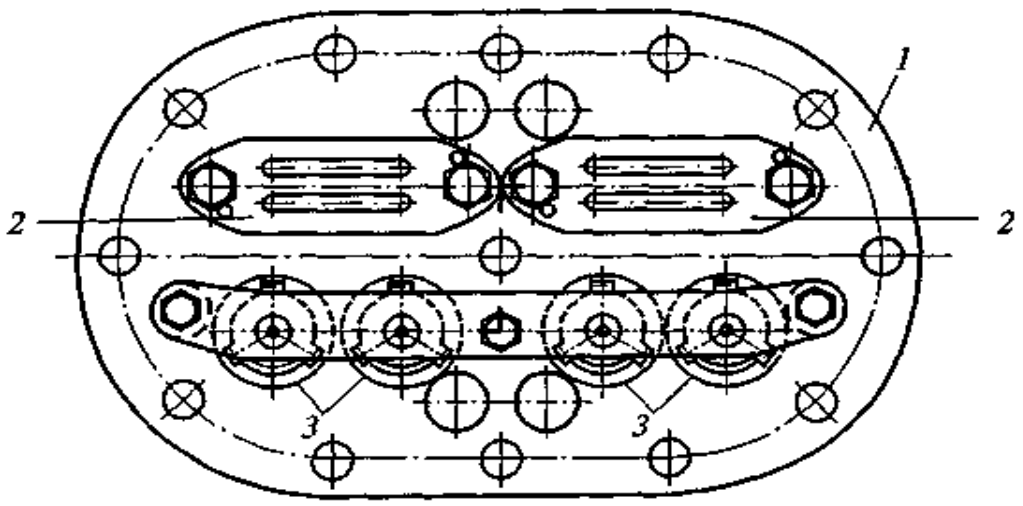



Рис. 5.10. Клапанная доска:

*1* — основание клапанной доски; *2* — всасывающие клапаны; *3* — нагнетательные клапаны

ный элемент вращающегося вала относительно картера получил название с а л ь н и к а. В открытых компрессорах малых холодильных машин чаще всего применяются графито-стальные пружинные сальники (рис. 5.11).

Стальное кольцо *3* неподвижно закреплено в крышке *1* сальника. Внутренняя торцевая поверхность стального кольца *3* тщательно обработана и находится в контакте с вращающимся кольцом из металлизированного графита, установленного на валу компрессора. Графитовое кольцо *5* вставлено в обойму *6* и поджимается к неподвижному кольцу *3* пружиной *8* через держатели *7*. Уплотнение графитового кольца *5* и обоймы *6* относительно вала компрессора обеспечивается уплотнительным кольцом *2* из маслостойкой резины.

Отделение полости картера компрессора *9*, заполненной хладагентом, от окружающей среды осуществляется по торцевой поверхности соприкосновения неподвижного стального кольца *3* и графитового кольца *5*. Плотность контакта колец обеспечивается усилием пружины *8*.

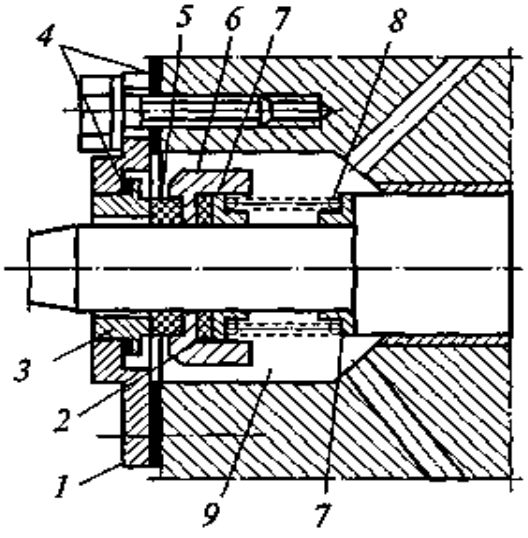



Рис. 5.11. Сальник графито-стальной, пружинный, односторонний: *

*1* — крышка сальника; *2* — резиновое уплотнительное кольцо; *3* — неподвижное стальное кольцо; *4* — уплотнительные прокладки; *5* — графитовое кольцо; *6* — обойма; *7* — держатель пружины; *8* — пружина; *9* — полость картера компрессора

Смазка применяется для снижения сил трения, уменьшения износа движущихся частей компрессора и их охлаждения. Кроме того, наличие пленки смазочного масла улучшает уплотнение поршневых колец, всасывающих и нагнетательных клапанов, трущихся элементов сальников.

В поршневых холодильных компрессорах применяют две основные системы смазки — безнасосную (смазка разбрызгиванием) и принудительную под давлением.

*Безнасосную систему смазки* применяют в основном в поршневых компрессорах открытого типа (сальниковых) малых холодильных машин. Запас смазочного масла, так называемая масляная ванна, создается в нижней части картера компрессора. Контроль за уровнем масла осуществляют визуально, с помощью специального смотрового стекла. Уровень масла в картере устанавливают таким образом, чтобы противовесы коленчатого вала или специальные разбрызгиватели, устанавливаемые на противовесах или коренных головках шатунов, при вращении вала периодически погружались в масляную ванну. Создаваемые при работе мелкие

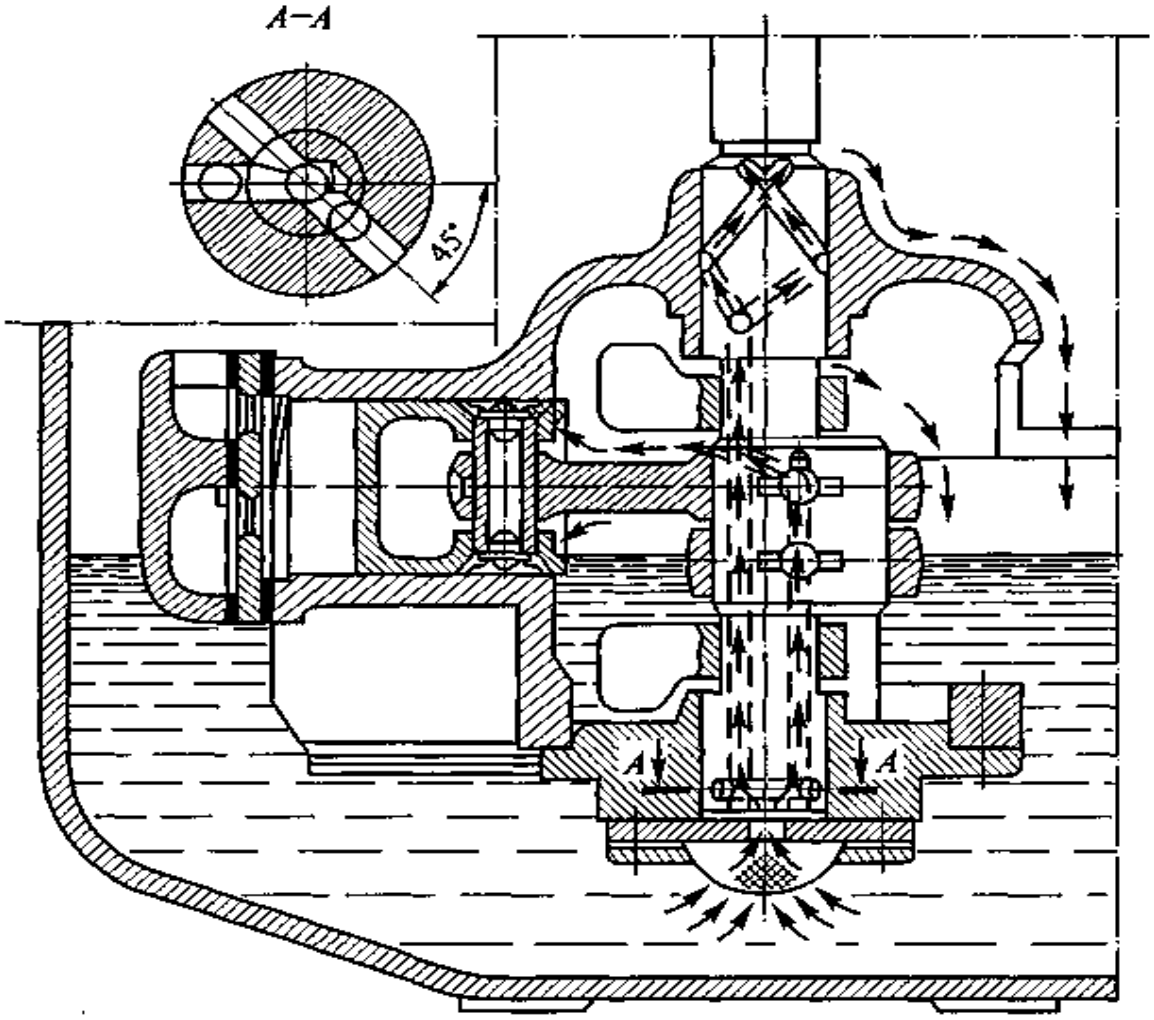



Рис. 5.12. Система смазки герметичного компрессора

брызги и масляный туман обильно смазывают все внутренние полости картера, зеркало цилиндра, элементы шатунно-поршневой группы и подшипники коленчатого вала.

В герметичных компрессорах малых холодильных машин система смазки организована по комбинированной схеме — *принудительно* и *разбрызгиванием* (рис. 5.12).

Нижний подшипник коленчатого вала погружен в масляную ванну. В торцевой части подшипника установлен масляный фильтр, предотвращающий попадание загрязнений в каналы для смазки. При вращении вала компрессора смазочное масло под действием центробежных сил подается к коренным подшипникам шатунов и затем разбрызгивается на зеркало цилиндров и головку шатуна. Часть смазочного масла по вертикальному сверлению в вале подается на смазку верхнего подшипника коленчатого вала. Избыток смазки стекает по элементам компрессора и картера и собирается в масляной ванне в нижней части герметичного корпуса (кожуха) компрессора.

В поршневых компрессорах средних и крупных холодильных машин используется *принудительная система смазки*, обеспечиваемая шестеренным масляным насосом (рис. 5.13).

Шестеренный масляный насос *1* расположен в крышке картера компрессора и приводится во вращение непосредственно от

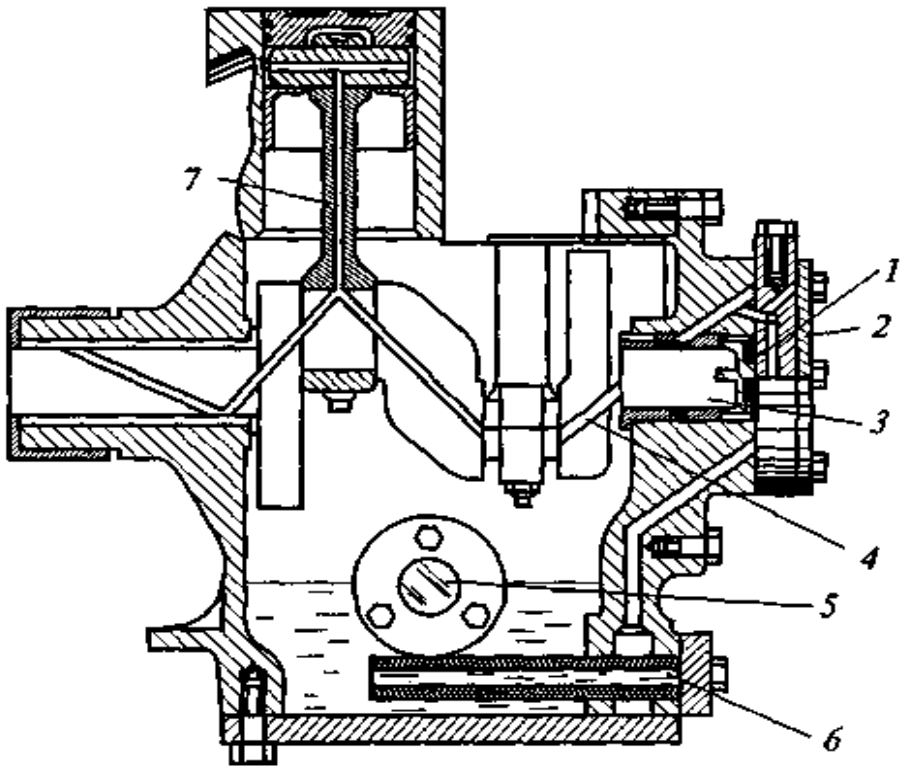



Рис. 5.13. Принудительная система смазки компрессора:

*1* — шестеренный масляной насос; 2 — крышка картера компрессора; *3* — шейка вала компрессора; *4* — сверление в вале компрессора; *5* — смотровое стекло; *6* — фильтр масляный; *7* — сверления в шатуне

шейки *3* вала компрессора. Насос через масляный фильтр *6* забирает масло из нижней части картера (масляной ванны) и по сверлениям в вале и шатуне под давлением подает масло к подшипникам и на смазывание стенок цилиндра. После подшипников смазка стекает по стенкам картера и собирается в нижней части картера для последующего использования. Контроль за уровнем масла в картере компрессора осуществляется по смотровому стеклу *5*.

**Конструкции поршневых холодильных компрессоров.** В холодильных машинах, которыми оснащается торговое холодильное оборудование, наибольшее применение находят поршневые компрессоры малой производительности. Как правило, это одноступенчатые компрессоры, бескрейцкопфные, прямого действия. Рассчитаны на работу с хладагентами R12, R22, R142, R502, R134a.

По степени герметичности компрессоры подразделяются на: открытые (сальниковые), полугерметичные (бессальниковые), герметичные.

Для обозначения компрессоров используется буквенно-цифровая индексация:

— первая буква определяет хладагент, на котором работает компрессор (Ф — фреон, хладон, А — аммиак);

— вторая буква — положение цилиндров (В — вертикальное, У — V-образное, УУ — W-образное или веерообразное).

— цифра, стоящая за буквами, обозначает холодопроизводительность компрессора на стандартном температурном режиме в тысячах килокалорий в час (1 ккал/ч = 1,163 Вт).

Для бессальниковых компрессоров в обозначение вводят буквы БС (например, ФВБС6) или ПБ (например, ПБ7).

Герметичные компрессоры в буквенной части названия имеют буквы Г (например, ФГС, ФГэС, ФГрС).

Отличительной особенностью *открытых (сальниковых) компрессоров* является наличие выходящего из картера компрессора хвостовика вала со шкивом, на который от электродвигателя через клиноременную передачу передается вращение. Примером сальниковых компрессоров могут служить компрессоры 2ФВ4/4.5 и ФВ-6.

Компрессор ФВ-6 (рис. 5.14) состоит из картера *1* в котором установлен коленчатый вал *6* на подшипниках. Вал двухколенчатый, стальной, вращается в переднем шариковом *8* и заднем роликовом *7* подшипниках качения. На шатунных шейках вала установлены стальные, имеющие двутавровый профиль, штампованные шатуны. Нижняя головка шатуна выполнена разъемной. В разобранном состоянии шатун устанавливается на шатунную шейку коленчатого вала, крышка шатуна крепится к телу специальными болтами, гайки предотвращаются от отворачивания. Подшипник скольжения *12* нижней головки шатуна изготовлен из антифрикционного материала — баббита, имеющего низкий коэффициент трения. В верхнюю неразъемную головку шатуна, запрессована

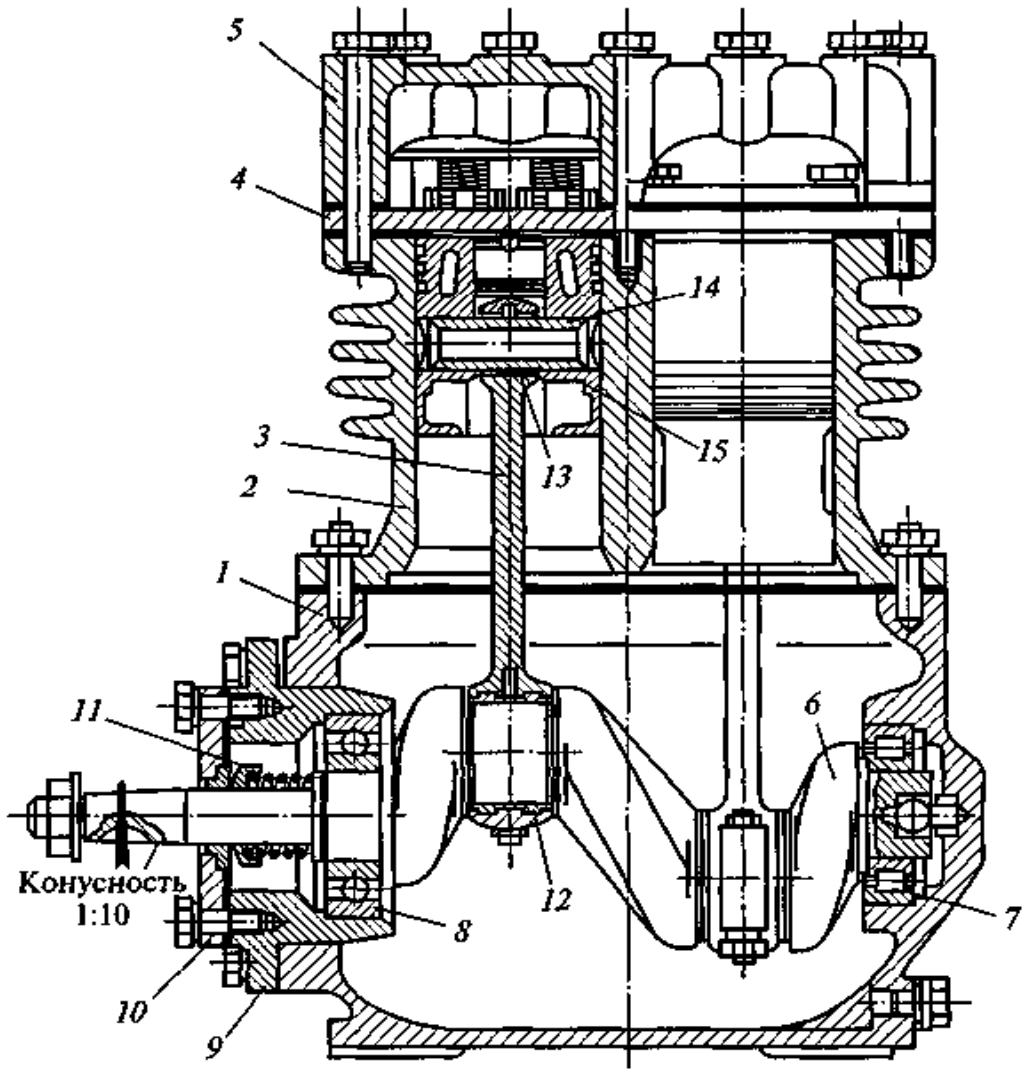



Рис. 5.14. Открытый (сальниковый) поршневой компрессор ФВ-6:

*1* — картер компрессора; *2* — блок цилиндров; *3* — шатун; *4* — клапанная доска; *5* — головка блока цилиндров; *6* — коленчатый вал; *7* — задний роликовый подшипник; *8* — передний шариковый подшипник; *9* — корпус подшипника и сальника; *10* — крышка передняя; *11* — сальник компрессора; *12* — подшипник скольжения нижней головки шатуна; *13* — бронзовая втулка (подшипник) верхней головки шатуна; *14* — поршневой палец; *15* — поршень

бронзовая втулка *13*, выполняющая функции подшипника скольжения для поршневого пальца *14*. Последний изготавливают из стали и закаливают. Он является элементом, соединяющим поршень и шатун. Фиксация поршневого пальца от осевого перемещения в отверстиях поршня обеспечивается пружинными разжимными кольцами, устанавливаемыми в специально предусмотренные канавки.

Поршень компрессора алюминиевый, литой. На наружной поверхности поршня в верхней его части предусмотрены канавки для установки двух компрессионных и одного маслосъемного колец.

Клапаны размещены на специальной проставке, устанавливаемой между блоком *2* цилиндров и головкой *5* блока цилиндров. Этот элемент получил название «клапанная доска». Всасывающие клапаны компрессора — полосового типа, самопружинящие. Нагнетательные клапаны — пятачковые, прижим уплотнительного элемента (пятачка) к седлу в клапанной доске обеспечивается цилиндрической витой пружиной.

Сальник *11* компрессора, уплотняющий выходной хвостовик коленчатого вала, — графито-стальной. Графитовое кольцо, устанавливаемое на цилиндрической части хвостовика, пружиной прижимается к неподвижному фланцу. Уплотнение обеспечивается по поверхности соприкосновения неподвижного стального фланца и вращающегося графитного кольца.

Нижняя часть картера *1* компрессора заполнена смазочным маслом и образует смазочную ванну. При вращении коленчатого вала компрессора противовесы и нижние головки шатунов периодически погружаются в ванну и разбрызгивают масло во внутренней полости картера. Создаваемый масляный туман смазывает все трущиеся части, включая цилиндр и поршень, шатун и шатунный палец, подшипники качения и скольжения вала компрессора.

В конструкции *полугерметичных (бессальниковых) компрессоров* отсутствует один из наименее надежных элементов — сальник. В компрессорах данного типа картер и электродвигатель размещены в общем корпусе, в котором имеются специальные съемные крышки для доступа к механизму движения компрессора и элементам электродвигателя. Ротор электродвигателя закрепляется непосредственно на валу компрессора без соединительной муфты. Достоинством бессальниковых компрессоров является более высокая надежность в работе, компрессоры более компактны, чем открытые. Заключение электродвигателя в герметичный кожух позволяет повысить частоту вращения вала компрессора и соответственно его производительность, снизить уровень шума при работе.

Одним из примеров малых бессальниковых компрессоров, применяемых в холодильных машинах предприятий торговли и питания, является компрессор ФВБС-6 (рис. 5.15).

Основу компрессора составляет чугунный блок-картер *1*, в котором размещается шатунно-поршневая группа и электродвигатель. Блок-картер оснащен съемными гильзами *5*, в которых возвратно-поступательно перемещаются поршни *4*, оснащенные двумя компрессионными и одним маслосъемным кольцами. Движение на поршни передается от электродвигателя через стальной штампованный двухколенный вал *2* и шатуны *3*. Коленчатый вал устанавливается в блок-картере на двух подшипниках качения *18, 19*. Шатуны компрессора стальные, штампованные, имеют неразъ-

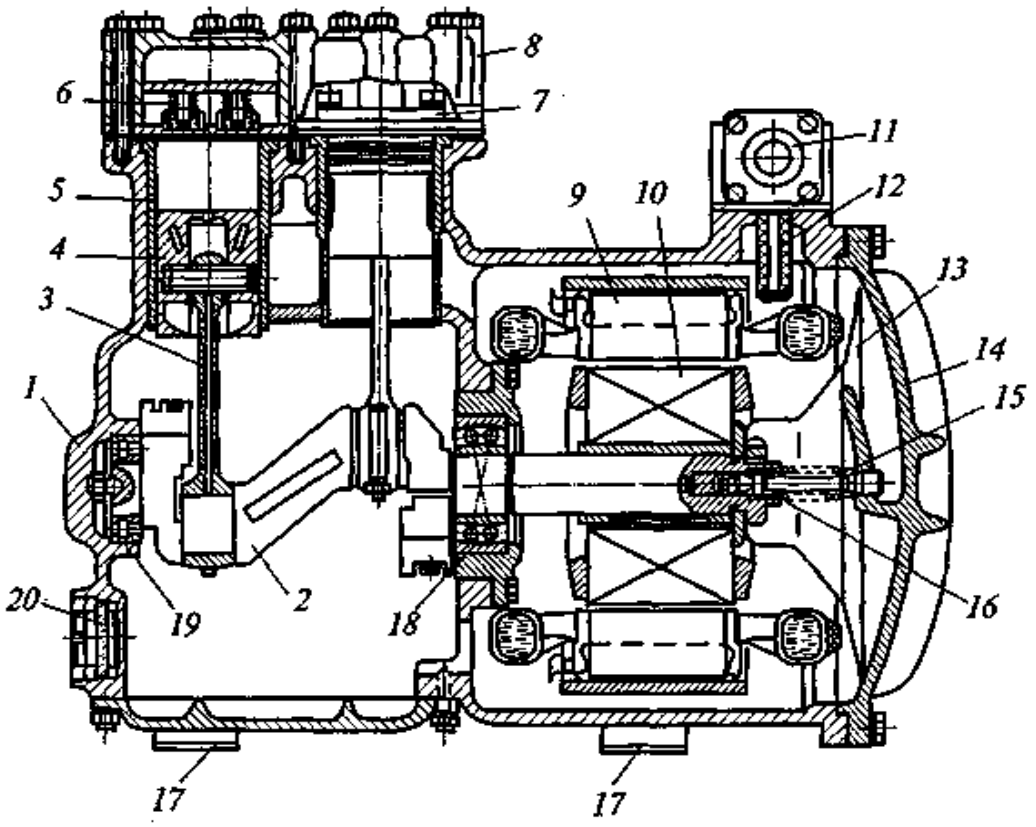



Рис. 5.15. Бессальниковый фреоновый компрессор ФВБС-6:

*1* — блок-картер компрессора; *2* — коленчатый вал; *3* — шатун; *4* — поршень; *5* — гильза цилиндра; *6, 7* — нагнетательные и всасывающие клапаны; *8* — крышка цилиндров; *9* — неподвижная обмотка электродвигателя (статор); *10* — ротор электродвигателя; *11* — фланец для подсоединения к линии хладагента низкого давления (всасывание); *12* — фильтр газообразного хладагента; *13* — маслоразбрызгивающий диск; *14* — задняя крышка блок-картера; *15* — трубка подачи масла; *16* — уплотнительный элемент; *17* — опоры для крепления компрессора; *18* — подшипник вала задний; *19* — подшипник вала передний; *20* — смотровое стекло для визуального контроля за уровнем смазочного масла в картере компрессора

емную верхнюю и разъемную нижнюю головки. В верхней головке запрессована бронзовая втулка, выполняющая функции подшипника скольжения. Нижняя головка шатуна оснащена тонкостенными сменными вкладышами, трущиеся поверхности которых имеют слой антифрикционного материала — баббита.

Клапаны компрессора установлены на клапанной доске, размещенной между блоком цилиндров и крышкой *8*. Нагнетательные клапаны *6* пятачкового типа, прижатие уплотняющего элемента к седлу клапана обеспечивается цилиндрической пружиной. Всасывающие клапаны *7* полосовые, самопружинящие.

Блок-картер оснащен съемными крышками, обеспечивающими доступ к узлам газораспределения, механизму движения компрессора и электродвигателю.

Нагнетательный вентиль и присоединительный штуцер размещены на крышке *8* цилиндров, а всасывающий вентиль — на корпусе блок-картера, непосредственно над электродвигателем. Пары

хладагента, выходящие из испарителя, поступают на охлаждение электродвигателя и только потом на всасывание в цилиндры. Охлаждение электродвигателя холодными парами хладагента и возможный контакт со смазочным маслом предъявляют особые требования к материалу изоляции обмоток электродвигателя. Все элементы электродвигателя изготовлены из стойких к воздействию на них масла и хладагента материалов.

Нижняя часть блок-картера под коленчатым валом образует масляную ванну, заполненную смазочным маслом. Контроль за уровнем масла осуществляется визуально по смотровому стеклу *20*, система смазки в компрессоре ФВБС-6 — разбрызгиванием. Масляный туман образуется разбрызгиванием масла элементами коленчатого вала *2* и специальным маслоразбрызгивающим диском *13*. В холодильных бессальниковых компрессорах большой производительности (например, ФУБС-12, ФУБС-25, ФУБС-40) применяется комбинированная система смазки. Шатунные подшипники коленчатого вала смазываются принудительно от затопленного шестеренного насоса, а все остальные элементы — разбрызгиванием.

*В герметичных компрессорах* компрессор и электродвигатель размещаются в одном герметичном корпусе, элементы которого свариваются и не подлежат разборке при ремонте. Сфера применения герметичных холодильных компрессоров в настоящее время исключительно широка — от бытовых холодильников до торгового холодильного оборудования, бытовых кондиционеров и специального холодильного оборудования. Практически все торговое холодильное оборудование (ТХО) оснащается холодильными машинами с герметичными компрессорами. Холодопроизводительность холодильных машин с герметичными компрессорами может составлять от нескольких десятков ватт до 10 ... 12 кВт.

Выпускаемые промышленностью компрессоры отличаются частотой вращения вала встроенного электродвигателя (25 $с^{-1}$ и 50 $с^{-1}$) и по температурному режиму имеют три исполнения: С — среднетемпературный, Н — низкотемпературный и В — высокотемпературный. Компрессоры оснащаются однофазными электродвигателями напряжением 220 В и частотой 50 Гц, а также электродвигателями трехфазного переменного тока напряжением 220 или 380 В, частотой 50 Гц. В зависимости от исполнения компрессоры изготавливают с горизонтальным или вертикальным положением вала.

На рис. 5.16 показан один из наиболее распространенных герметичных холодильных компрессоров ФГ-0,7. При работе в составе холодильной машины с использованием хладагента фреон 12 (R12) этот компрессор обеспечивает холодопроизводительность 815 Вт (700 ккал/ч) при частоте вращения вала 24 $с^{-1}$ (1440 об/мин) и стандартных температурных условиях.

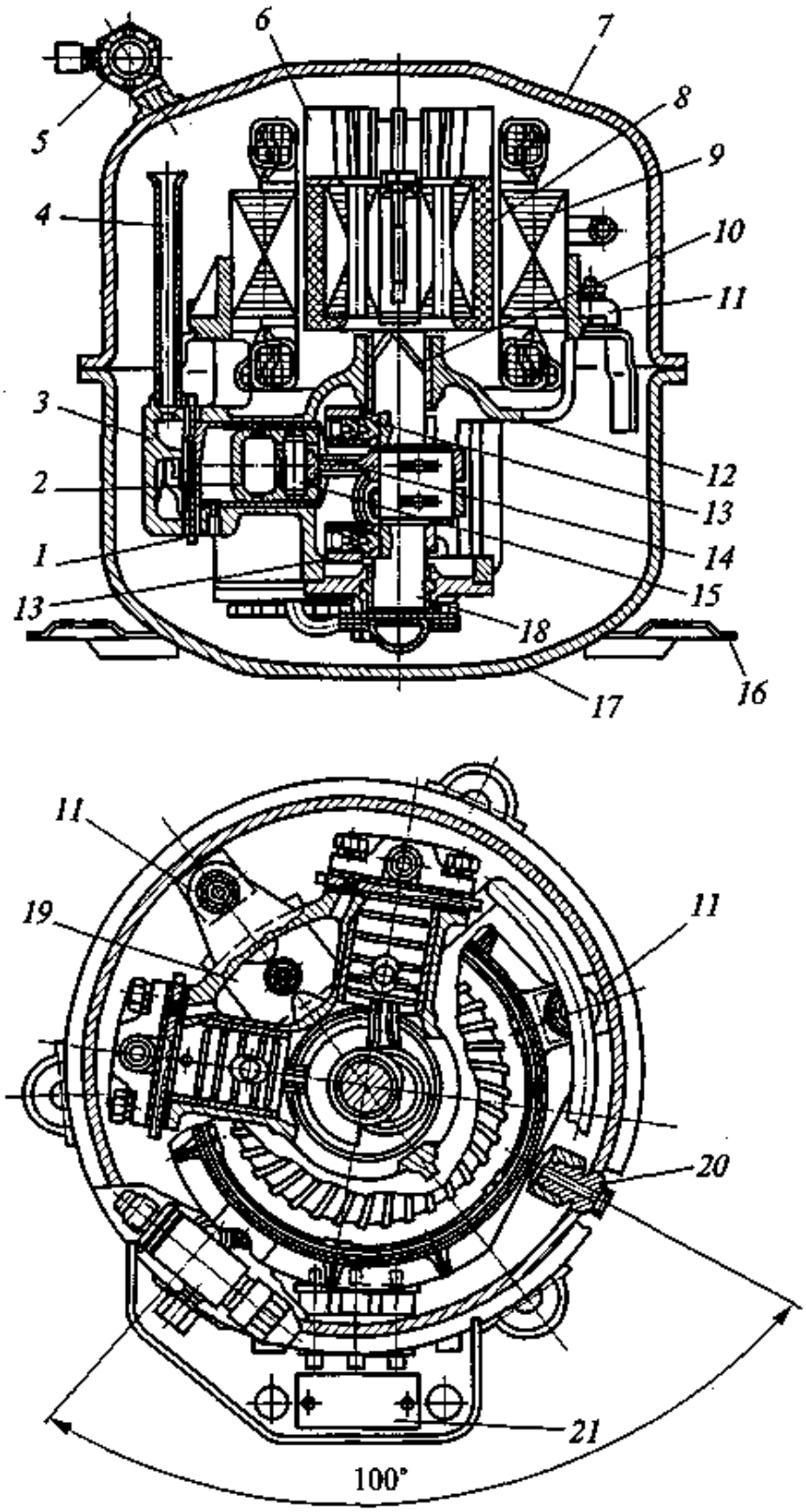



Рис. 5.16. Герметичный холодный компрессор ФГ-0,7:

*1* — клапанная доска; *2* — поршень; *3* — крышка цилиндра; *4* — всасывающий патрубок; *5* — всасывающий запорный вентиль; *6* — крыльчатка; *7* — верхняя часть герметичного кожуха; *8* — ротор электродвигателя; *9* — статор электродвигателя; *10* — подшипник эксцентрикового вала; *11* — пружинная опора; *12* — корпус компрессора; *13* — противовес эксцентрикового вала; *14* — шатун; *15* — поршневой палец; *16* — крепление кожуха; *17* — нижняя часть герметичного кожуха; *18* — эксцентриковый вал; *19* — глушитель; *20* — нагнетательный штуцер; *21* — клеммная коробка

Компрессор ФГ-0,7 имеет два расположенных горизонтально под углом 90° друг к другу цилиндра. Внутри них перемещаются поршни, приводимые в движение эксцентриковым валом, установленным вертикально. Корпус *12* компрессора изготовлен литьем из серого антифрикционного чугуна, крепится к нижней части герметичного кожуха посредством трех пружинных опор *11*. В корпусе компрессора имеются отверстия для установки подшипников эксцентрикового вала и гнезда для размещения гильз цилиндров. На эксцентриковом валу консольно установлен ротор *8* электродвигателя. На общей шатунной шейке размещены бронзовые шатуны *14* с неразъемными головками. Для уравновешивания вала предусмотрены противовесы *13*, прикрепляемые к валу винтами. Движение от эксцентрикового вала *18* через шатуны *14* передается на поршни *2*, совершающие возвратно-поступательное движение в гильзах цилиндров. Поршни компрессора стальные, без компрессионных и маслосъемных колец. На наружной поверхности поршня предусмотрены кольцевые канавки. При поступательном движении поршня в этих канавках собирается масло со стенок цилиндра, которое и выполняет функции компрессионых колец. Соединение «поршень — гильза» изготавливается с высокой точностью, уменьшение зазоров в соединениях достигается селективной сборкой.

Всасывающий и нагнетательный клапаны компрессора пластинчатые (лепестковые), самопружинящие. Они установлены на клапанной доске *1*, которая вместе с крышкой *3* цилиндра крепится к цилиндру посредством шпилечного соединения на паронитовых прокладках. Во избежание попадания смазочного масла в цилиндры компрессора предусмотрен всасывающий патрубок *4*. Для снижения уровня шума на линии нагнетания устанавливается глушитель *19*. Смазка трущихся пар и элементов движения компрессора принудительная. В нижней части *17* компрессора герметичного кожуха образована ванна для смазочного масла. Нижний конец вала (с сетчатым фильтром) погружен в масло. При вращении эксцентрикового вала *18* компрессора масло по внутренним каналам подается на смазку шатуна *14* и подшипника *10* эксцентрикового вала.

Статор электродвигателя установлен в верхней части корпуса *12* компрессора. Все материалы, используемые в электродвигателе, обладают стойкостью к воздействию смазочного масла и хладагента.

В верхней части герметичного кожуха *7* компрессора установлен всасывающий запорный вентиль *5* со штуцером для присоединения к испарителям холодильной машины. Хладагент низкого давления и при низкой температуре из испарителя через вентиль *5* поступает во внутренний объем герметичного кожуха. Крыльчатка *6*, установленная в верхней части ротора *8* электродвигателя,

обеспечивает распределение потока хладагента для охлаждения элементов электродвигателя.

Электропитание к двигателю компрессора подводится через герметичные контакты, размещенные в нижней части *17* герметичного кожуха. Здесь же, на специальной площадке размещена клеммная коробка *21* и реле тепловой защиты.

Большей ремонтопригодностью и надежностью в работе обладают герметичные компрессоры с вынесенным статором и экранированным ротором.

В компрессоре ФГэС-0,7 (рис. 5.17) статор вынесен за пределы кожуха компрессора и отделен от ротора тонкостенным экраном толщиной 0,3 мм из нержавеющей стали. В герметичном кожухе расположен ротор, шатунно-эксцентриковый механизм привода и цилиндропоршневая группа компрессора.

Статор *4* электродвигателя, помещенный в оребренную алюминиевую крышку (рис. 5.17, *б*), надевается на экран *2* и крепится к верхней части герметичного кожуха *6* болтами (рис. 5.17, *а*).

Компрессоры отличают по температурному режиму работы: среднетемпературные, высокотемпературные и низкотемпературные

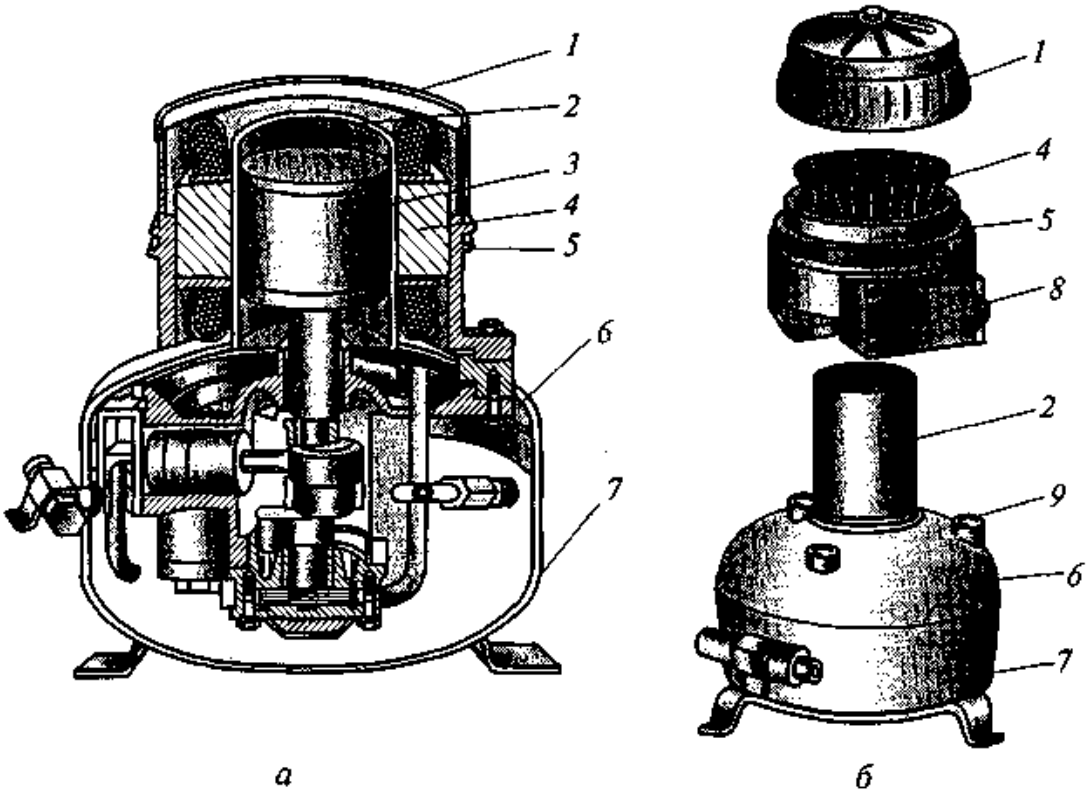



Рис. 5.17. Герметичный компрессор ФГэС-0,7 с вынесенным статором:

*1* — крышка защитная; *2* — экран из нержавеющей стали; *3* — ротор электродвигателя; *4* — статор электродвигателя; *5* — оребрение статора; *6*, *7* — верхняя и нижняя части герметичного кожуха компрессора; *8* — клеммная коробка с тепловым реле; *9* — резьбовое отверстие для крепления статора электродвигателя

ные. Диапазоны температурных режимов работы герметичных компрессоров приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

**Температурный диапазон работы герметичных компрессоров**

| Исполнение | Температура, °С | | | |
|---|---|---|---|---|
| | кипения хладагента | конденсации хладагента | всасывания хладагента | окружающей среды |
| Среднетемпературное (С) | –25 ... –10 | до +55 | до +35 | 5 ... 45 |
| Низкотемпературное (Н) | –40 ... –25 | до +55 | до +35 | 5 ... 45 |
| Высокотемпературное (В) | –25 ... +10 | до +55 | до +35 | 5 ... 45 |

В обозначения компрессоров включены соответствующие буквы, указывающие на их исполнение в зависимости от температурных условий: среднетемпературные — ФГС, ФГрС, ФГэС; низкотемпературные — ФГН; высокотемпературные — ФГВ, ФГрВ.

Среднетемпературные компрессоры предназначены для работы в составе среднетемпературного торгового холодного оборудования, низкотемпературные используются в составе холодильных машин низкотемпературного торгового холодильного оборудования, а высокотемпературными компрессорами оснащают холодильные машины охладителей напитков, осушителей воздуха и воздушных кондиционеров.

## 5.3. Ротационные компрессоры

Ротационные компрессоры относятся к объемным компрессорам. Сжатие парообразного хладагента осуществляется при уменьшении объема рабочей полости. Различают ротационный компрессор с катящимся ротором и с вращающимся. Ротационный компрессор с катящимся ротором состоит из (рис. 5.18) цилиндра *1*, по внутренней поверхности которого катится ротор компрессора *2*. Ротор устанавливается на вал *7* со смещением и при вращении вала ротор прокатывается по внутренней поверхности цилиндра, образуя в зазоре между цилиндром и ротором рабочие полости с изменяемыми объемами.

Когда ротор *2* компрессора выступающий частью, находящейся в постоянном контакте со стенкой цилиндра *1*, обращен к лопасти *5*, в цилиндре образуется одна рабочая полость, заполненная хладагентом, поступающим из испарителя по всасывающему трубопроводу *6* (рис. 5.18, *а*).

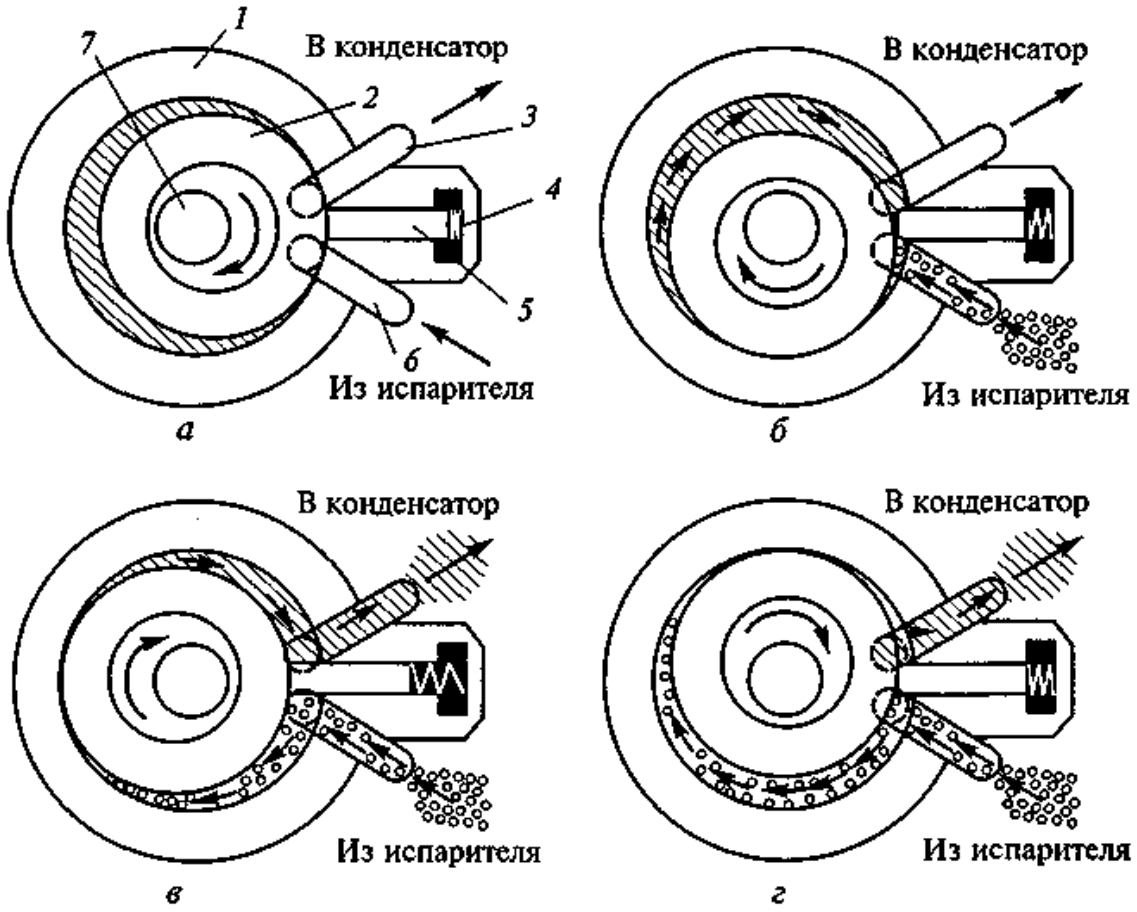



Рис. 5.18. Ротационный компрессор с катящимся ротором:

*1* — цилиндр; *2* — ротор компрессора; *3, 6* — трубопровод; *4* — пружина; *5* — лопасть; *7* — вал

Дальнейший поворот вала *7* компрессора приводит к тому, что серповидная рабочая полость начинает уменьшаться (рис. 5.18, *б*), а давление парообразного хладагента в ней повышается. Одновременно начинает появляться полость всасывания, заполняемая парообразным хладагентом из испарителя. При максимальном удалении ротора *2* компрессора от лопасти *5* в цилиндре *1* образуются две полости (рис. 5.18, *в*) — нагнетания и всасывания. Эти полости, содержащие хладагент под давлением $p_к$ (полость нагнетания) и $p_0$ (полость всасывания), разделяются лопастью *5*, постоянно прижимаемой к поверхности ротора пружиной *4*. При дальнейшем повороте вала *7* компрессора происходит завершение процессов нагнетания (рис. 5.18, *г*) и всасывания. Цикл работы компрессора повторяется.

Ротационные компрессоры изготавливаются, как правило, в герметичном исполнении, и они используются в составе компрессорно-конденсаторных агрегатов холодильных машин для торгового холодильного оборудования. Эти компрессоры работают на фреонах. Серийно выпускаемый герметичный компрессор типа ФГр показан на рис. 5.19.

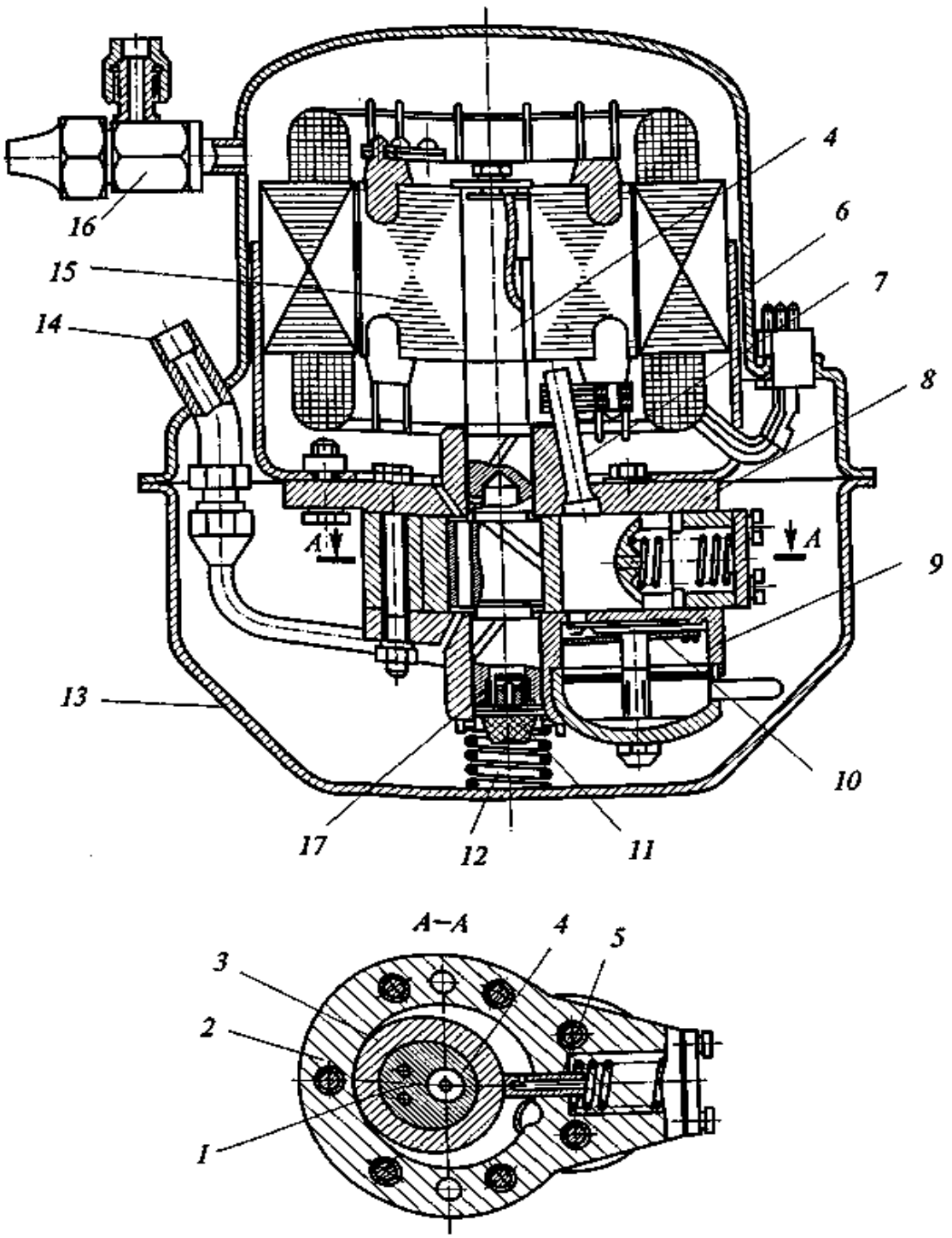



Рис. 5.19. Герметичный компрессор с катящимся ротором типа ФГр:

*1* — эксцентрик вала; *2* — цилиндр; *3* — ротор; *4* — вал компрессора; *5* — лопасть; *6* — статор электродвигателя; *7* — всасывающий патрубок; *8* — верхняя крышка цилиндра; *9* — нижняя крышка цилиндра; *10* — нагнетательный клапан; *11* — масляный фильтр; *12* — пружина; *13* — герметичный корпус (кожух); *14* — нагнетательный патрубок; *15* — ротор электродвигателя; *16* — всасывающий запорный вентиль; *17* — масляный насос

Все элементы компрессора и электродвигатель размещены в герметичном корпусе *13*. Вертикально расположенный вал *4* компрессора жестко соединен с валом электродвигателя. На валу *4*

компрессора установлен эксцентрик *1* и ротор *3*, обкатывающийся по внутренней поверхности цилиндра *2*. Лопасть *5* постоянно поджимается к поверхности ротора *3* спиральной пружиной. Цилиндр *2* с обеих сторон имеет две крышки *8* и *9*. В нижней части компрессора размещен масляный насос *17*, который по отверстиям в вале *4* подает масло ко всем движущимся частям компрессора.

Парообразный хладагент из испарителя через запорный вентиль *16* поступает на охлаждение электродвигателя *6*, *15* и затем через всасывающий патрубок *7* в цилиндр компрессора. Сжатый хладагент через нагнетательный клапан *10* по трубопроводу подается в нагнетательный патрубок *14* и затем в конденсатор холодильной машины.

Ротационные компрессоры в герметичном исполнении выпускаются холодопроизводительностью 0,3...1,3 кВт для торгового холодильного оборудования и систем кондиционирования воздуха.

## 5.4. Спиральные компрессоры

Спиральные компрессоры относятся к компрессорам объемного действия, т.е. сжатие хладагента происходит за счет уменьшения объема, в котором находится хладагент. Это совершенно новый тип компрессоров, который в настоящее время все чаще используется в системах кондиционирования воздуха и в холодильных машинах холодопроизводительностью до 40 кВт.

Конструктивно рабочий элемент спирального компрессора состоит из двух вложенных одна в другую спиралей (рис. 5.20).

Одна из спиралей установлена неподвижно, а вторая совершает эксцентрическое движение. Все процессы, присущие объемным компрессорам (например, поршневому компрессору) — всасывание, сжатие, нагнетание — реализуются в полостях, образуемых боковыми поверхностями спиралей. Принцип действия спирального компрессора показан на рис. 5.21. Отличительной особенностью спирального компрессора является отсутствие всасывающего и нагнетательного клапанов и практически отсутствие



*а* *б*

Рис. 5.20. Рабочий элемент спирального компрессора:
*а* — неподвижная спираль; *б* — подвижная спираль

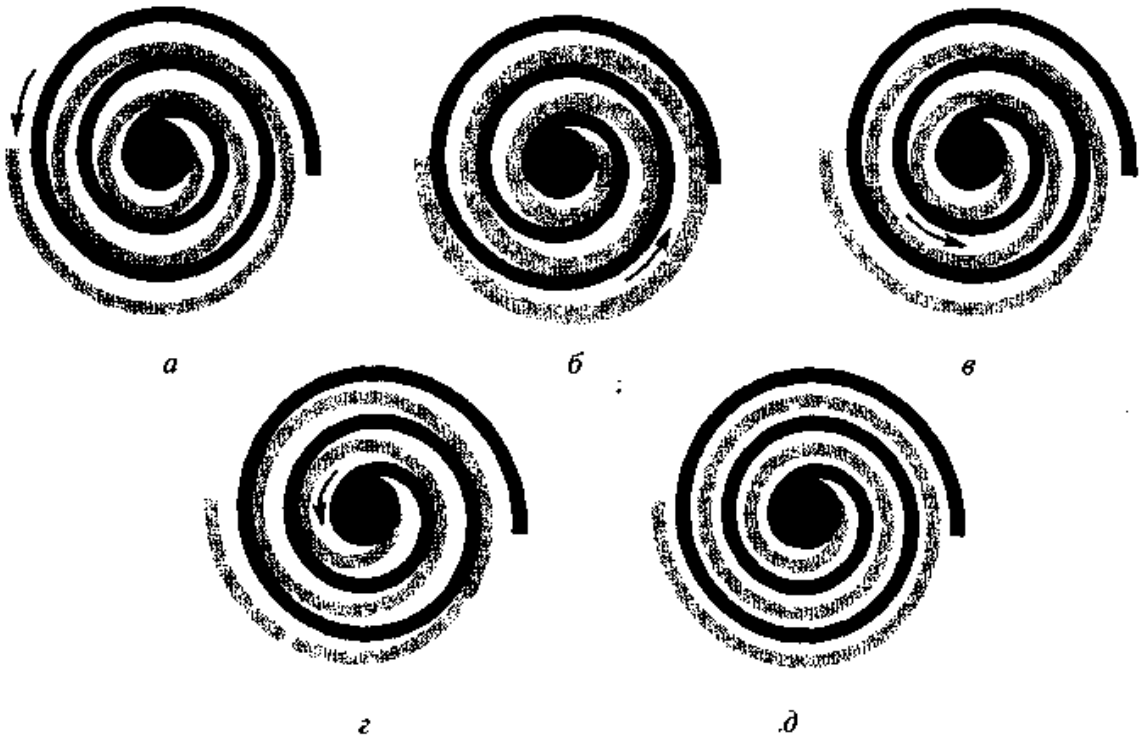



Рис. 5.21. Принцип действия спирального компрессора

мертвого объема. В процессе всасывания (рис. 5.21, *а*) хладагент из испарителя заполняет расширяющуюся полость между неподвижной (черная линия) и подвижной (серая линия) спиральными компрессорами. Направление движения хладагента показано на рисунке стрелкой. Дальнейшее перемещение подвижной спирали отсекает объем, заполненный хладагентом, от линии всасывания (рис. 5.21, *б*). В процессе движения подвижной спирали отсеченный объем перемещается к центральной части спиралей (рис. 5.21, *в, г*), при этом происходит уменьшение объема и соответственно повышение давления. Достигнув центральной части, сжатый хладагент подается в нагнетательный патрубок (положение *г*) и затем в конденсатор холодильной машины.

Число витков спиралей, их форма и радиус перемещения подвижной спирали подобраны так, что одновременно рабочий процесс компрессора реализуется в шести полостях и процесс нагнетания хладагента практически непрерывный (рис. 5.21, *д*).

Конструктивно спиральный компрессор может иметь вертикально расположенный электродвигатель, размещенный в герметичном кожухе. В верхней части установлены неподвижная и подвижная спирали. Компрессор оснащен патрубками для присоединения к линиям всасывания (к испарителю) и нагнетания (к конденсатору).

Отсутствие движущихся возвратно-поступательно частей существенно снижает уровень вибрации компрессора и шума. Высокая эффективность и простота в обслуживании при эксплуатации спо-

собствуют увеличению числа компрессоров данного типа для холодильных машин и кондиционеров.

## 5.5. Винтовые компрессоры

Винтовые компрессоры относятся к классу объемных компрессоров, в которых сжатие хладагента осуществляется за счет уменьшения объема рабочей полости. Рабочая полость образуется в цилиндре при определенном положении двух роторов — винтов. Цилиндр снабжен всасывающим и нагнетательным окнами, впускные и нагнетательные клапаны отсутствуют.

Конструктивная схема двухроторного холодильного винтового компрессора приведена на рис. 5.22.

В корпусе компрессора в подшипниках *6*, *7* установлены два ротора (винта). Один из винтов *5* имеет выступы и называется ведущим. Второй винт *4* имеет впадины (их число обычно больше выступов) и называется ведомым.

При вращении винтов в пространстве между внутренней стенкой цилиндра, выступами и впадинами винтов *4* и *5* периодически образуется рабочая полость (на рис. — заштрихована). Эта полость заполняется парообразным хладагентом из испарителя. Совместное вращение винтов приводит к тому, что хладагент пере-

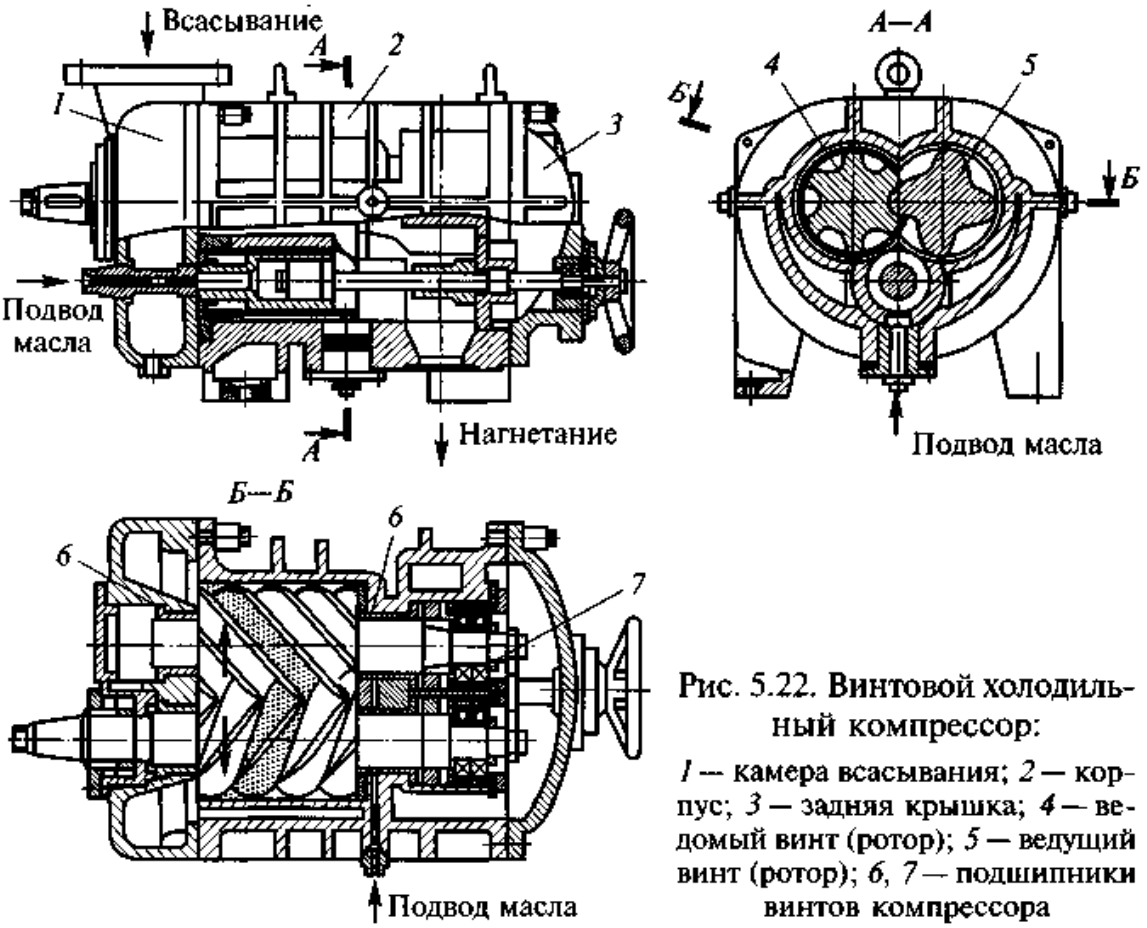



Рис. 5.22. Винтовой холодильный компрессор:

*1* — камера всасывания; *2* — корпус; *3* — задняя крышка; *4* — ведомый винт (ротор); *5* — ведущий винт (ротор); *6*, *7* — подшипники винтов компрессора

мещается вдоль оси винтов и сжимается. Сжатие паров хладагента продолжается до тех пор, пока рабочая полость не достигнет нагнетательного окна в стенке корпуса цилиндра. Сжатый парообразный хладагент через нагнетательный патрубок подается в конденсатор холодильной мащины.

В силу того что при вращении роторы не соприкасаются друг с другом и стенками цилиндров, их можно выполнять без смазки. Этот тип винтовых компрессоров получил название «сухие компрессоры». Однако на практике чаще всего применяют маслозаполненные компрессоры. В таких компрессорах масло в виде очень мелких капель впрыскивается в рабочую полость. Образующаяся на поверхностях роторов (винтов) и цилиндра тонкая масляная пленка позволяет лучше уплотнить элементы и обеспечить более высокую степень сжатия паров хладагента. Кроме того, масло используется как охлаждающая среда для корпуса компрессора. Недостатком маслозаполненных компрессоров является необходимость в эффективных маслоотделителях, устанавливаемых на линии нагнетания хладагента.

Винтовые компрессоры имеют меньшие размеры и массу, чем поршневые той же производительности. Отсутствие элементов, движущихся возвратно-поступательно, обеспечивает хорошую уравновешенность компрессора. Надежность винтовых компрессоров при эксплуатации также достаточно велика. Это обусловлено отсутствием впускных и выпускных клапанов, а также трения между элементами компрессора. К недостатку винтовых компрессоров следует отнести высокий уровень шума, использование специального привода для обеспечения высокой частоты вращения винтов, сложную систему смазки.

Винтовые компрессоры используются в крупных одно- и двухступенчатых холодильных машинах, работающих на аммиаке или фреонах.

## 5.6. Центробежные компрессоры

Центробежные компрессоры используются в холодильных машинах большой производительности, работающих на фреонах и аммиаке, преимущественно в системах кондиционирования воздуха.

Сжатие паров хладагента в центробежном компрессоре основано на увеличении скорости хладагента в рабочем колесе и последующем преобразовании его кинетической энергии в потенциальную. Принцип действия центробежного компрессора показан на рис. 5.23.

Хладагент в парообразном состоянии поступает во всасывающий патрубок *3* компрессора и затем в рабочее колесо *2*. Рабочее колесо вращается в корпусе компрессора с большой скоростью. Центробежной силой парообразный агент лопатками отбрасыва-

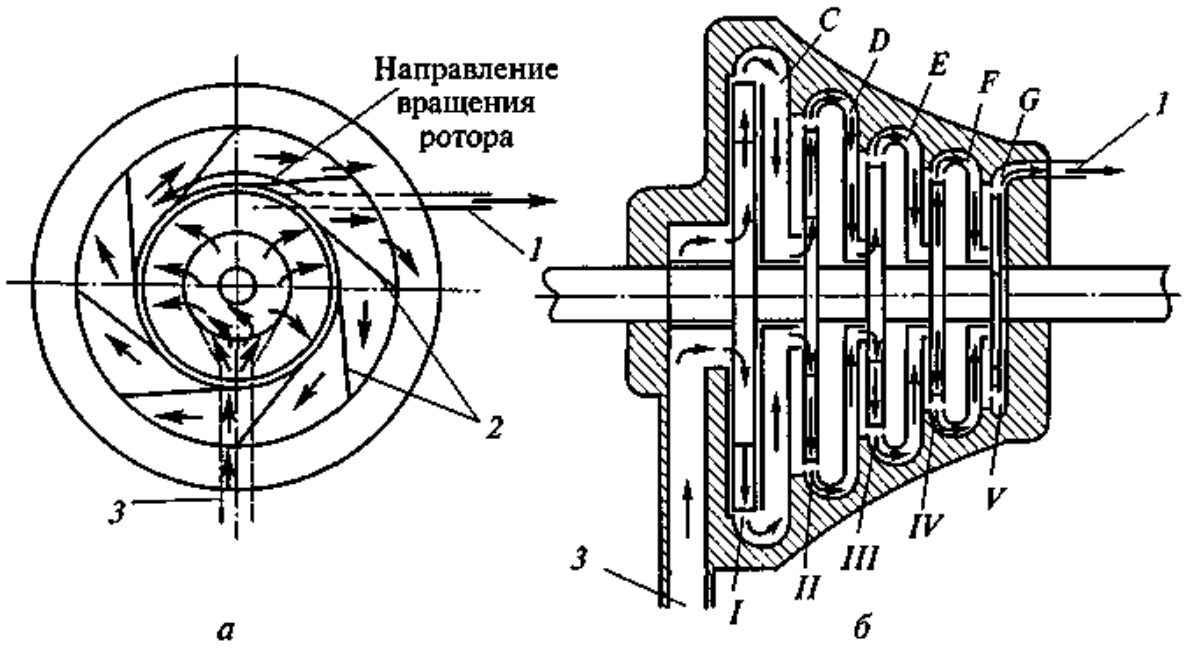



Рис. 5.23. Устройство центробежного компрессора:

*1* — нагнетательный патрубок; *2* — рабочее колесо с лопатками; *3* — всасывающий патрубок; *I — V* — ступени компрессора; *C, D, E, F, G* — обратные направляющие аппараты

ется к периферии (наружной части) рабочего колеса. После рабочего колеса *2* хладагент подается в обратный направляющий аппарат, в котором скорость движения хладагента значительно снижается, а давление его повышается.

Обычно давления, создаваемого одним рабочим колесом и одним обратным направляющим аппаратом с диффузором, бывает недостаточно. Поэтому хладагент сжимают последовательно в нескольких рабочих колесах, получивших название «ступени сжатия компрессора» или просто — ступени компрессора.

Число ступеней сжатия центробежного компрессора определяется условиями работы холодильной машины и свойствами используемого хладагента.

# Глава 6. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

В состав любой парокомпрессионной холодильной машины входят, как минимум, два теплообменных аппарата, обеспечивающих обмен энергией в виде теплоты между хладагентом и внешней средой. Этими обязательными теплообменными аппаратами являются испаритель и конденсатор холодильной машины. Кроме них в состав холодильной машины может быть включен регенеративный теплообменник, обеспечивающий обмен теплотой между потоками хладагента и повышающий эффективность и надежность работы холодильной машины.

## 6.1. Испарители

Испаритель — это теплообменный аппарат, устанавливаемый в охлаждаемом помещении, камере или отсеке холодильного оборудования и обеспечивающий охлаждение газообразной или жидкой среды. Во внутреннем объеме испарителя при низкой температуре кипит хладагент, воспринимая теплоту охлаждаемой среды.

По виду охлаждаемой среды различают испарители для охлаждения жидких теплоносителей и для охлаждения воздуха.

*Испарители для охлаждения жидких теплоносителей* используются при охлаждении напитков (сокоохладители, охладители пива, кваса, газированной воды) или промежуточных теплоносителей, в качестве которых применяются вода, водные растворы солей, этиленгликоль или пропиленгликоль.

Испарители для охлаждения жидких теплоносителей используются достаточно часто в процессе работы предприятия торговли или питания, где требуется охлаждение жидкостей. Этими жидкостями могут быть: газированная вода, соки, квас, пиво и другие пищевые жидкости. Кроме того, иногда требуется охлаждение промежуточного теплоносителя, используемого в технологических целях. Этим промежуточным теплоносителем может быть вода. Последняя, охлажденная до 0,5... 1,5 °С, получила название «ледяной воды». Она широко используется в технологических процессах пищевых производств.

В качестве промежуточных теплоносителей при отрицательных температурах широко используются водные растворы солей NaCl и $CaCl_2$. Эти растворы, получившие название «рассолы», имеют минимальную (эвтектическую) температуру: −21,2 °С для NaCl, −55 °С для $CaCl_2$.

По конструкции различают панельные испарители открытого типа, кожухотрубные испарители, кожухозмеевиковые листотрубные и ребристотрубные испарители.

*Испарители для охлаждения воздуха* получили наибольшее распространение, так как они применяются практически во всех видах торгового холодильного оборудования. Эти испарители устанавливаются в холодильных камерах. Различают испарители с естественной циркуляцией воздуха и воздухоохладители (с принудительным движением воздуха, создаваемым вентилятором).

По способу заполнения испарителей хладагентом различают затопленные и сухие. В *испарителях затопленного типа* поддерживается определенный уровень кипящего жидкого хладагента. В *сухих* (или *незатопленных*) *испарителях* понятия «уровень жидкости» нет, хладагент кипит внутри труб и по мере движения по трубам превращается в парообразное состояние.

Кипение хладагента в испарителе происходит при передаче теплоты от охлаждаемой среды через твердую герметичную разделяющую стенку, называемую теплопередающей поверхностью испарителей. Ее изготавливают из теплопроводных материалов, например, из медных труб. Для интенсификации теплообмена поверхность труб испарителей, соприкасающуюся с охлаждаемым воздухом, оребряют. Оребрение поверхности проводят чаще всего нанизыванием на трубы тонкостенных металлических пластин с определенным расстоянием между ними.

Наиболее простую конструкцию имеют *панельные испарители открытого типа*. Испаритель (рис. 6.1) состоит из бака прямо-

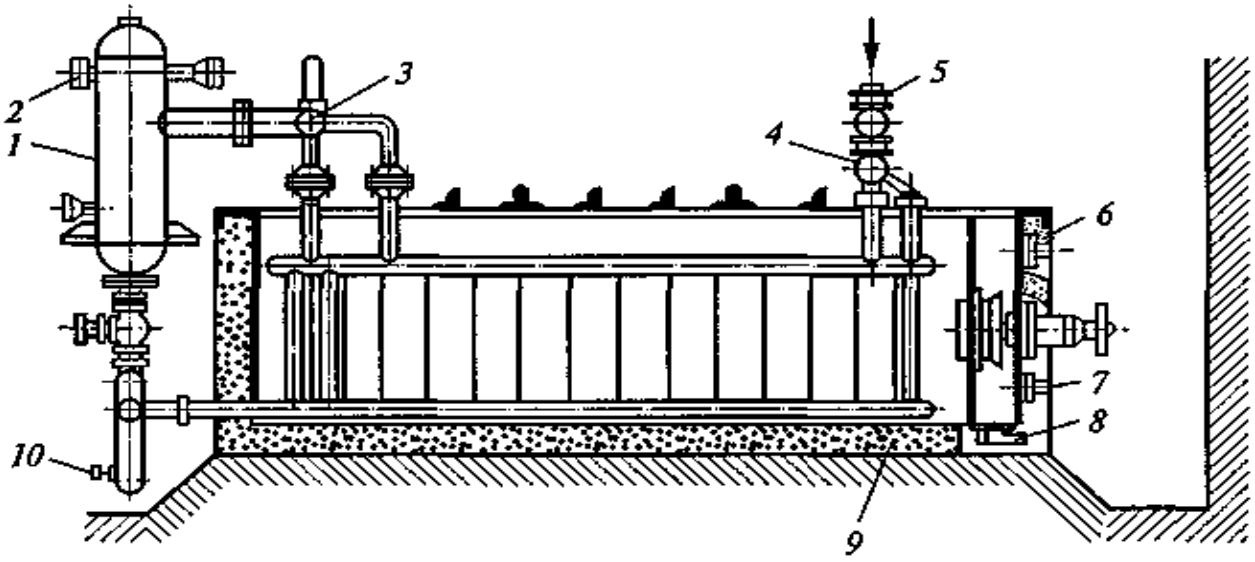



Рис. 6.1. Аммиачный панельный испаритель:

*1* — отделитель жидкого аммиака; *2* — паровой патрубок; *3* — коллектор; *4* — распределительный коллектор; *5* — патрубок жидкого аммиака; *6, 7* — патрубки подвода и отвода теплоносителя (рассола); *8* — сливной вентиль; *9* — тепловая изоляция; *10* — вентиль выпуска масла

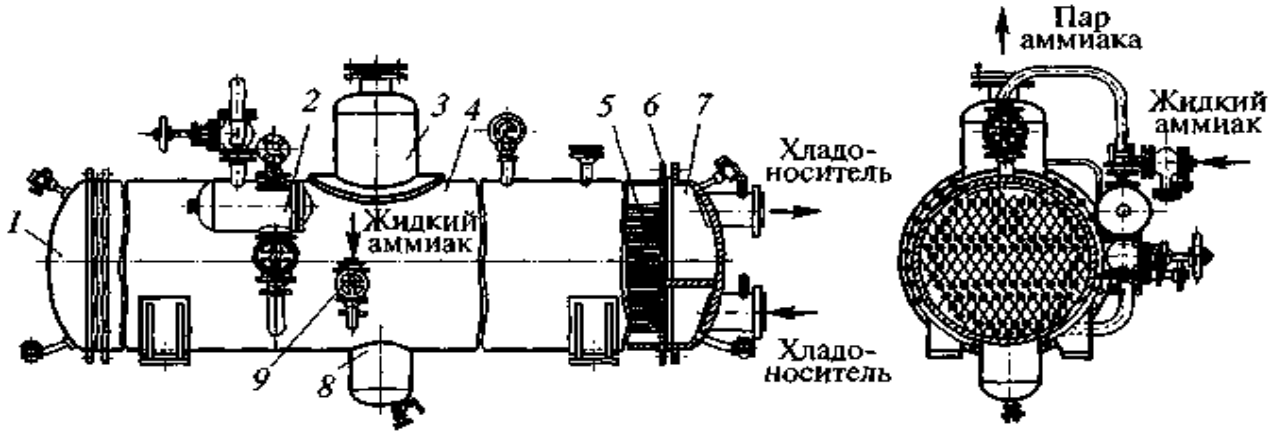
угольного сечения, заполненного теплоносителем, внутрь которого помещаются панели испарителя. Испарители данного типа используются в крупных аммиачных холодильных машинах.

При использовании панельных испарителей для охлаждения воды возможно расширение функциональных возможностей аппаратов. Расстояние между панелями увеличивают, и при охлаждении воды добиваются образования слоя льда на наружной поверхности панелей. Слой льда выполняет функции аккумулятора теплоты. Такие испарители-аккумуляторы находят применение в технологических циклах с неравномерной тепловой нагрузкой, например, на предприятиях молочной промышленности, пиво-безалкогольного производства и др.

Недостатком панельных испарителей открытого типа является существенная коррозия панелей и баков, т. е. элементов, смачиваемых теплоносителем и имеющих контакт с окружающим воздухом.

Более высокими эксплуатационными характеристиками обладает замкнутая система циркуляции теплоносителя. В этой системе охлаждение теплоносителя обеспечивается в *кожухотрубном испарителе*. Испаритель (рис. 6.2) представляет собой цилиндрический кожух *4*, внутри которого проходит трубный пучок *5*. Наружная поверхность труб представляет собой теплопередающую поверхность, через которую теплота от теплоносителя, протекающего внутри труб, передается кипящему в межтрубном пространстве хладагенту. Торцы труб герметично закреплены в двух трубных решетках *6*, приваренных к кожуху *4*. Трубные решетки закрыты крышками *1* и *7*, причем в крышке *7* предусмотрены патрубки для подвода и отвода теплоносителя (воды, рассола).

Жидкий хладагент (аммиак) через вентиль *9* подается в межтрубное пространство испарителя. Поплавковый регулятор *2* под-




6.2. Кожухотрубный испаритель:

*1*, *7* — крышки; *2* — поплавковый регулятор уровня хладагента; *3* — отделитель жидкости (сухопарник); *4* — кожух; *5* — теплопередающая поверхность (трубный пучок); *6* — трубная решетка; *8* — маслосборник; *9* — вентиль заполнения жидким хладагентом (аммиаком)

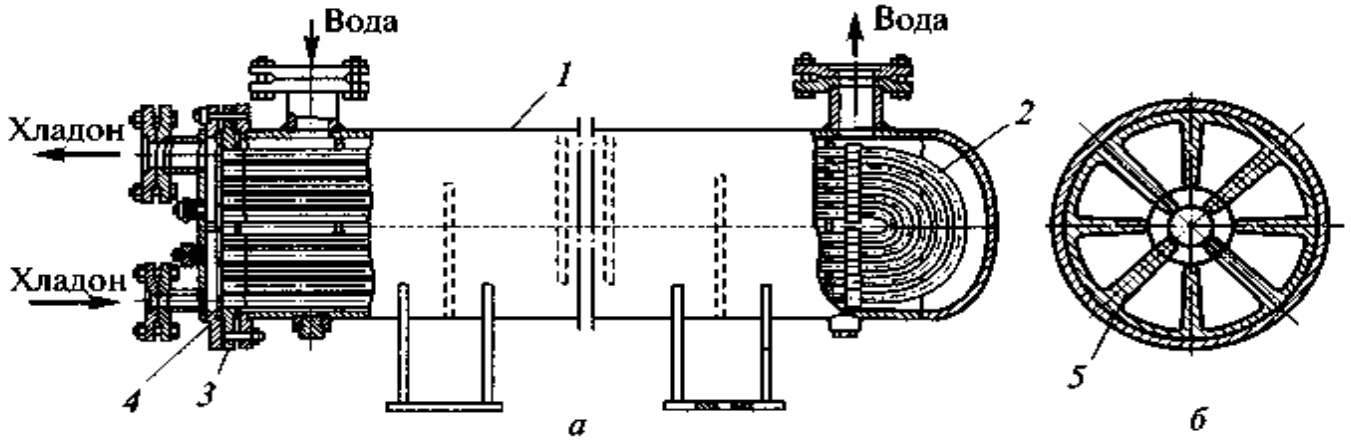



Рис. 6.3. Кожухозмеевиковый испаритель:

*а* — конструкция; *б* — поперечный разрез трубы (увеличено); *1* — кожух; *2* — U-образные трубы; *3* — трубная решетка; *4* — крышка; *5* — вставка

держивает уровень хладагента на высоте примерно 0,8 диаметра кожуха. Парообразный хладагент отводится из испарителя через отделитель жидкости (сухопарник), размещенный в верхней части аппарата. В нижней части аппарата установлен маслосборник *8*, через который из испарителя периодически сливают собранное смазочное масло и загрязнения.

В малых холодильных машинах чаще используют модифицированные кожухотрубные испарители, получившие название — *кожухозмеевиковые* испарители. Испарители данного типа (рис. 6.3) имеют только одну трубную решетку *3*, к которой присоединены U-образные трубы *2*. Хладагент кипит внутри труб, а охлаждаемый теплоноситель прокачивается по межтрубному пространству. Для интенсификации теплообмена при кипении хладагента внутри трубы устанавливается специальная вставка *5*, выполняющая функции внутреннего оребрения.

Организация кипения хладагента внутри труб позволяет существенно (примерно в два-три раза) снизить количество хладагента в контуре холодильной машины. Кроме того, исключена возможность замерзания теплоносителя внутри труб и их разрыва.

Для охлаждения напитков в торговых холодильных автоматах (газированная вода, квас, пиво, соки) используют змеевиковые испарители. В испарителях данной конструкции (рис. 6.4) хладагент (чаще всего R12 или R22) и охлаждаемый напиток находятся каждый в своем трубопроводе (змеевике). Отвод теплоты от напитка к кипящему хладагенту осуществляется через теплопроводный материал.

Змеевик *3* испарителя (хладагента) изготавливается из медной трубы $\varnothing 10 \times 1$ и устанавливается в предусмотренном пространстве водоохладителя. Змеевик *2* для охлаждения воды изготавливают из латунных труб такого же размера и размещают в указанном пространстве без контакта с трубами испарителя. Ци-

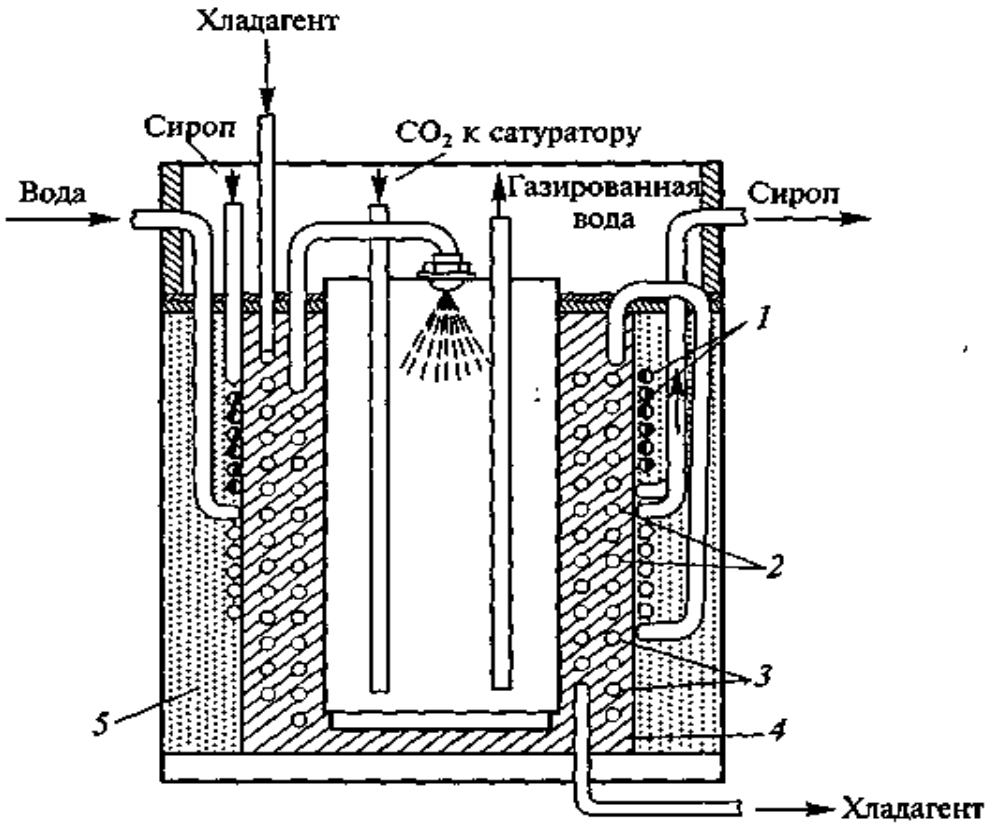



Рис. 6.4. Змеевиковый испаритель для охлаждения напитков:

*1* — трубы змеевика охлаждения сиропа; *2* — змеевик для охлаждения воды; *3* — змеевик испарителя; *4* — теплопроводная масса; *5* — тепловая изоляция

линдрический объем со змеевиками заливается теплопроводным материалом (сплавом алюминия с медью), который обеспечивает передачу теплоты и выполняет функции теплового аккумулятора.

В торговом оборудовании и холодильных машинах для небольших холодильных камер чаще всего используются испарители непосредственного охлаждения. В них теплота охлаждаемого воздуха (без промежуточного теплоносителя) непосредственно передается кипящему хладагенту.

В современном торговом холодильном оборудовании (охлаждаемые прилавки, ларьки, низкотемпературные секции) часто изготавливают панельные испарители в виде *листотрубной конструкции* (рис. 6.5). Данные испарители состоят из двух тонкостенных листов, на которых изготовлены половины профилей каналов для хладагента. После соединения листов они подвергаются горячей прокатке и в месте контакта поверхностей свариваются. Половины профилей листов, совмещаясь, образуют сеть каналов *2* для хладагента. Для присоединения испарителя к подводящему и отходящему трубопроводам предусмотрены штуцеры *1*, *3*. В качестве материала испарителей может использоваться тонкостенный лист из нержавеющей стали.

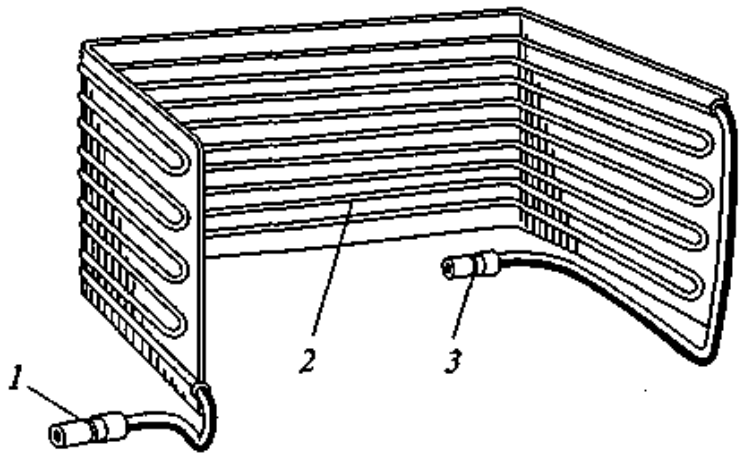



Рис. 6.5. Листотрубный испаритель:

*1*, *3* — штуцеры для подвода и отвода хладагента; *2* — каналы для хладагента

Разновидностью панельных испарителей являются *паяные испарители*. Они состоят из панели требуемой формы, к которой пайкой крепится медная труба испарителя. Панель может иметь различную форму (короб, лоток и пр.), соответствующую конфигурации охлаждаемого объема оборудования.

Листотрубные панельные испарители применяют в бытовых холодильниках.

У *ребристотрубных испарителей* теплообменная поверхность испарителя образована из гладких медных труб, на которые насажены штампованные пластинчатые ребра. Испарители данного типа наиболее часто используют для охлаждения холодильных камер предприятий торговли и питания. Их размещают в охлаждаемых помещениях на стенах, поэтому эти испарители получили название «настенные».

Примером ребристого испарителя являются испарители типа ИРСН (испаритель ребристый сухой настенный). Испарительная батарея ИРСН (рис. 6.6) изготовлена из медных труб, внутри ко-

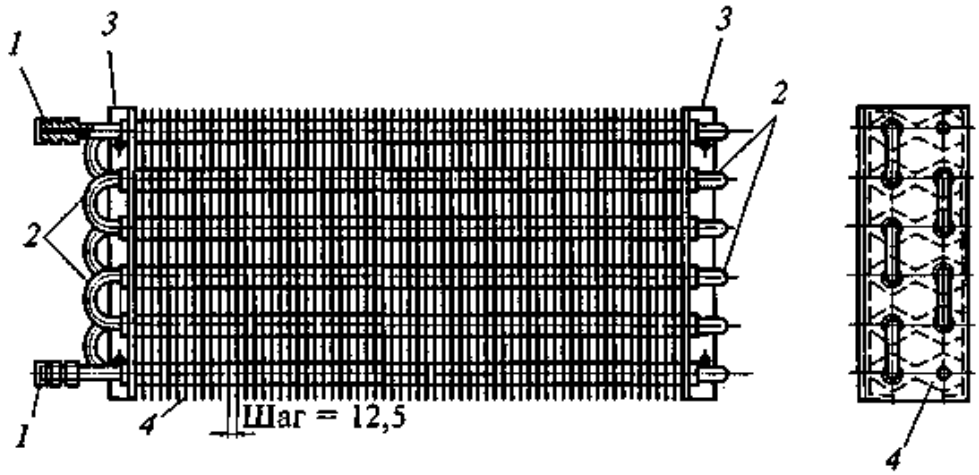



Рис. 6.6. Ребристотрубный испаритель ИРСН — 12,5:

*1* — присоединительные штуцеры; *2* — калачи; *3* — кронштейн; *4* — ребра

торых кипит хладагент, чаще всего R12 или R22. Трубы диаметром ∅18×2 расположены в два ряда, на наружной поверхности труб размещены стальные или латунные штампованные ребра *4*. Расстояние между ребрами (шаг ребер) для данных испарителей составляет 12,5 мм. Трубы испарителя последовательно соединяются друг с другом полукруглыми трубками, получившими название «калачи» *2*. Для подсоединения испарителя к линии подвода жидкого хладагента и отвода парообразного предусмотрены штуцеры *1*. Для крепления испарителя к стене предусмотрены два кронштейна *3*, расположенные по боковым сторонам на задней части испарителя.

В обозначении испарителя, например ИРСН-12,5, присутствует цифра, показывающая величину теплообменной поверхности в квадратных метрах. Испарители ИРСН выпускаются с разной величиной поверхности теплообмена от 4,7 до 18 м$^2$.

Испаритель с принудительным движением воздуха через оребренную теплообменную поверхность называется *воздухоохладителем*. Движение воздуха осуществляется вентилятором с приводом от электродвигателя. Воздухоохладители более компактны и легче, чем испарители с естественной циркуляцией воздуха.

Воздухоохладители находят применение в торговом холодильном оборудовании, холодильных камерах, в оборудовании для охлаждения и замораживания пищевых продуктов.

Конструкция воздухоохладителя показана на рис. 6.7. Воздухоохладитель помещен в корпус *1*, в нижней части которого предусмотрен поддон *6* для сбора талой воды при оттаивании. Вентилятор, состоящий из крыльчатки *2* и электродвигателя *3*, устанавливается в специальном кожухе, который крепится к корпусу воздухоохладителя. Заполнение воздухоохладителя хладагентом осуществ-

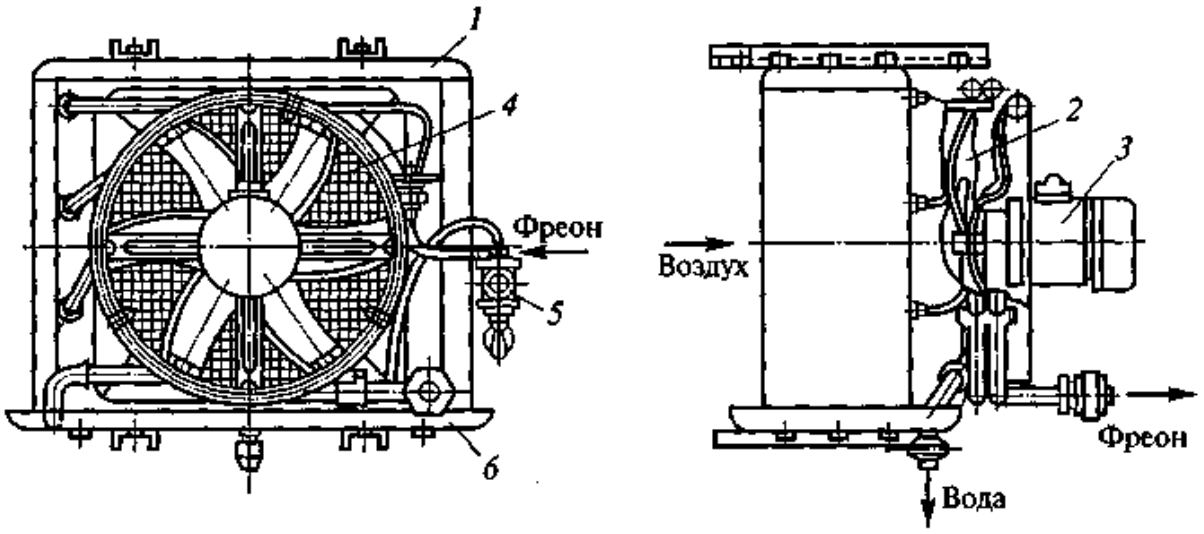



Рис. 6.7. Воздухоохладитель:

*1* — корпус воздухоохладителя; *2* — крыльчатка вентилятора; *3* — электродвигатель вентилятора; *4* — оребренная теплообменная поверхность; *5* — терморегулирующий вентиль; *6* — поддон

ляется через терморегулирующий вентиль *5*, выполняющий функции дросселирующего устройства и автоматического регулятора.

## 6.2. Конденсаторы

**Принцип действия конденсатора.** В соответствии с принципом работы холодильной машины и законом сохранения энергии, в конденсаторе от хладагента отводится теплота, равная суммарной энергии, подведенной к агенту в испарителе и компрессоре. Для парокомпрессионных холодильных машин уравнение теплового (энергетического) баланса имеет вид:

$$Q_к = Q_0 + N,$$

где $Q_к$ — количество теплоты, отведенное от хладагента в конденсаторе, Вт; $Q_0$ — холодопроизводительность холодильной машины, Вт; $N$ — энергия, подведенная к хладагенту при сжатии в компрессоре, Вт.

Теплообменный аппарат, в котором осуществляется отвод теплоты от хладагента, получил название конденсатора. Количество теплоты $Q_к$, отводимое от хладагента в конденсаторе, называют теплотой конденсации.

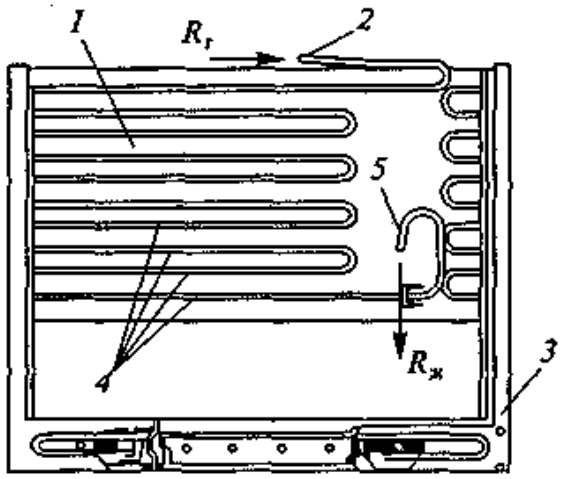
В процессе отвода теплоты конденсации температура хладагента сначала понижается, а достигнув значения температуры конденсации $T_к$, остается постоянной. Отвод теплоты при постоянной температуре сопровождается переходом хладагента из газообразного состояния в жидкое, т. е. происходит процесс конденсации хладагента.

**Классификация конденсаторов.** По виду среды, в которую отводится теплота конденсации, различают конденсаторы с воздушным и водяным охлаждением. Для крупных холодильных машин спроектированы конденсаторы с комбинированной системой охлаждения. К конденсаторам такого типа относятся оросительные и испарительные.

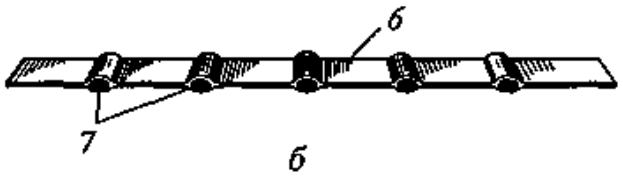
В торговом холодильном оборудовании чаще всего применяются конденсаторы с воздушным охлаждением, а в составе холодильных машин для холодильных камер и блоков холодильных камер предприятий торговли и питания используются конденсаторы как с воздушным, так и с водяным охлаждением.

В холодильном оборудовании с небольшой холодопроизводительностью (бытовые холодильники, холодильные шкафы небольших размеров) применяют *конденсаторы воздушного охлаждения* с естественной циркуляцией охлаждающего воздуха. Различают листотрубные и змеевиковые с проволочными ребрами.

*Листотрубный конденсатор* (рис. 6.8) изготавливается из двух алюминиевых листов, в которых предусмотрены половины профилей каналов. После соединения листы герметично соединяются, образуя каналы для хладагента.




*а*




*б*

Рис. 6.8. Листотрубный конденсатор:

*а* — общий вид конденсатора; *б* — поперечный разрез панели с каналами для хладагента; *1* — панель конденсатора; *2, 5* — патрубки для подвода и отвода хладагента; *3* — кронштейн крепления; *4* — каналы для хладагента; *6* — панель; *7* — каналы; $R_г$ — газообразный хладагент; $R_ж$ — жидкий хладагент

*Змеевиковые конденсаторы с проволочными ребрами* просты в изготовлении, достаточно эффективны и более надежны. Конструктивно эти конденсаторы (рис. 6.9) состоят из плоского трубчатого змеевика *1*, на который с двух сторон приварены проволочные ребра *2*. Ребра увеличивают теплообменную поверхность конденсатора и укрепляют его конструкцию.

Недостатком конденсаторов с естественным движением воздуха является низкая эффективность теплообмена.

Интенсификация процесса отвода теплоты в конденсаторе обеспечивается принудительным движением (циркуляцией) воздуха. Для принудительного обдува воздухом теплообменной поверхности конденсатора применяются осевые вентиляторы, устанавливаемые непосредственно на корпусе конденсатора. Привод крыльчатки вентилятора обеспечивается электродвигателем.

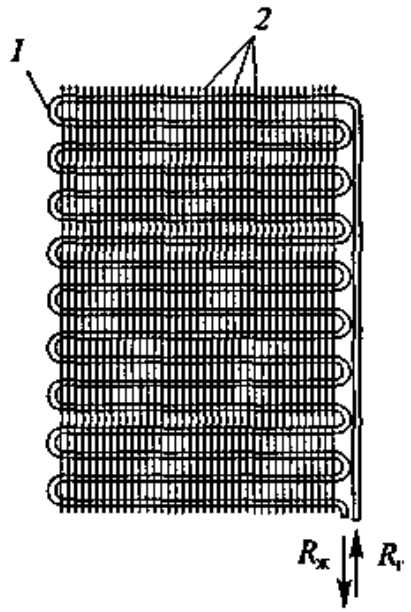



Рис. 6.9. Змеевиковый конденсатор с проволочными ребрами:

*1* — трубчатый змеевик; *2* — проволочные ребра; $R_г$ — газообразный хладагент; $R_ж$ — жидкий хладагент

**Устройство конденсаторов.** Конденсаторы с воздушным охлаждением (рис. 6.10, *а*) состоят из нескольких (от двух до шести) одинаковых вертикальных секций, объединенных в общий корпус. Каждая секция представляет собой плоский змеевик из медных или стальных труб, на которые насаживаются стальные ребра толщиной 0,5 мм. Змеевик набирают из прямых или U-образных труб и соединяют их между собой калачами, припаиваемыми к трубам твердым припоем. Кон-

такт между наружной поверхностью труб и ребрами обеспечивается протяжкой внутри трубы стального шарика, несколько большего диаметра, чем диаметр трубы.

В результате такой технологической обработки, получившей название «дорнование», наружный диаметр трубы секции увеличивается и прочно соединяется с ребром. Для дополнительного контакта и защиты от коррозии осуществляют оцинковку или омеднение — покрытие секции снаружи тонким слоем цинка или меди (толщина слоя 15... 20 мкм). Секции соединяют в пакет и помещают в корпус. Трубки смежных секций смещены на половину шага, образуя в направлении движения воздуха шахматное расположение. Подвод

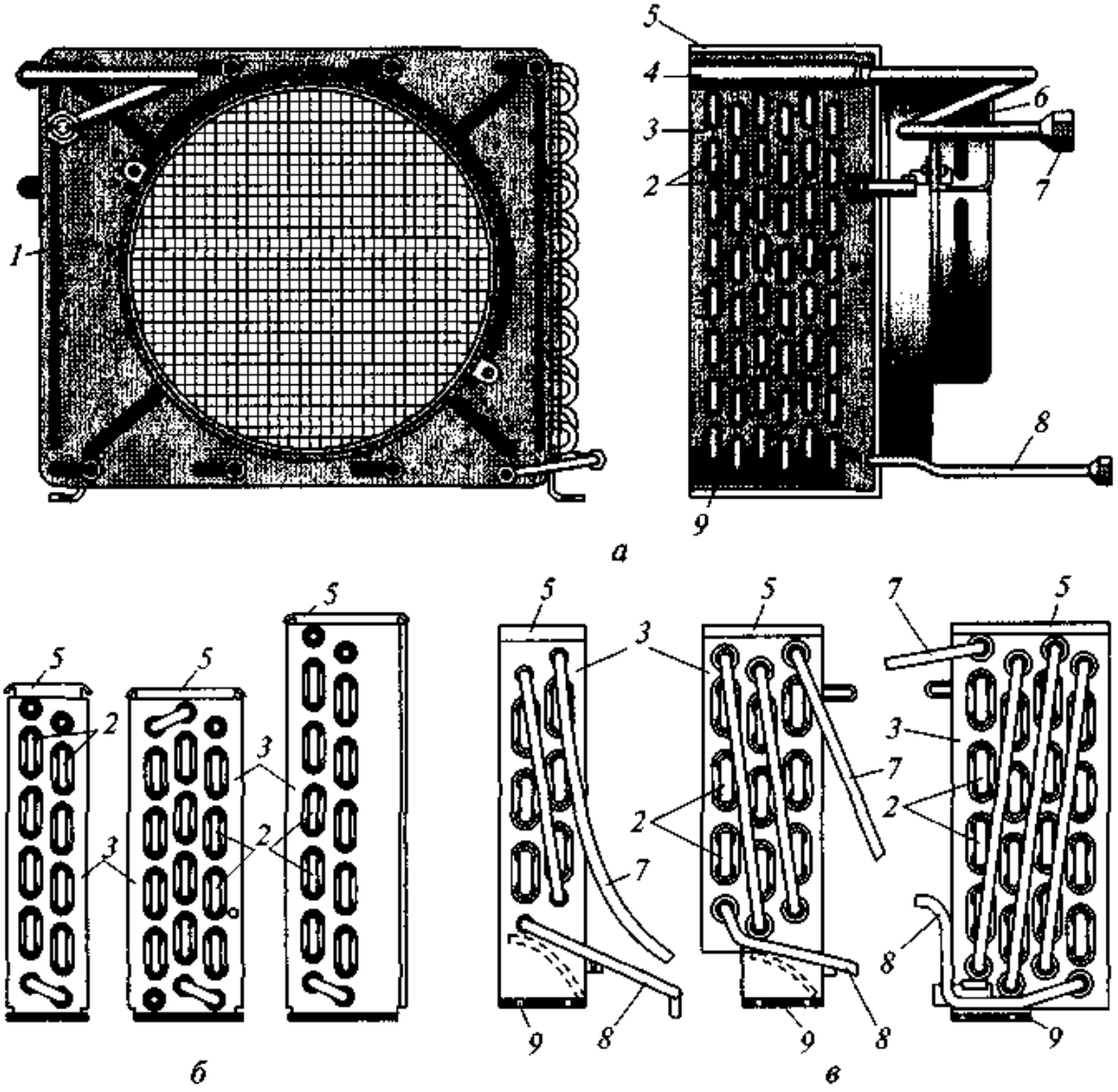



Рис. 6.10. Конденсатор с принудительным движением воздуха:

*а* — с параллельным соединением секций; *б* — с последовательным соединением секций; *в* — с последовательно-параллельным соединением секций (вентилятор не показан); *1* — основание вентилятора; *2* — U-образные трубки секций; *3* — боковина корпуса; *4* — коллектор газообразного хладагента; *5* — крышка корпуса; *6* — диффузор вентилятора; *7* — трубопровод подвода хладагента; *8* — трубопровод отвода жидкого хладагента; *9* — кронштейн крепления

хладагента к секциям осуществляется через трубопровод *7* и верхний коллектор *4* газообразного хладагента. Общий коллектор для всех секций обеспечивает параллельное распределение хладагента. По трубопроводу *8* жидкий хладагент отводится из конденсатора.

Конденсаторы герметичных холодильных агрегатов (рис. 6.10, *б, в*) имеют аналогичную конструкцию и максимально унифицированы. Секции конденсаторов набирают из U-образных стальных труб диаметром 12×1 мм с шагом расположения труб 26 мм. На наружную поверхность труб насаживаются стальные ребра из полосы толщиной 0,3 мм с шагом 3,5 мм. В зависимости от размеров конденсаторов различают 8- или 20-трубные секции. Конденсатор собирают из секций с шахматным расположением труб по ходу воздуха. Секции соединяют последовательно (*б*) или параллельно (*в*) калачами.

*Конденсаторы с водяным охлаждением* более компактны по сравнению с конденсаторами воздушного охлаждения. Отсутствие вентилятора существенно снижает уровень шума работы всей холодильной машины. Недостатком этих конденсаторов является потребность в проточной водопроводной воде, которая после подогрева за счет отведенной от хладагента теплоты сливается в канализацию. Системы оборотного водоснабжения позволяют существенно снизить расход воды.

В холодильных машинах предприятий торговли и питания чаще всего используются кожухозмеевиковые конденсаторы. Эти конденсаторы являются составными элементами агрегатов с бессальниковыми и сальниковыми (открытыми) компрессорами.

Конденсатор КТР-3 кожухозмеевиковой конструкции с водяным охлаждением показан на рис. 6.11. Кожух *3* конденсатора изготовлен из цельнотянутой стальной трубы, один торец которой заканчивается приваренным стальным сферическим днищем. С другой стороны кожуха предусмотрен фланец для крепления трубной решетки *2* и крышки *1*. В стальной трубной решетке *2* развальцо-

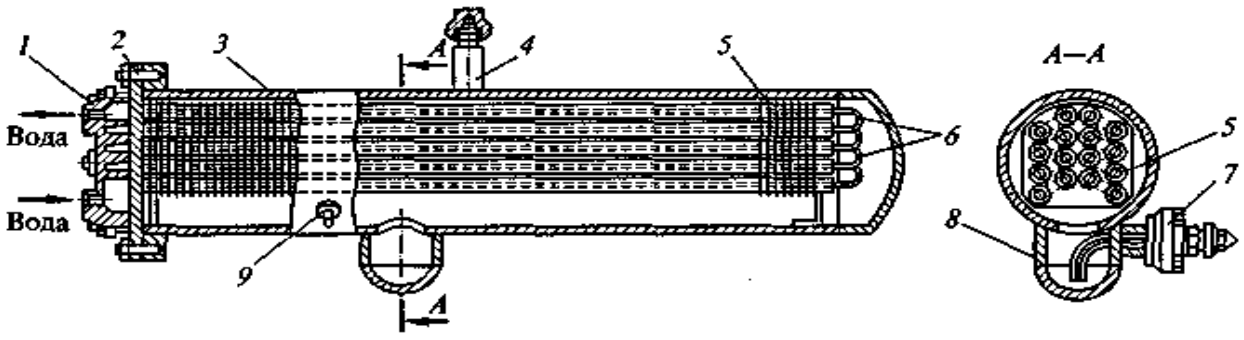



Рис. 6.11. Кожухозмеевиковый конденсатор:

*1* — крышка; *2* — трубная решетка; *3* — кожух; *4* — штуцер подвода газообразного хладагента; *5* — оребренная теплообменная поверхность; *6* — калачи; *7* — запорный вентиль; *8* — сборник жидкого хладагента; *9* — легкоплавкая пробка

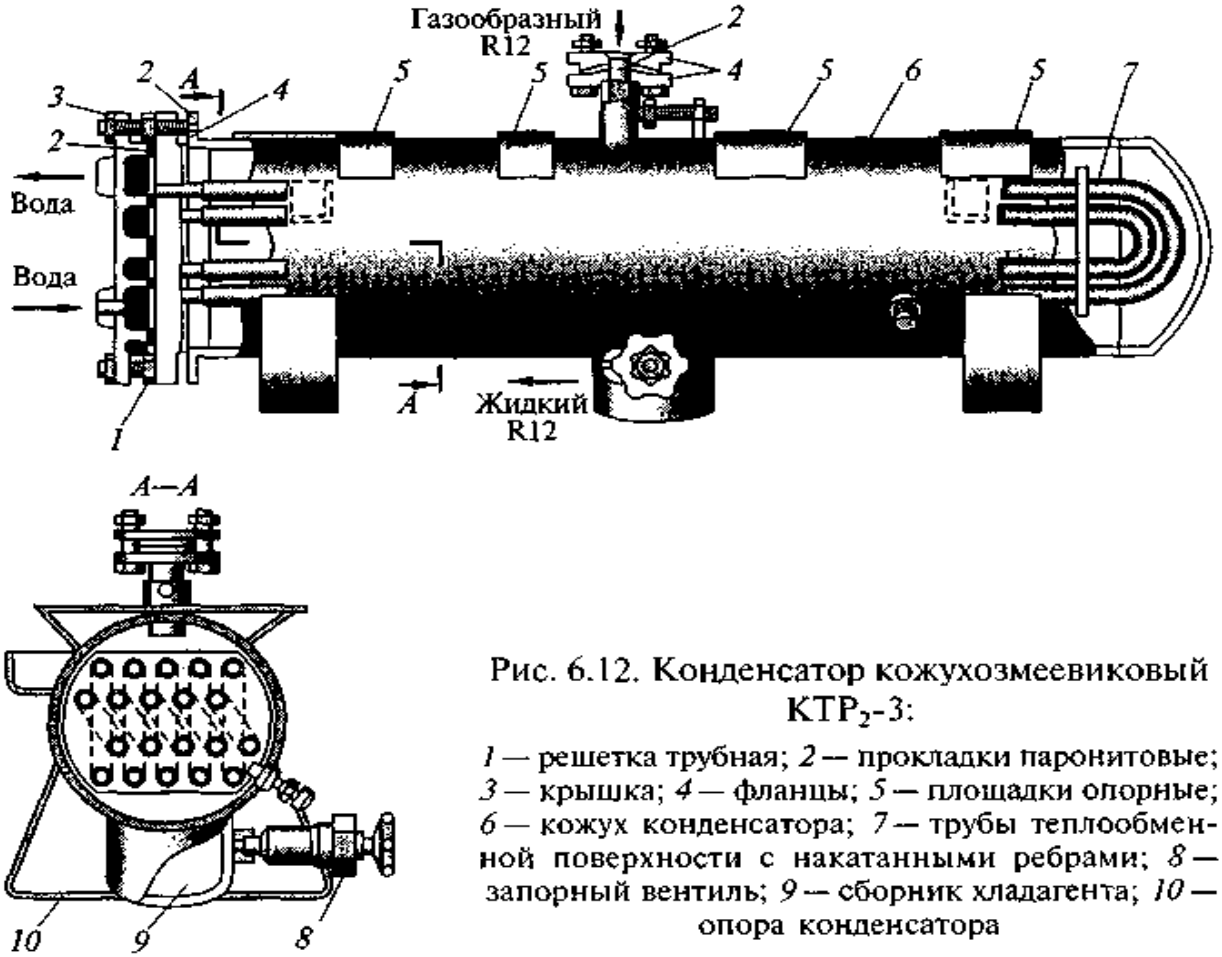



Рис. 6.12. Конденсатор кожухозмеевиковый $КТР_2$-3:

*1* — решетка трубная; *2* — прокладки паронитовые; *3* — крышка; *4* — фланцы; *5* — площадки опорные; *6* — кожух конденсатора; *7* — трубы теплообменной поверхности с накатанными ребрами; *8* — запорный вентиль; *9* — сборник хладагента; *10* — опора конденсатора

ваны свободные концы U-образных труб. Количество пар труб может составлять от 8 до 14. На наружной поверхности труб могут размещаться пластинчатые ребра. Применяются также медные трубы с накатанными ребрами. Трубы теплообменной поверхности размещают в верхней части кожуха *3*, так как нижняя часть используется в качестве ресивера — емкости для жидкого хладагента. Трубопровод для отвода жидкого агента размещен в специальном стакане — сборнике хладагента и оснащен запорным вентилем *7*.

В боковой стенке кожуха *3* предусмотрено резьбовое отверстие, в котором установлена пробка *9*. Внутренняя часть пробки изготовлена из легкоплавкого материала, который при температуре свыше 70 °С разрушается и через пробку хладагент выпускается в атмосферу, предотвращая разрушение кожуха *3* конденсатора.

Вода подводится к нижнему патрубку крышки *1*, совершает четыре хода по трубкам теплообменной поверхности и отводится из конденсатора через верхний патрубок крышки *1*.

В некоторых конструкциях кожухозмеевиковых конденсаторов (рис. 6.12) предусмотрены опоры *10* для установки на постамент или фундамент. В верхней части кожуха *6* размещены опорные площадки *5* для установки компрессора и приводного электродвигателя (на рис. не показаны).

## 6.3. Регенеративные теплообменники

В холодильных машинах, работающих на фреонах (хладонах) и обслуживающих холодильные камеры предприятий торговли и питания, используется еще один вид теплообменных аппаратов — регенеративный теплообменник. В данном аппарате происходит теплообмен между двумя потоками хладагента. Жидкий хладагент высокого давления после конденсатора охлаждается (и переохлаждается) потоком парообразного хладагента, выходящего из испарителя холодильной машины.

Переохлаждение жидкого хладагента после конденсатора и перед дросселирующим устройством приводит к уменьшению доли паровой фазы после дросселирования, повышает эффективность работы испарителя и холодильной машины в целом.

Перегрев паров хладагента после испарителя и перед всасыванием в компрессор исключает влажный ход компрессора, повышает производительность компрессора и действительную холодопроизводительность машины.

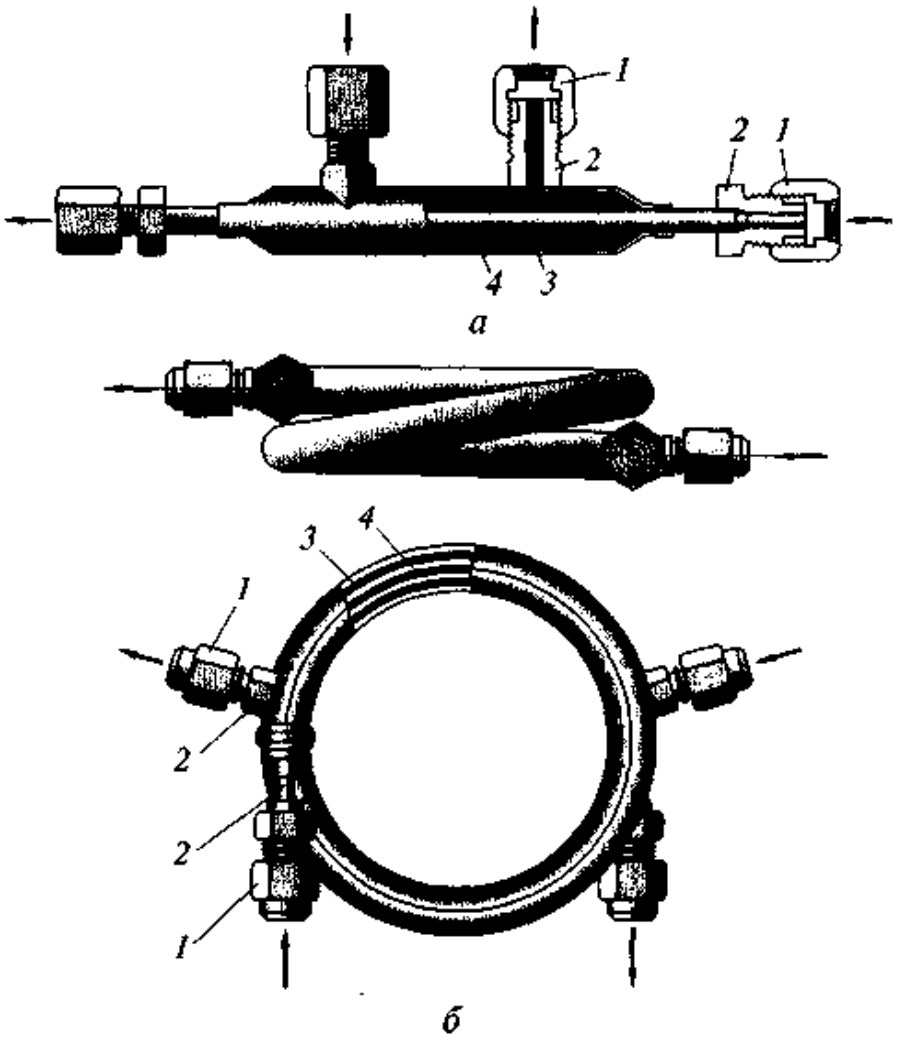



Рис. 6.13. Регенеративные теплообменники типа «труба в трубе»:

*1* — накидные гайки; *2* — штуцеры подвода и отвода хладагента; *3* — внутренняя труба; *4* — наружная труба

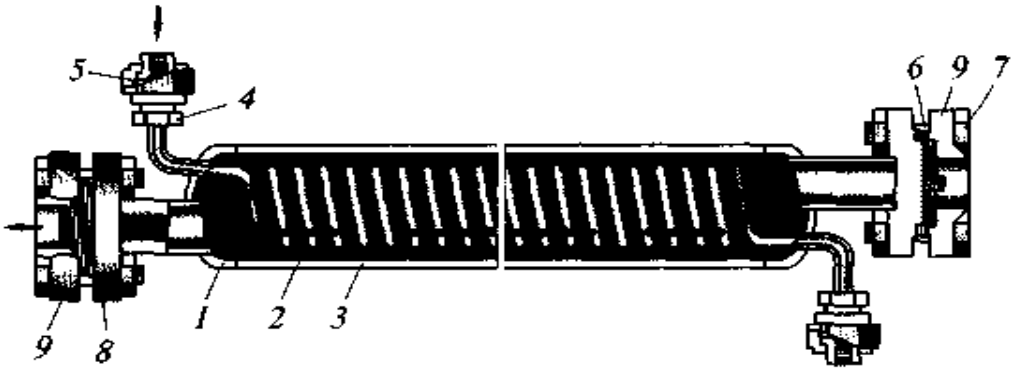



Рис. 6.14. Кожухозмеевиковый регенеративный теплообменник (типа ТФ):
*1* — сферическое донышко; *2* — змеевик; *3* — обечайка; *4* — штуцер; *5* — накидная гайка; *6* — прокладка; *7* — болт; *8*, *9* — фланцы

Одной из конструкций регенеративных теплообменников является аппарат типа «труба в трубе» (рис. 6.13). Жидкий хладагент движется по внутренней трубе *3*, а парообразный — в кольцевом зазоре между внутренней *3* и наружной *4* трубами. Для подсоединения аппарата к трубопроводам жидкого и газообразного хладагента предусмотрены штуцеры *2* с накидными гайками *1*. Теплообменный аппарат может иметь форму цилиндра (*а*) или быть свернут в кольцо для компактности (*б*).

Регенеративные теплообменные аппараты кожухозмеевиковой конструкции (типа ТФ) применяют в холодильных машинах производительностью свыше 3,5 кВт. Теплообменник (рис. 6.14) состоит из обечайки *3*, к которой приварены два сферических донышка *1*. Внутри обечайки размещен змеевик *2* из тонкой трубки. Жидкий хладагент течет внутри трубы змеевика, а парообразный хладагент — в межтрубном пространстве. Для присоединения к трубопроводам жидкого и газообразного хладагента предусмотрены штуцеры *4* и фланцы *8*, *9*.

## 6.4. Вспомогательная аппаратура

Помимо основных элементов холодильной машины существует определенный класс устройств, создающих благоприятные условия для длительной и бесперебойной работы холодильных установок или холодильного оборудования. Наличие вспомогательных устройств приводит также к повышению экономичности работы, увеличению сроков межремонтного обслуживания.

К вспомогательной аппаратуре фреоновых холодильных машин малой производительности относятся ресиверы, отделители жидкости, фильтры-осушители, вентиляторы.

Аммиачные холодильные машины оснащаются маслоотделителями и маслосборниками, переохладителями, воздухоохладителями, ресиверами и другим оборудованием. Для холодильных

систем с принудительной циркуляцией хладагента применяют циркуляционный насос. Независимо от типа холодильной машины и системы охлаждения для работы необходима арматура — вентили, задвижки, клапаны.

Наличие системы оборотного водоснабжения требует дополнительного вспомогательного оборудования для циркуляционной (оборотной) воды.

Состав вспомогательной аппаратуры малых холодильных машин, используемых на предприятиях торговли и питания, невелик и к ней относятся: фильтры-осушители, отделители жидкости, ресиверы.

В качестве хладагентов малых холодильных машин используются преимущественно фреоны (хладоны) — R12, R22, R502, R134a и др. Эти хладагенты в воде практически не растворяются, и вода, попадая в дросселирующее устройство, может замерзнуть, закупорить отверстие дросселирующего устройства и временно остановить работу холодильной машины. Для обеспечения бесперебойной работы холодильной машины на линии жидкого хладагента перед дросселирующим устройством устанавливают фильтр-осушитель.

При монтаже холодильной машины (пайка, сборка) возможно попадание механических включений во внутреннюю полость.

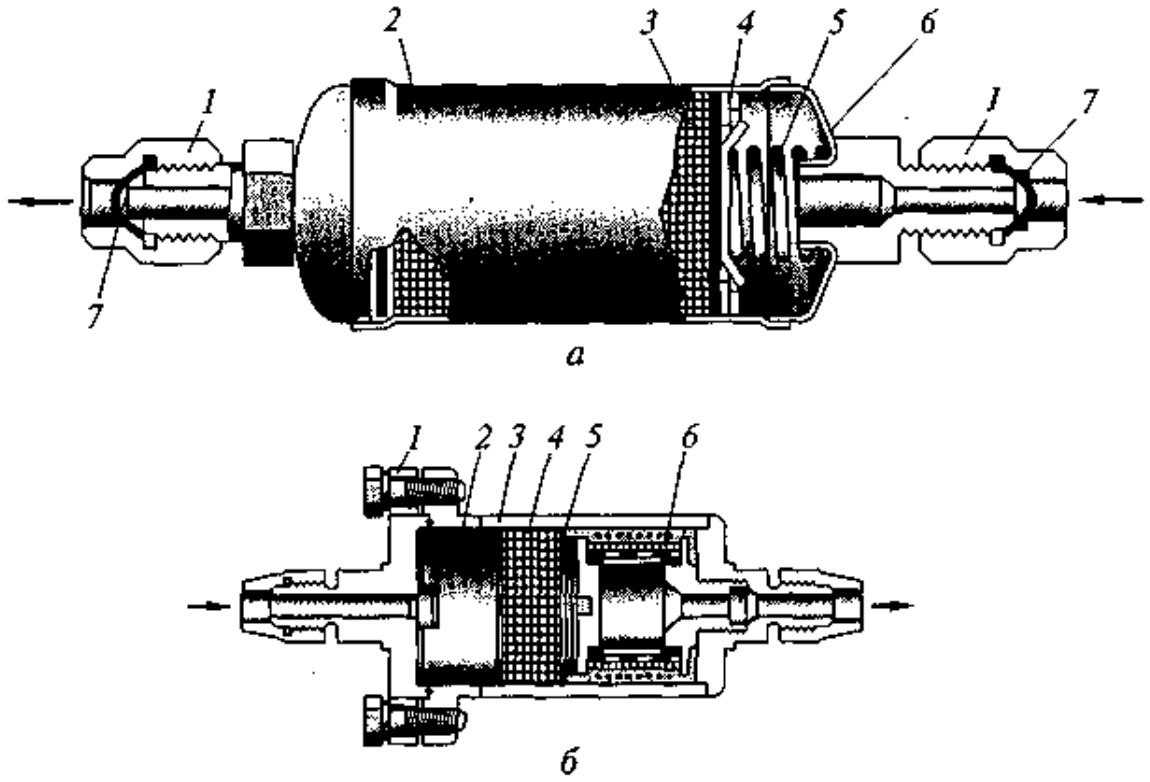



Рис. 6.15. Фильтры-осушители:

*а* — неразборный, типа ФО: *1* — штуцера с накидными гайками; *2* — корпус; *3* — *поглотитель (цеолит синтетический)*; *4* — *распределитель потока хладагента*; *5* — прижимная пружина; *6* — крышка; *7* — заглушка; *б* — разборный, типа Ф: *1* — крышка; *2* — пружина; *3* — корпус; *4* — поглотитель (силикагель); *5* — латунная сетка; *6* — фильтр тонкой очистки

Это может быть окалина, ржавчина, песок и другие предметы. Во избежание этого жидкий хладагент перед дросселированием фильтруют. Для фильтрации фреонов используют медные или латунные сетки с мелкой ячейкой (для грубой очистки) и асбестовую ткань, сукно, замшу (для тонкой очистки).

Удаление влаги (осушку) из жидкого хладагента осуществляют специальными твердыми поглотителями — адсорбентами. Эти вещества способны поглощать воду и не поглощать жидкий хладагент. В качестве адсорбентов используют: силикагель, алюмогель, цеолит.

На практике фильтр и осушитель объединяют в одну конструкцию (рис. 6.15). Различают неразборные и разборные конструкции фильтров-осушителей.

Неразборный фильтр-осушитель (рис. 6.15, *а*) состоит из корпуса *2*, к которому припаяны крышки *6* с резьбовыми штуцерами *1* для присоединения к трубопроводам жидкого хладагента. В корпусе между двумя механическими фильтрами засыпан адсорбент — синтетический цеолит NaA-2КТ. Один из механических фильтров снабжен распределителем *4* потока, прижимаемым к слою адсорбента пружиной.

В фильтрах-осушителях разборной конструкции (рис. 6.15, *б*) слой адсорбента-силикагеля помещается между двумя фильтрующими элементами из латунных сеток *5* и уплотняется с помощью пружины *2*. Окончательная очистка жидкого хладагента от механических примесей осуществляется в фильтре *6* тонкой очистки.

Поглотители (силикагель, цеолит, алюмогель) способны адсорбировать влагу из воздуха. Поэтому фильтры осушители до установки в холодильную машину должны храниться с заглушками *7* (см. рис. 6.15, *а*). Восстановить адсорбционные способности поглотителей влаги можно нагревом адсорбента до 280...300 °С в течение нескольких часов.

Испарители холодильных машин требуют (периодически) удаления с их поверхности снеговой шубы. Этот процесс, получивший название «оттаивание испарителей», может быть осуществлен разными методами и способами. Один из них — подача в испаритель горячих паров хладагента из компрессора. Нагрев теплообменной поверхности испарителя приводит к таянию снеговой шубы, а хладагент, отдав теплоту на таяние снеговой шубы, частично конденсируется. Если не предусмотреть дополнительных мер, то жидкий хладагент из испарителя попадает на всасывание в компрессор и может произойти гидравлический удар и поломка компрессора.

Для обеспечения надежной работы холодильной машины на линии всасывания компрессора устанавливают вспомогательное устройство — *отделитель жидкости* (рис. 6.16).

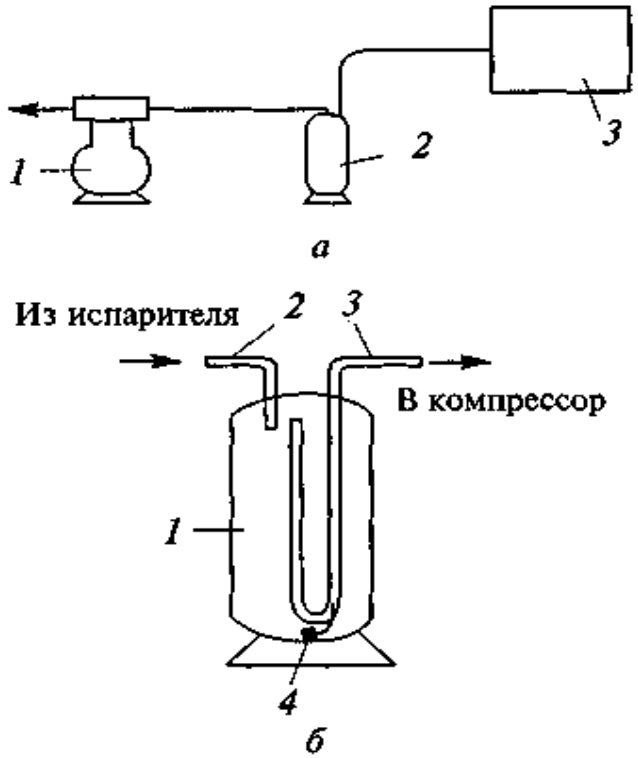



Рис. 6.16. Отделитель жидкости:

*а* — схема включения: *1* — компрессор; *2* — отделитель жидкости; *3* — испаритель; *б* — конструкция отделителя жидкости: *1* — корпус; *2, 3* — подводящий и отводящий патрубки; *4* — дозирующая трубка с масляным фильтром

В процессе оттайки испарителя жидкий хладагент с примесью смазочного масла собирается в нижней части корпуса *1* отделителя жидкости (рис. 6.16, *б*). После переключения холодильной машины в обычный режим работы собранный хладагент за счет теплопритоков испаряется и на линию всасывания компрессора подается хладагент только в парообразном состоянии.

Из собранной в нижней части корпуса *1* смеси хладагента с маслом выкипает только хладагент. Остающееся в корпусе масло необходимо возвратить в компрессор для смазки. Для возврата масла предусмотрена специальная дозирующая трубка *4* с масляным фильтром, обеспечивающая капельную подачу масла во всасывающий трубопровод и возврат масла в картер компрессора.

Существует большое число конструкций отделителей жидкости, некоторые из которых одновременно являются и регенеративными теплообменниками.

В малых холодильных машинах используются линейные *ресиверы*, устанавливаемые после конденсатора и предназначенные для создания запаса жидкого хладагента для бесперебойной работы холодильной машины.

Создаваемый в ресивере запас хладагента может обеспечить длительную работу холодильной машины при незначительных утечках. Переменные тепловые нагрузки на холодильную машину сопряжены с изменением расхода хладагента через испаритель. Запас хладагента в ресивере обеспечит бесперебойную работу холодильной машины.

В процессе транспортирования или ремонта в объем ресивера и конденсатора собирают хладагент из контура холодильной машины.

Вместимость ресивера определяется количеством хладагента, находящегося в контуре холодильной машины. Количество жидкого хладагента в машине должно занимать меньший объем, чем объем конденсатора и ресивера. По правилам техники безопасно-

сти норма заполнения хладагентом машины не должна превышать 1100 кг/м$^3$ для R12 и 1000 кг/м$^3$ для R22.

Конструктивно различают горизонтальные и вертикальные ресиверы. Горизонтальные ресиверы агрегатов с сальниковыми и бессальниковыми компрессорами используют как основания для установки компрессора и приводного электродвигателя.

Вертикальные ресиверы входят в состав герметичных компрессорно-конденсаторных агрегатов и монтируются на общей раме. Холодильные машины, имеющие в своем составе конденсатор с водяным охлаждением, ресиверами не оснащаются. В этом случае функцию ресивера выполняет нижняя часть конденсатора, в которой собирается жидкий хладагент.

Горизонтальный ресивер (рис. 6.17, *а*) состоит из корпуса *11*, к которому приварены две сферические крышки. На одной из них установлен запорный вентиль для отсечения ресивера от остальных элементов холодильной машины. Трубопровод подвода жидкого хладагента из конденсатора в ресивер на рис. 6.17, *а* не показан.

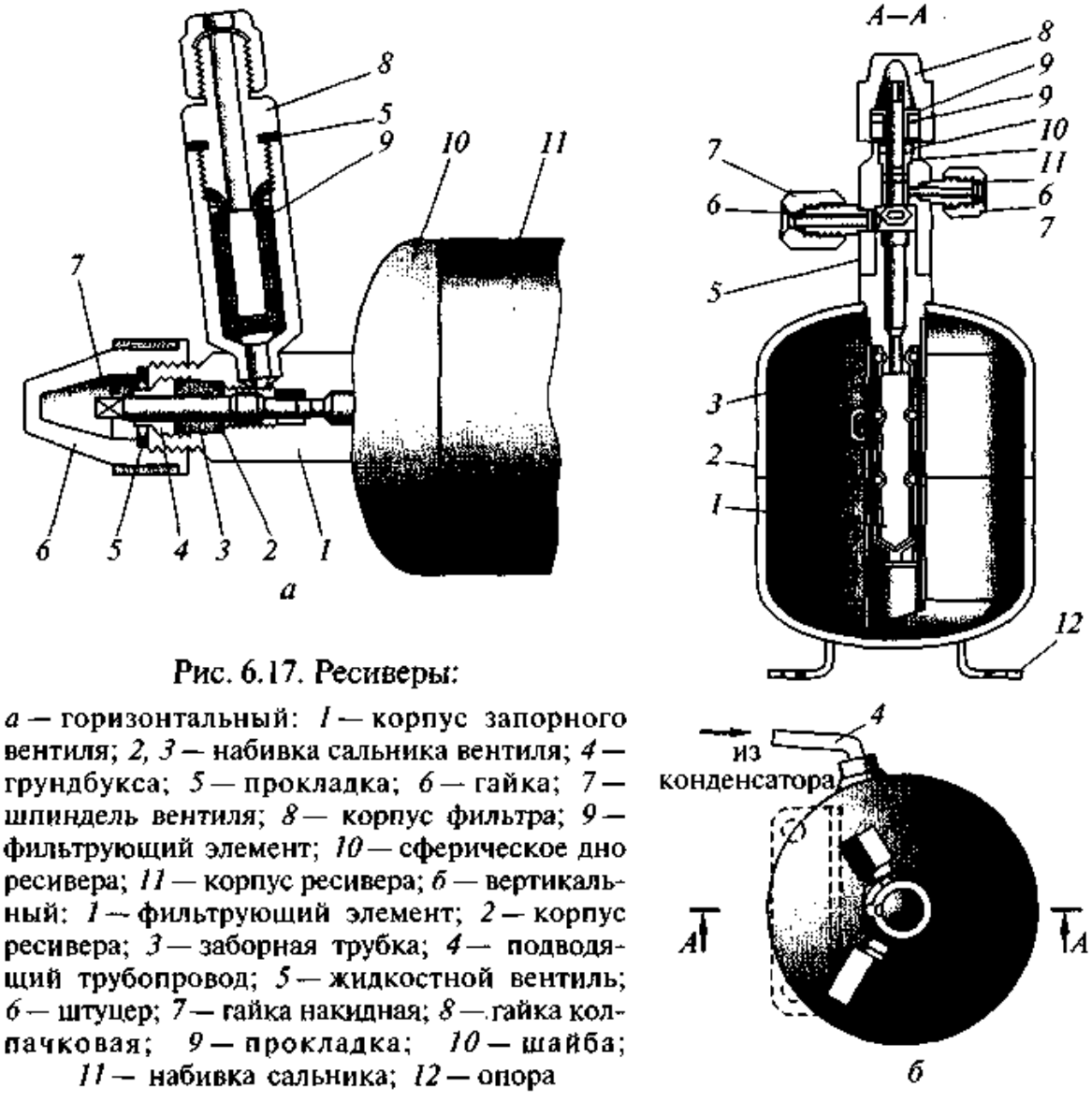



Рис. 6.17. Ресиверы:

*а* — горизонтальный: *1* — корпус запорного вентиля; *2, 3* — набивка сальника вентиля; *4* — грундбукса; *5* — прокладка; *6* — гайка; *7* — шпиндель вентиля; *8* — корпус фильтра; *9* — фильтрующий элемент; *10* — сферическое дно ресивера; *11* — корпус ресивера; *б* — вертикальный: *1* — фильтрующий элемент; *2* — корпус ресивера; *3* — заборная трубка; *4* — подводящий трубопровод; *5* — жидкостной вентиль; *6* — штуцер; *7* — гайка накидная; *8* — гайка колпачковая; *9* — прокладка; *10* — шайба; *11* — набивка сальника; *12* — опора

Вертикальные ресиверы (рис. 6.17, *б*) более компактны и устанавливаются на общей раме герметичного компрессорно-конденсаторного агрегата. Ресивер состоит из двух штампованных половин, соединенных герметично электросваркой. В верхней части ресивера имеется жидкостной вентиль с заборной трубкой *3*. В ней устанавливается фильтрующий элемент *1* для очистки жидкого хладагента от механических включений.

## 6.5. Агрегаты холодильных машин

Агрегатом называется конструктивное объединение нескольких (или всех) элементов холодильной машины, размещенных на одной общей раме, станине, одном из элементов. В зависимости от того, какие элементы холодильной машины объединены в агрегате, они получают соответствующее название. Современное холодильное оборудование представлено следующими агрегатами: компрессорным, компрессорно-конденсаторным, аппаратным (испарительно-конденсаторный), моноблочным (объединены все элементы холодильной машины).

В малых холодильных машинах в основном используются компрессорно-конденсаторные агрегаты и начинают применяться моноблочные холодильные машины.

В зависимости от исполнения компрессора компрессорно-конденсаторные агрегаты подразделяются на агрегаты: с сальниковыми компрессорами, с бессальниковыми (полугерметичными) и герметичными компрессорами.

По принципу действия компрессора компрессорно-конденсаторные агрегаты подразделяются на агрегаты с поршневыми компрессорами и с ротационными компрессорами.

По способу охлаждения конденсатора различают компрессорно-конденсаторные агрегаты с воздушным, водяным и комбинированным охлаждением.

Температурный диапазон работы холодильной машины также определяет вид компрессорно-конденсаторного агрегата: среднетемпературный, низкотемпературный, высокотемпературный.

Компрессорно-конденсаторные агрегаты подразделяют по виду хладагента: работающие на R12, R22, R502 и R134a.

Компрессорно-конденсаторный агрегат малой холодильной машины собирается на общей раме или станине и включает в себя следующие элементы: компрессор с электродвигателем; конденсатор (с воздушным или водяным охлаждением); ресивер; фильтр-осушитель; соединительные трубопроводы, запорные вентили; реле давления; электропусковую аппаратуру.

Агрегаты с герметичными компрессорами дополнительно оснащаются вентилятором с электродвигателем для создания потока воздуха через конденсатор.

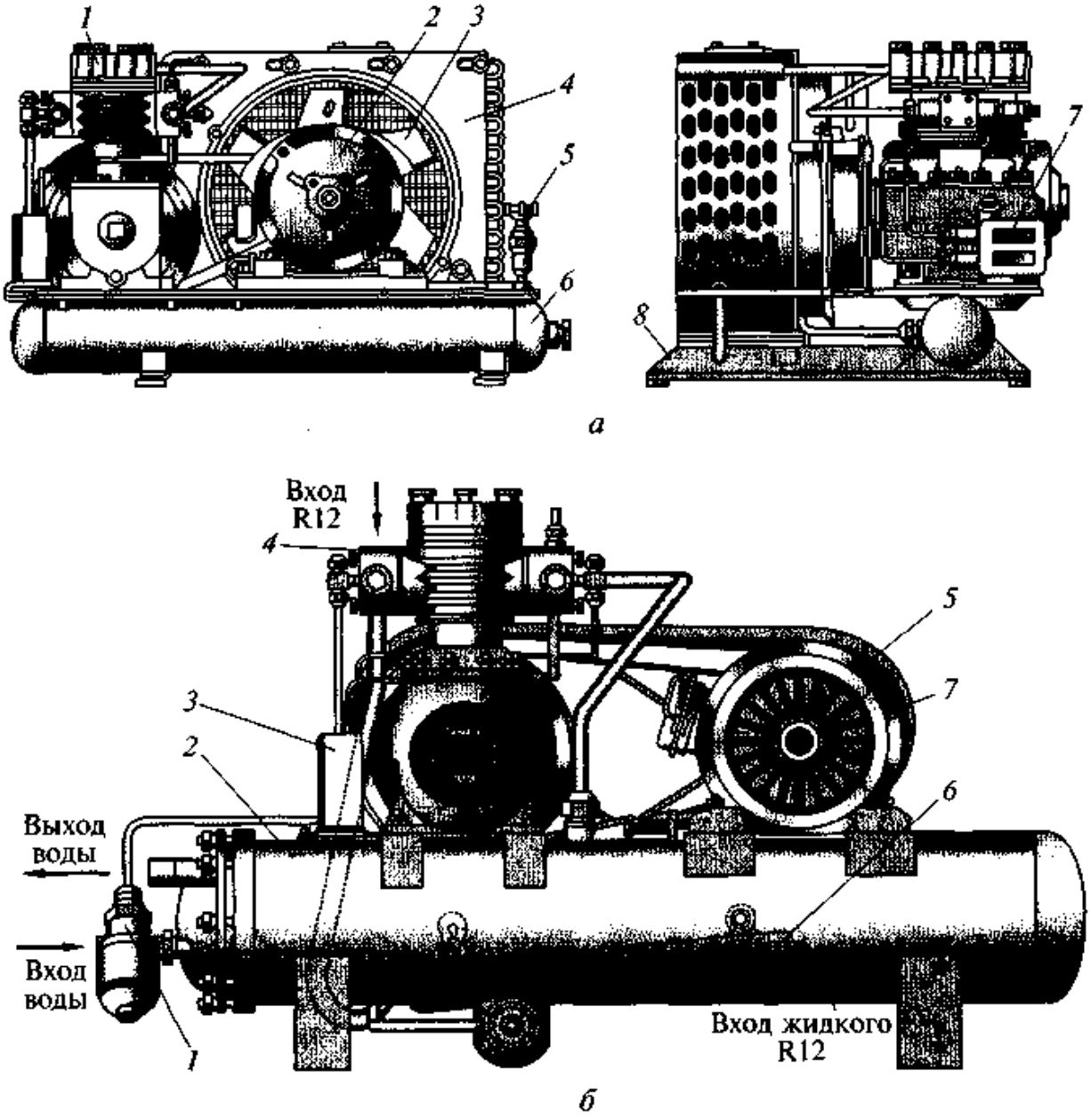
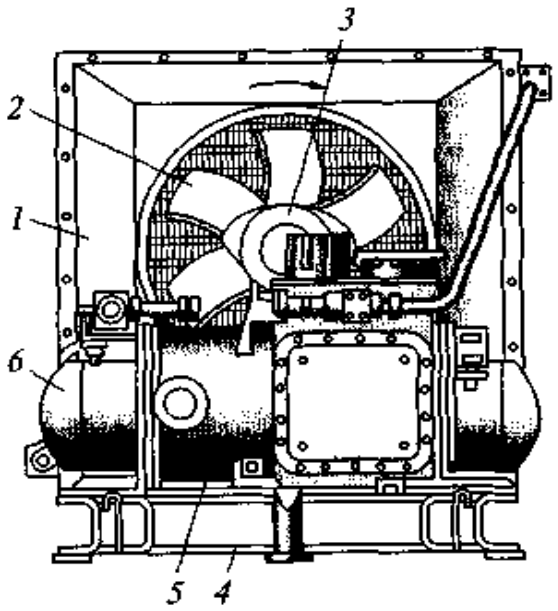


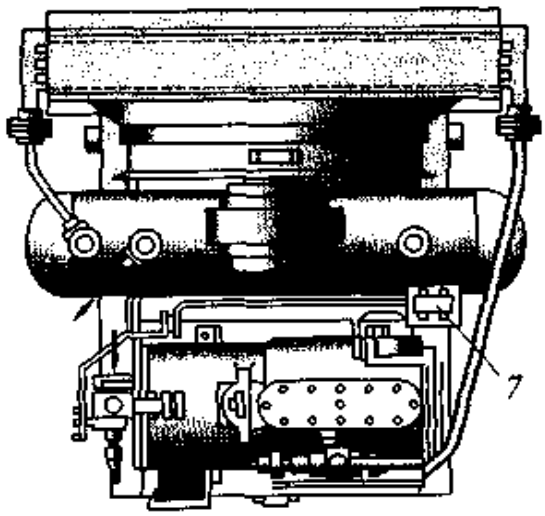

Рис. 6.18. Компрессорно-конденсаторные агрегаты с сальниковыми компрессорами:

*а* — агрегат 4Ф-ОО с воздушным охлаждением конденсатора: *1* — компрессор; *2* — электродвигатель; *3* — крыльчатка вентилятора; *4* — конденсатор; *5* — запорный вентиль; *6* — ресивер; *7* — реле давления; *8* — сварная рама; *б* — агрегат АКФВ-4М с водяным охлаждением конденсатора: *1* — вентиль водорегулирующий; *2* — конденсатор; *3* — реле давления; *4* — компрессор; *5* — электродвигатель; *6* — теплообменник; *7* — защитный кожух

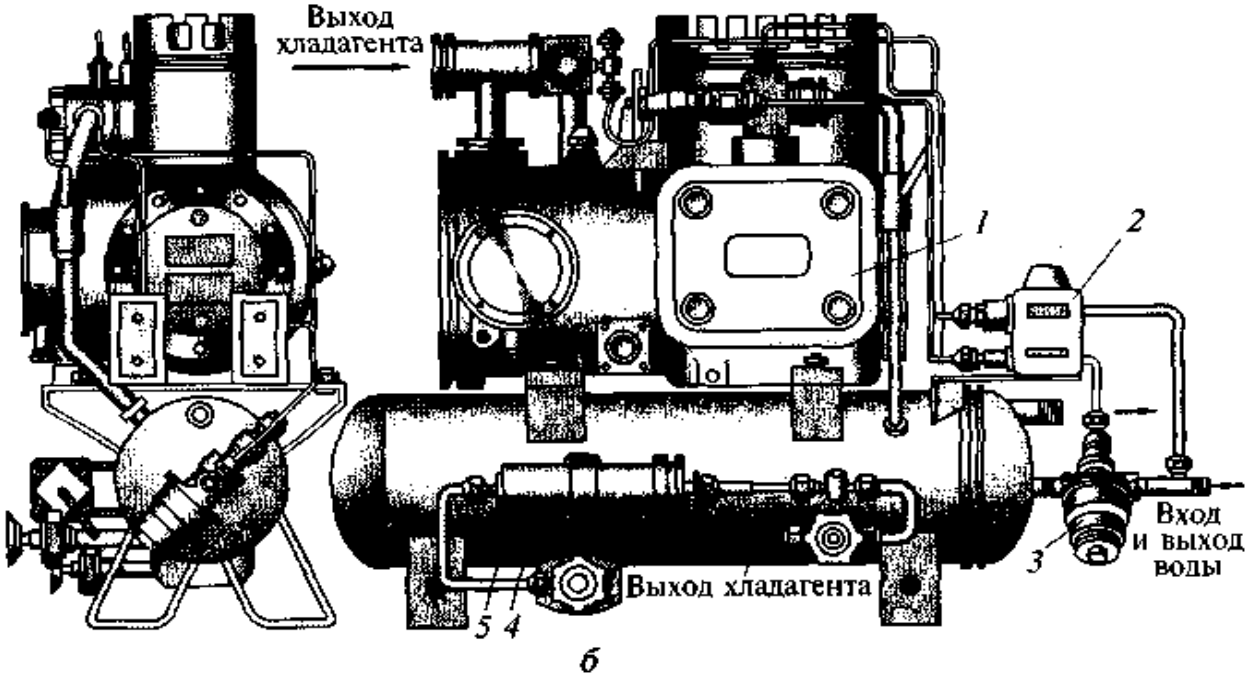
В состав компрессорно-конденсаторного агрегата с водяным охлаждением конденсатора входит дополнительный прибор холодильной автоматики — водорегулирующий вентиль.

*Компрессорно-конденсаторные агрегаты с сальниковыми компрессорами* оснащаются конденсаторами с воздушным и водяным охлаждением. Они входят в состав холодильных машин для охлаждения продуктовых камер предприятий торговли и питания.




*а*




*б*

**Рис. 6.19. Компрессорно-конденсаторные агрегаты с бессальниковыми компрессорами:**

*а* — агрегат АКВ1-6 с воздушным охлаждением конденсатора: *1* — конденсатор; *2* — вентилятор; *3* — электродвигатель вентилятора; *4* — сварная рама; *5* — бессальниковый компрессор; *6* — ресивер; *7* — реле давления; *б* — агрегат АК4,5-1-2 с водяным охлаждение конденсатора: *1* — компрессор; *2* — реле давления; *3* — водорегулирующий вентиль; *4* — фильтр-осушитель; *5* — конденсатор

Агрегат с воздушным охлаждением конденсатора (рис. 6.18, *а*) состоит из сальникового компрессора *1*, приводного электродвигателя *2*, конденсатора *4* и ресивера *6*, установленных на сварной раме *8*. Крыльчатка *3* вентилятора в конденсаторе с воздушным охлаждением установлена на валу электродвигателя. Вращение с вала электродвигателя на вал компрессора передается клиноременной передачей. Ресивер *6* оснащен запорным вентилем *5* на линии жидкого хладагента. Управление работой компрессора и защита осуществляются реле давления *7*.

Компрессорно-конденсаторный агрегат с водяным охлаждением конденсатора (рис. 6.18, *б*) состоит из сальникового компрессора *4*, приводимого в действие от электродвигателя *5* через клиноременную передачу. Компрессор, электродвигатель и защитный кожух *7* смонтированы на корпусе конденсатора *2* на специальных площадках. В нижней части корпуса конденсатора предусмотрены кронштейны (лапы) для установки агрегата на фундаменте. В состав агрегата включен регенеративный теплообменник *6*, реле давления *3*, водорегулирующий вентиль *1* и соединительные трубопроводы.

*Компрессорно-конденсаторные агрегаты с бессальниковыми компрессорами* используются в составе холодильных машин для охлаждения стационарных продуктовых камер на предприятиях торговли и питания.

Компрессорно-конденсаторный агрегат с воздушным охлаждением конденсатора (рис. 6.19, *а*) состоит из поршневого бессальникового компрессора *5*, конденсатора *1* с вентилятором *2*, смонтированных на сварной раме *4*. На ней установлен также и ресивер *6*. Агрегат оснащен реле давления, запорной и соединительной арматурой. Работа электродвигателя вентилятора и работа электродвигателя компрессора между собой не связаны. При остановке электродвигателя компрессора электродвигатель вентилятора продолжает работать.

Компрессорно-конденсаторный агрегат АК4,5-1-2 (рис. 6.19, *б*) с водяным охлаждением конденсатора предназначен для работы в составе холодильной машины для централизованного холодоснабжения продовольственных магазинов типа «Универсам». В состав агрегата, смонтированного на корпусе конденсатора *5*, входит компрессор *1*, фильтр-осушитель *4* и приборы холодильной автоматики: реле давления *2* и водорегулирующий вентиль *3*. Агрегат монтируется на фундаменте на лапах, размещенных в нижней части корпуса конденсатора.

*Компрессорно-конденсаторные агрегаты с герметичными компрессорами* выпускаются в виде унифицированного ряда холодопроизводительностью 0,27... 1,28 кВт. Агрегаты оснащаются герметичными компрессорами с частотой вращения вала 25 и 50 $с^{-1}$ в среднетемпературном (ВС), высокотемпературном (ВВ) и низкотемпературном (ВН) исполнениях.

Агрегаты ВСр и ВВр оснащаются ротационными компрессорами, а агрегат ВСэ — поршневым компрессором с электродвигателем с вынесенным экранированным статором.

Режим длительной работы агрегатов рассчитан на температуру конденсации хладагента не выше 55 °С, что соответствует температуре охлаждающего конденсатор воздуха не выше 45 °С.

Узлы агрегатов предельно унифицированы по размерам, что позволяет осуществлять для всех исполнений и модификаций единую компоновку, упрощающую эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт.

В состав агрегата (рис. 6.20) входит герметичный компрессор *4*, ребристотрубный конденсатор *1* с воздушным охлаждением, вентилятор с электродвигателем *6* и диффузором *2*. Все элементы агрегата монтируются на стальной штампованной раме *7* и соединяются трубопроводами. Предусмотрены запорные вентили на линии всасывания в компрессор и на выходе из ресивера.

Разновидностью агрегатов с герметичными компрессорами является агрегат типа ВСэ, предназначенный для оснащения торгового холодильного оборудования. Особенностью агрегата данного типа (рис. 6.21) является то, что в качестве привода компрессора *1* применен вынесенный экранированный электродвигатель. Статор элек-

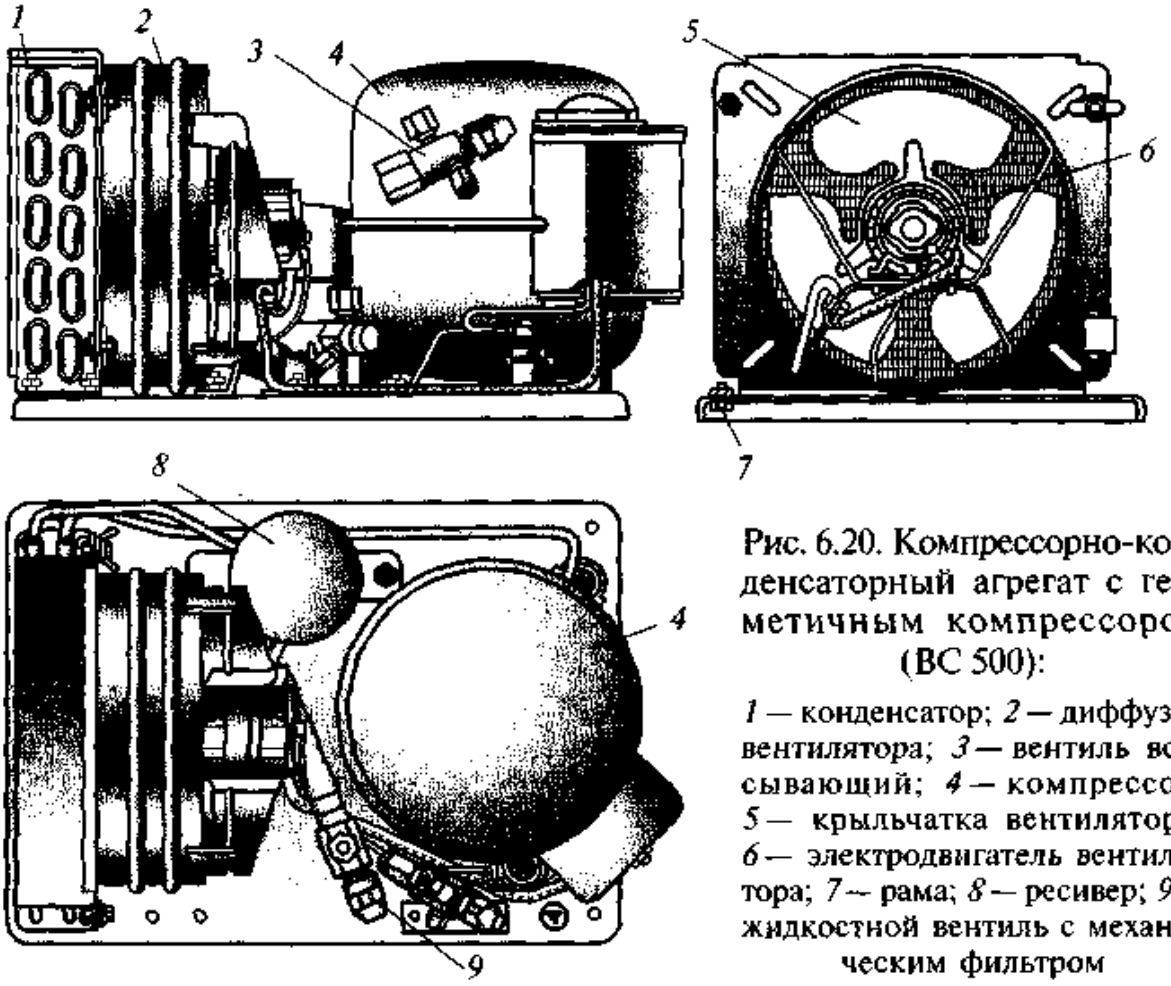



Рис. 6.20. Компрессорно-конденсаторный агрегат с герметичным компрессором (ВС 500):

*1* — конденсатор; *2* — диффузор вентилятора; *3* — вентиль всасывающий; *4* — компрессор; *5* — крыльчатка вентилятора; *6* — электродвигатель вентилятора; *7* — рама; *8* — ресивер; *9* — жидкостной вентиль с механическим фильтром

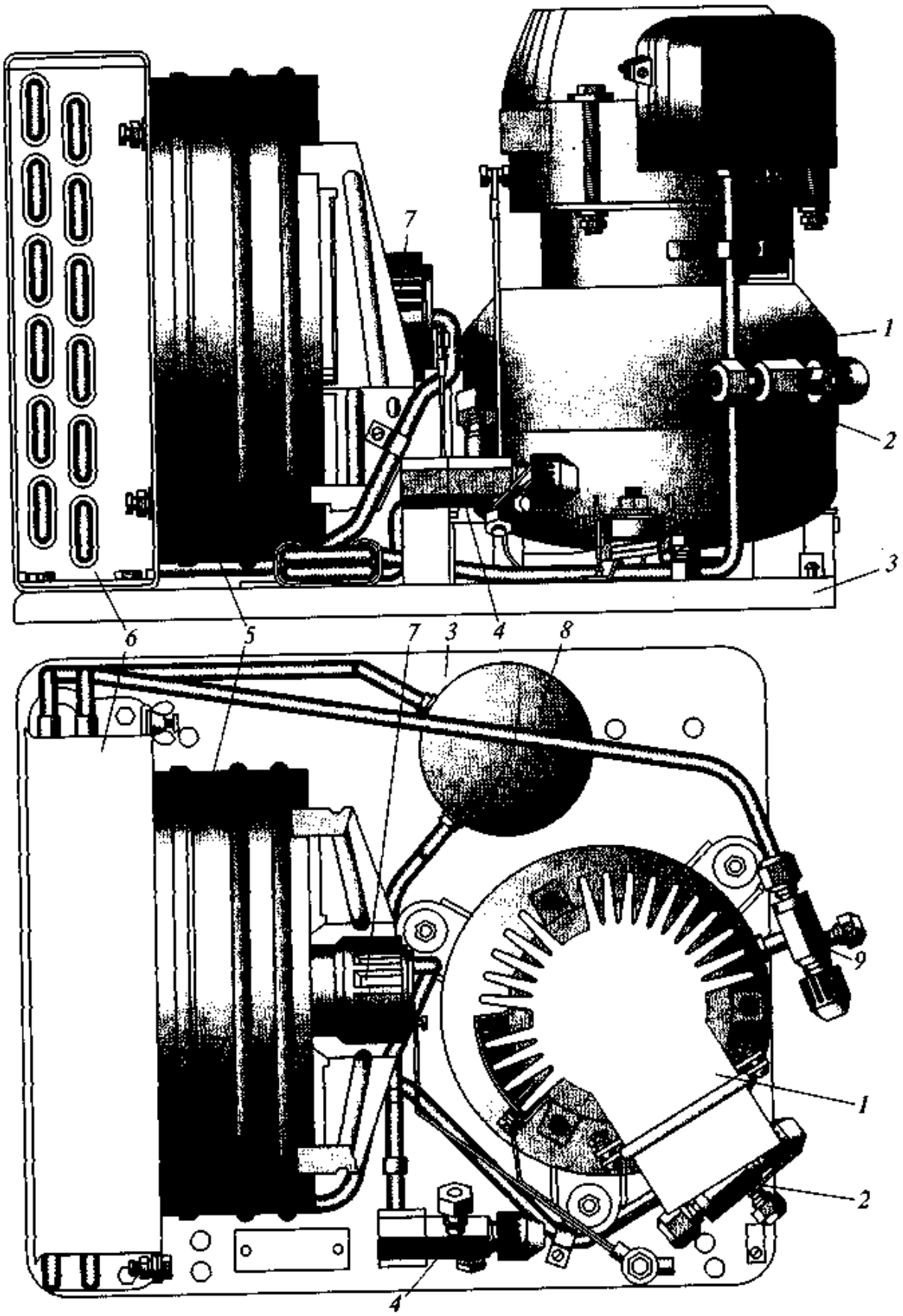



Рис. 6.21. Компрессорно-конденсаторный агрегат с герметичным компрессором и экранированным двигателем (типа ВСэ):

*1* — компрессор; *2* — всасывающий вентиль; *3* — рама; *4* — вентиль жидкостной; *5* — диффузор вентилятора; *6* — конденсатор; *7* — электродвигатель вентилятора; *8* — ресивер; *9* — вентиль нагнетательный

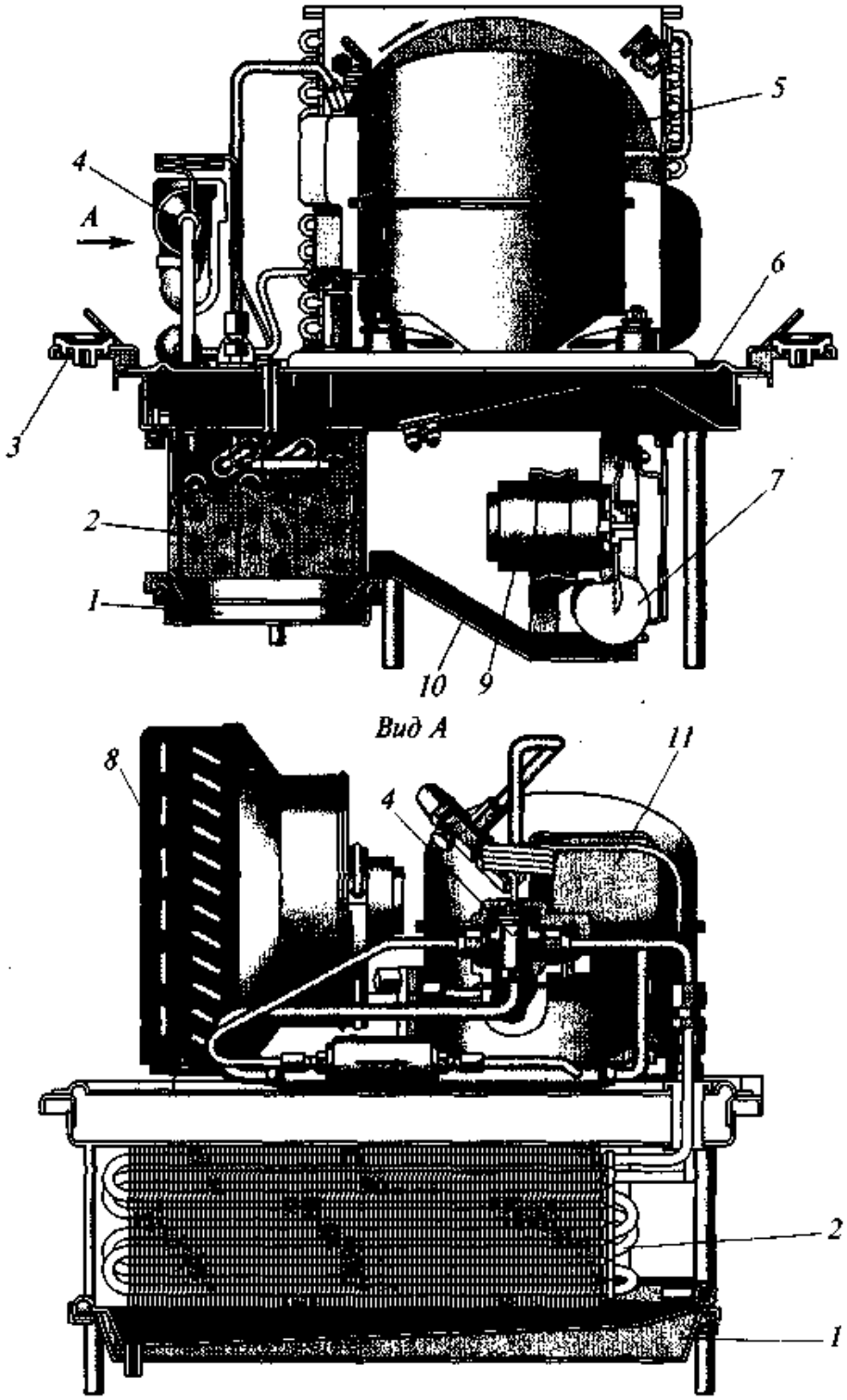



Рис. 6.22. Моноблочная холодильная машина:

*1* — поддон воздухоохладителя; *2* — воздухоохладитель; *3* — элемент крепления; *4* — терморегулирующий вентиль; *5* — компрессор; *6* — рама; *7* — вентилятор воздухоохладителя; *8* — конденсатор с воздушным охлаждением; *9* — электродвигатель вентилятора; *10* — кронштейн вентилятора; *11* — щит с электрооборудованием

тродвигателя изолирован от ротора и в процессе ремонта может быть заменен без нарушения герметичности холодильной машины.

*Моноблочные холодильные машины* представляют собой предел агрегатирования, так как в одном агрегате объединены все эле-

менты холодильной машины, включая приборы холодильной автоматики и электрооборудования для управления работой компрессора и вентиляторов конденсатора и воздухоохладителя.

Все элементы моноблочной холодильной машины смонтированы на раме *6* (рис. 6.22), имеющей слой тепловой изоляции со стороны воздухоохладителя. Сверху плиты размещен компрессорно-конденсаторный агрегат, а снизу — воздухоохладитель *2*. По периметру рамы *6* установлены элементы крепления *3* для присоединения холодильной машины к силовым элементам проема холодильного оборудования, например, к верхней части холодильного шкафа.

В состав компрессорно-конденсаторного агрегата входит герметичный компрессор *5*, конденсатор *8* с воздушным охлаждением, регенеративный теплообменник, фильтр-осушитель, терморегулирующий вентиль *4* и щит *11* с электрооборудованием.

Непосредственно под рамой установлен ребристотрубный испаритель и все элементы вентилятора воздухоохладителя. Терморегулирующий вентиль и низкотемпературные трубопроводы термоизолированы кожухом и шлангами из пористой резины.

Дополнительно в состав моноблочной холодильной машины включена лампа освещения и микропереключатели. Микропереключатели предназначены для включения лампы освещения при открывании дверей и отключения вентилятора воздухоохладителя.

Машины данного типа используются в составе среднетемпературных шкафов ШХ-0,71 и ШХ-1,4.

# Глава 7. СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ

## 7.1. Классификация систем охлаждения

Холодильная машина, состоящая из четырех основных элементов (компрессора, конденсатора, испарителя, дросселирующего устройства), является составной частью холодильной установки. В нее помимо холодильной машины входит объект охлаждения, вспомогательные устройства, средства автоматического регулирования.

Объектом охлаждения может служить холодильный шкаф, охлаждаемые прилавок и витрина. Холодильные продуктовые камеры предприятий торговли, питания, холодильные камеры распределительных, базисных, заготовительных холодильников также являются объектами охлаждения. Независимо от того, что является объектом охлаждения, отвод теплоты от объекта охлаждения может осуществляться разными способами с использованием различных систем охлаждения. Выбор системы охлаждения зависит от конкретных требований, предъявляемых к объекту охлаждения. Однако существует ряд требований, которые должны соблюдаться независимо от выбранной системы охлаждения. К этим требованиям относятся:

поддержание температурного режима объекта охлаждения и хранимых в нем продуктов;

простота в эксплуатации при минимальном количестве органов управления (вентилей, переключателей);

безопасность для обслуживающего персонала;

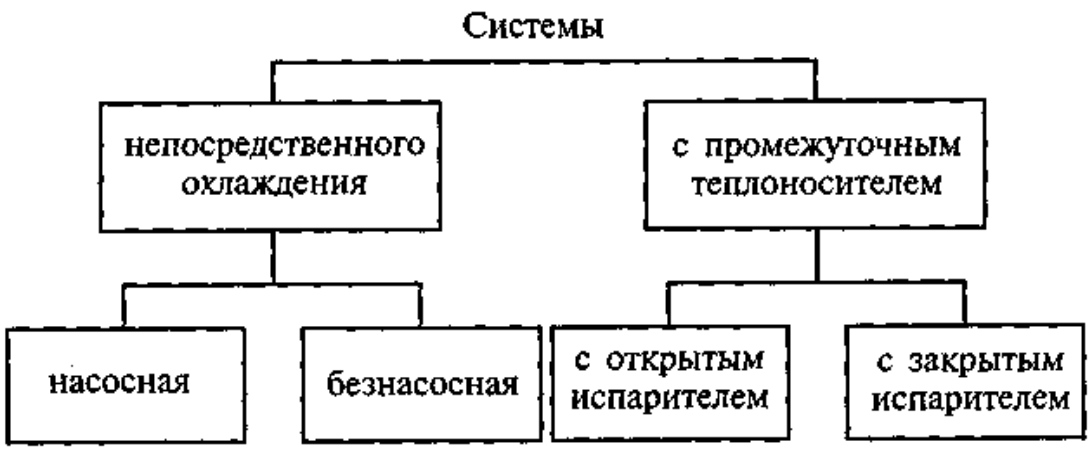



Рис. 7.1. Системы охлаждения

долговечность работы элементов системы охлаждения и невысокая стоимость на ее создание.

В настоящее время практически все торговое холодильное оборудование выпускается в виде комплексных холодильных установок, объединяющих в одном агрегате и холодильную машину, и объект охлаждения.

Более крупные холодильные установки, включая продуктовые охлаждаемые камеры предприятий торговли, питания, компонуются на месте из отдельных агрегатов, узлов и элементов в соответствии с определенной системой охлаждения.

Все системы охлаждения (рис. 7.1) независимо от размеров, холодопроизводительности, назначения можно разделить на системы непосредственного охлаждения и системы с промежуточным теплоносителем.

## 7.2. Системы непосредственного охлаждения

В системах непосредственного охлаждения теплота, отводимая от объекта охлаждения, передается непосредственно хладагенту. Эта передача теплоты осуществляется в теплообменных аппаратах, устанавливаемых в охлаждаемых объемах оборудования, холодильных камерах. Эти теплообменные аппараты называются испарителями холодильных машин, воздухоохладителями или камерными охлаждающими батареями. Подача хладагента в испаритель может осуществляться безнасосно и с помощью циркуляционного насоса.

В безнасосных системах испаритель или воздухоохладитель заполняется хладагентом под действием разности давлений конденсации и кипения. В насосных системах для подачи жидкого хладагента в испарителе используется специальный насос жидкого хладагента.

Безнасосные системы непосредственного охлаждения нашли наибольшее распространение в торговом холодильном оборудовании и холодильных установках продуктовых камер предприятий питания и торговли. Эти системы несложные по конструкции, достаточно просты в эксплуатации, легко подвергаются автоматизации.

Примером холодильной установки с безнасосной системой непосредственного охлаждения может служить полностью автоматизированная холодильная машина с герметичным компрессором (рис. 7.2). Холодильные машины данного типа используются в торговом холодильном оборудовании — холодильных шкафах, охлаждаемых прилавках и витринах, в охлаждаемых торговых автоматах.

В состав холодильной машины входят компрессорно-конденсаторный агрегат и объект охлаждения с установленным в нем

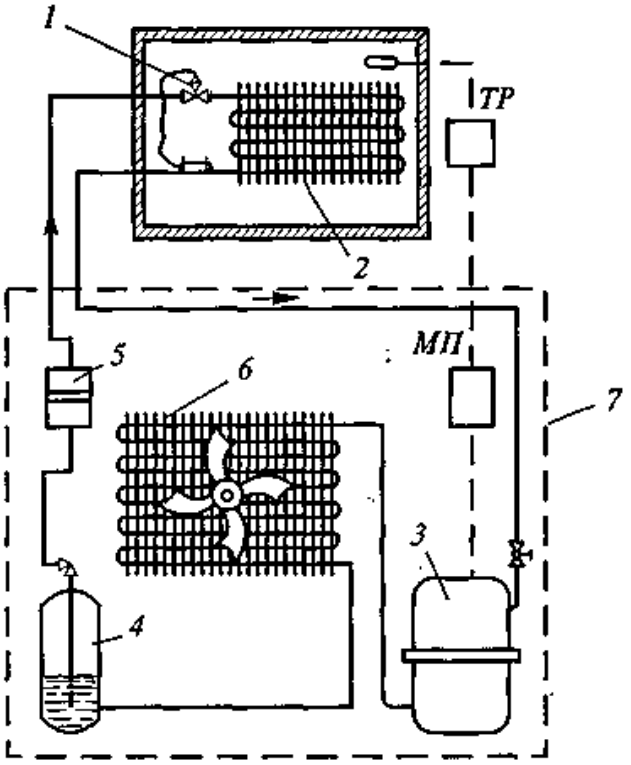



Рис. 7.2. Безнасосная система непосредственного охлаждения:

*1* — терморегулирующий вентиль; *2* — испаритель; *3* — компрессор; *4* — ресивер; *5* — фильтр-осушитель; *6* — конденсатор с воздушным охлаждением; *7* — компрессорно-конденсаторный агрегат; *ТР* — реле температуры; *МП* — магнитный пускатель

испарителем *2*. Для заполнения испарителя хладагентом применен терморегулирующий вентиль *1*. Температурный режим в объекте охлаждения поддерживается с помощью реле температуры *ТР*. При повышении температуры в объекте охлаждения реле *ТР* посредством магнитного испускателя *МП* включает электродвигатель компрессора *3*. Как только температура в охлаждаемом объеме понизится ниже установленного уровня, *ТР* и *МП* остановят двигатель компрессора *3*.

Более сложной, обслуживающей несколько объектов охлаждения, является холодильная установка с компрессорно-конденсаторным агрегатом АК-ФВ4М (рис. 7.3).

Данная холодильная установка также относится к безнасосной системе непосредственного охлаждения. Один компрессорно-конденсаторный агрегат *9* обеспечивает поддержание температуры в двух камерах, причем температурный режим холодильных камер будет практически одинаковым. Регулировкой терморегулирующих вентилей (ТРВ) можно добиться разных температур в охлаждаемых камерах, но разность температур не может быть больше 3...5 °С.

Недостатком безнасосных систем непосредственного охлаждения является ограничение расстояния от компрессорно-кон-

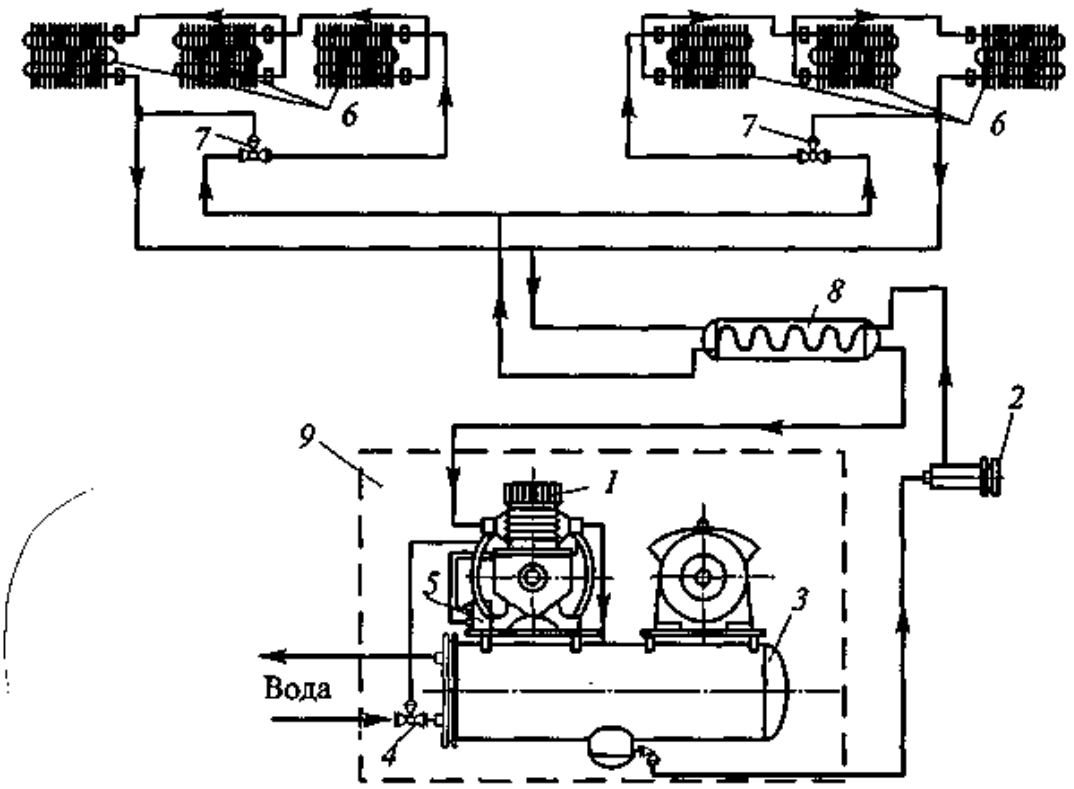



Рис. 7.3. Безнасосная система непосредственного охлаждения с компрессорно-конденсаторным агрегатом АК-ФВ4М:

*1* — компрессор ФВ-6; *2* — фильтр-осушитель; *3* — конденсатор с водяным охлаждением; *4* — водорегулирующий вентиль; *5* — двухблочное реле давления; *6* — испарители; *7* — терморегулирующие вентили; *8* — регенеративный теплообменник; *9* — компрессорно-конденсаторный агрегат

денсаторного агрегата до испарителей или воздухоохладителей в камерах. Предельная длина трубопроводов не должна превышать 10 м.

На крупных холодильниках применяются насосные системы непосредственного охлаждения, основу которых составляют холодильные машины, работающие на аммиаке.

По способу размещения оборудования системы охлаждения подразделяются на децентрализованные и централизованные.

В децентрализованной системе охлаждения каждый объект охлаждения оснащается автономной, полностью автоматизированной холодильной машиной.

В централизованной системе охлаждения все агрегатированное оборудование размещается в общем машинном отделении, соединенном изолированными трубопроводами с испарителями или воздухоохладителями, установленными в холодильных камерах. Концентрация оборудования в общем помещении облегчает его обслуживание и контроль за работой. Крупные магазины типа «Универсам» используют централизованную систему холодоснабжения, в которой все компрессорно-конденсаторные агрегаты собраны в одном машинном отделении за пределами торгового зала. Недо-

статком системы является фиксированное расположение охлаждаемого оборудования в торговом зале и невозможность его перемещения без демонтажа холодильных коммуникаций.

## 7.3. Системы охлаждения с промежуточным теплоносителем

Для стационарных холодильников небольшой емкости, транспортных систем (железнодорожных, водный холодильный транспорт) или особых случаев, исключающих наличие приборов непосредственного охлаждения в холодильных камерах, используют охлаждающие системы с промежуточным теплоносителем.

Отвод теплоты из охлаждаемого помещения осуществляется последовательно: сначала к промежуточному теплоносителю в охлаждающих батареях, затем от промежуточного теплоносителя к хладагенту в испарителе холодильной машины. В качестве промежуточного теплоносителя используются вода (для положительных температур), водные растворы хлоридов натрия и кальция (NaCl и $CaCl_2$), водные растворы этиленгликоля и пропиленгликоля.

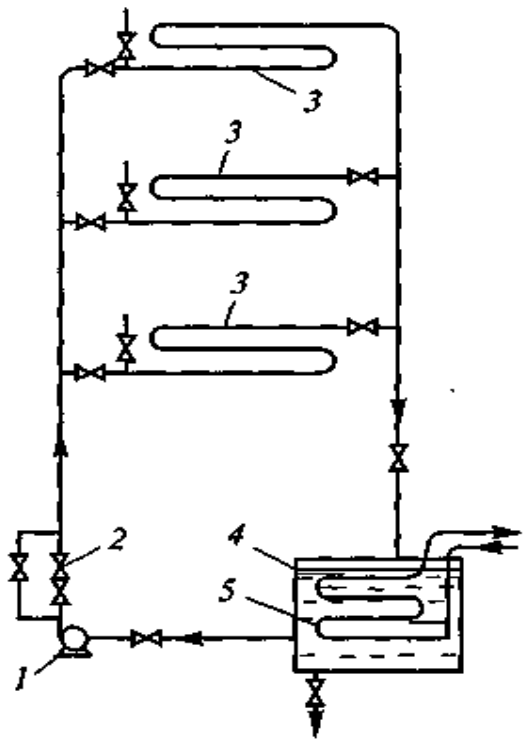



Рис. 7.4. Система охлаждения с промежуточным теплоносителем и открытым испарителем:

*1* — циркуляционный насос; *2* — клапан обратный; *3* — охлаждающие батареи; *4* — бак испарителя; *5* — испаритель холодильной машины

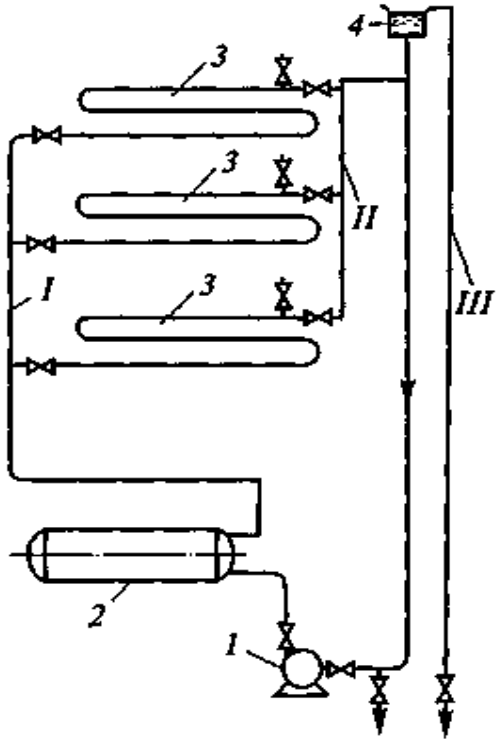



Рис. 7.5. Система охлаждения с промежуточным теплоносителем и закрытым испарителем:

*1* — циркуляционный насос; *2* — испаритель холодильной машины; *3* — охлаждающие батареи; *4* — расширительный бак; *I* — подающий трубопровод; *II* — обратный трубопровод; *III* — компенсационный трубопровод

В зависимости от конструкции испарителя для охлаждения промежуточного теплоносителя различают системы охлаждения с открытым и закрытым испарителями. В системе охлаждения с открытым испарителем (рис. 7.4) охлажденный теплоноситель из бака *4* насосом *1* подается в охлаждающие батареи, установленные в камерах охлаждения. В процессе отвода теплоты из камер охлаждения теплоноситель подогревается и поступает в бак *4* испарителя. Теплоноситель в баке охлаждается при отводе теплоты к кипящему в трубах испарителя *5* хладагенту.

Испарители данного типа допускают образование твердой фазы теплоносителя на трубах, что используется в качестве аккумулятора теплоты при неравномерной тепловой нагрузке на систему охлаждения.

Контакт теплоносителя с металлическими элементами системы охлаждения в присутствии атмосферного воздуха приводит к усиленной коррозии. Срок службы труб и других элементов системы не превышает пяти лет.

Системы охлаждения с закрытыми испарителями (рис. 7.5) чаще всего применяются в многоэтажных стационарных холодильниках. Теплоноситель насосом *1* прокачивается через испаритель *2* холодной машины и подается в охлаждающие батареи *3*, устанавливаемые в камерах охлаждения. Теплоноситель после охлаждающих батарей собирается в коллектор и по обратному трубопроводу *II* подается на всасывание в насос *1*. Объем теплоносителя существенно зависит от его температуры. Для компенсации изменения объема предназначен расширительный бак *4*, соединенный компенсационным трубопроводом *III* с дренажной системой.

Достоинством системы охлаждения с закрытым испарителем является меньшая величина коррозии, меньшие затраты энергии на привод насоса, постоянный состав теплоносителя в контуре системы.

# Глава 8. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ХОЛОДИЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ ТОРГОВЛИ И МАССОВОГО ПИТАНИЯ

## 8.1. Исходные данные для расчета

Проектирование предприятия массового питания (здания, цеха, ресторана, магазина и пр.) или части предприятия (например, блока холодильных камер) предполагает разработку комплекса технической документации, необходимой для проведения строительных и монтажных работ. В состав проекта включаются расчетно-пояснительная записка, чертежи и сметы.

Для выполнения расчета блока холодильных камер предприятия торговли или массового питания необходимо знать следующие исходные данные: климатическую зону расположения предприятия; ассортимент и суточный расход продуктов по предприятию; расположение блока по отношению к уровню грунта и т.д.

**Климатические условия.** Параметры наружного воздуха оказывают определяющее влияние на толщину строительного ограждения холодильных камер и расчетную толщину тепловой изоляции ограждения. Для выбора и расчета ограждения необходимо определить климатическую зону размещения предприятия массового питания или торговли, для которого проектируется блок холодильных камер. Территория Российской Федерации разделена на три климатические зоны, определяемые по среднегодовой температуре: северная от 0 °С и ниже; средняя от 1 до 8 °С; южная от 9 °С и выше.

Расчет теплопритоков блока холодильных камер проводится для наиболее напряженных температурных условий — по расчетной летней температуре наружного воздуха географического пункта, в котором расположено предприятие. В качестве этой температуры принимается среднемесячная температура самого жаркого месяца с учетом максимальных пиков температуры для данного времени. Расчетные температуры наружного воздуха для некоторых городов Российской Федерации приведены в табл. 8.1.

**Ассортимент и суточный расход продуктов.** Как правило, суточный расход продуктов по предприятию торговли и массового питания определяется на основании технологических расчетов, учитывающих меню, число посадочных мест, оборачиваемость предприятия питания, грузооборот магазина и пр.

Таблица 8.1

**Расчетная летняя температура наружного воздуха для некоторых городов Российской Федерации**

| Город | Расчетная температура, °С | | Относительная влажность воздуха φ, % |
|---|---|---|---|
| | среднегодовая | летняя | |
| Архангельск | 0,8 | 27 | 63 |
| Астрахань | 9,4 | 34 | 37 |
| Владивосток | 4,0 | 30 | 79 |
| Екатеринбург | 1,2 | 30 | 54 |
| Иркутск | –1,1 | 29 | 58 |
| Краснодар | 10,8 | 34 | 46 |
| Красноярск | 0,5 | 30 | 52 |
| Москва | 4,8 | 30 | 50 |
| Мурманск | 0,0 | 25 | 63 |
| Новосибирск | –0,1 | 30 | 56 |
| Сочи | 13,4 | 32 | 67 |
| Хабаровск | 1,4 | 32 | 67 |
| Ялта | 13,0 | 33 | 56 |

Для предприятия торговли расход продуктов определяется маркетинговыми исследованиями микрорайона расположения магазина или прогнозированием суточного расхода продуктов на основании опытных данных.

Все скоропортящиеся продукты, хранимые в холодильных камерах, целесообразно разбить на следующие группы:

мясо и мясопродукты;

рыба и рыбопродукты;

полуфабрикаты (мясные, рыбные или овощные);

гастрономия;

молочные и жировые продукты;

фрукты, овощи, напитки.

Для каждой группы продуктов желательно предусматривать отдельную холодильную камеру. Допускается объединение нескольких групп продуктов в одной камере с учетом допустимого товарного соседства продуктов и режимов хранения.

**Режимы хранения продуктов.** Правильный выбор режимов холодильного хранения пищевых продуктов (температура и влажность воздуха в холодильных камерах) имеет важное значение для обес-

печения высокого качества продукта и уменьшения его потерь. В стационарных холодильных камерах предприятий массового питания и торговли продукты хранятся не более 5...7 сут., причем на хранение они поступают после предварительной холодильной обработки (в охлажденном или замороженном состоянии).

Для кратковременного режима хранения продуктов рекомендованы следующие температурно-влажностные режимы хранения (табл. 8.2).

Таблица 8.2

**Режимы хранения основных групп продуктов**

| Камеры хранения | Температура, °С | Относительная влажность, % | Кратность воздухообмена |
|---|---|---|---|
| Мяса | ±0 | 80 | – |
| Рыбы | –2 | 95 | – |
| Молока, молочных продуктов, жиров, яиц, гастрономии | +1 ... +3 | 80 | – |
| Полуфабрикатов: | | | |
| мясных | ±0 | 90 | – |
| рыбных | ±0 | 90 | – |
| овощных | +2 | 85 | 4 в сутки |
| Фруктов, ягод, овощей, напитков | +4 ... +6 | 90 | 4 в сутки |
| Пищевых отходов | +2 | – | 10 в час |

Если продукты хранятся во влагонепроницаемой упаковке, то требования к относительной влажности в камере могут быть снижены.

## 8.2. Проектирование блока холодильных камер

При проектировании вновь строящихся и реконструируемых зданий и помещений холодильников для пищевых продуктов руководствуются СНиП II-105—74 (Строительные нормы и правила. «Холодильники. Нормы проектирования»).

Проектирование блоков холодильных камер для предприятий торговли и питания имеет свою специфику.

Нормы и правила проектирования предприятий торговли определены СНиП II-77—80 (Строительные нормы и правила «Магазины. Нормы проектирования»).

При проектировании или реконструкции магазина число холодильных камер определяется размером предприятия и характером продаваемых продуктов.

**Площадь холодильных камер.** При определении площадей холодильных камер учитывают: число рабочих мест продавцов, расход продаваемого продукта и площадь торгового зала.

В современных предприятиях торговли продовольственными товарами примерно 30 % оборудования торгового зала составляет холодильное оборудование.

Нормы площади охлаждаемых камер предприятий торговли по видам продуктов, отнесенные к 10 м² площади торгового зала магазина, приведены в табл. 8.3.

Таблица 8.3

**Нормы площади охлаждаемых камер предприятий торговли**

| Камеры хранения | Норма площади камеры, отнесенная к 10 м² площади зала, м² |
|---|---|
| Мяса | 2,8 |
| Рыбы | 2,2 |
| Гастрономии | 2,8 |
| Вина, пива, безалкогольных напитков | 1,7 |
| Фруктов | 4,4 |
| Овощей | 2,2 |

Площадь отдельной холодильной камеры не может быть меньше 6 м², а минимальная длина камеры в плане — 2,4 м. Число камер определяется количеством групп товаров, реализуемых в магазине, и возможностью объединения товаров в одной камере с учетом товарного соседства.

При проектировании охлаждаемой камеры хранения кондитерских изделий исходят из площади торгового зала, занятой под кондитерский отдел. В большинстве случаев в расчет принимают 1 м² площади холодильной камеры на 18 м² площади торгового зала кондитерского отдела.

В магазинах предусматривают неохлаждаемые кладовые для хранения нескоропортящихся продуктов, а также помещения для подготовки товаров при камерах хранения мяса и молочных продуктов.

На предприятиях массового питания число и размеры охлаждаемых камер определяются назначением предприятия, числом посадочных мест, видом продуктов для приготовления блюд (сырье или полуфабрикаты). Расчеты меню позволяют составить продуктовую ведомость суточного расхода продуктов, которая служит основанием для определения площадей охлаждаемых камер. Нормы загрузки продуктов в охлаждаемые камеры предприятий питания и сроки хранения приведены в табл. 8.4.

Таблица 8.4

**Нормы загрузки продуктов в охлаждаемые камеры предприятий питания**

| Камеры хранения | Срок хранения продуктов $\tau_{хр}$, сут. | Норма загрузки $q_F$, кг/м² |
|---|---|---|
| Мяса | 3 ... 4 | 100 ... 140 |
| Рыбы | 3 ... 4 | 160 ... 200 |
| Полуфабрикатов (мясных, рыбных, овощных) | 1 | 80 ... 100 |
| Молочных и жировых продуктов | 1 ... 2 | 120 ... 140 |
| Фруктов, ягод, овощей, напитков | 2 ... 5 | 80 ... 100 |

Минимально допустимая площадь холодильной камеры составляет 5 м², а размеры камеры — не менее 2,1×2,4 м. Если в результате расчета грузовая площадь камеры будет менее 5 м², то камеры для хранения различных видов продуктов следует объединять, соблюдая товарное соседство продуктов.

**Место размещения холодильных камер.** Холодильные камеры размещают таким образом, чтобы не нарушалась технологическая цепь производства — товародвижение в магазинах или технологический процесс на предприятии массового питания. При размещении камер должны учитываться удобство загрузки и выгрузки продуктов.

Блоки холодильных камер предприятий торговли и массового питания могут размещаться в подвальных или полуподвальных помещениях, а также на первом этаже здания. Целесообразно камеры размещать с северной стороны здания, избегая выхода стен холодильных камер наружу.

Охлаждаемые камеры не допускается размещать в непосредственной близости от котельных, бойлерных, душевых и других помещений с повышенной температурой и влажностью. Не допускается размещать помещения с повышенной температурой и влажностью над блоком холодильных камер и под ним. Не рекомендуется проектировать блок холодильных камер под жилыми помещениями. При необходимости размещения блока под жилыми помещениями перекрытие камеры отделяется от междуэтажного перекрытия здания вентилируемой воздушной прослойкой.

На предприятиях массового питания не допускается размещать холодильные камеры под моечными и санитарными узлами, а также под производственными помещениями со сливными трапами. Через холодильные камеры не допускается прокладывать коммуникации, кроме коммуникаций системы охлаждения камер.

**Планировка холодильных камер.** Под планировкой понимают размещение всех холодильных камер в едином блоке, объединенных общим тамбуром. Глубина тамбура должна быть не менее 1,6 м. Габаритные размеры камеры должны быть не менее 2,1×2,4 м. Высота холодильных камер принимается равной высоте проектируемого предприятия, но должна быть не менее 2,4 м (до 3,5...4,2 м). Полы охлаждаемых камер, тамбура и разгрузочно-погрузочной площадки выполняются на одном уровне, без порогов и ступеней. В непосредственной близости от блока предусматривают помещение для машинного отделения (компрессорно-конденсаторного агрегата холодильной машины). Для системы непосредственного охлаждения холодильных камер длина коммуникаций от испарителя до компрессора не должна превышать 10 м.

Двери холодильных камер и тамбура должны иметь тепловую изоляцию (толщина изоляции определяется расчетом), резиновые уплотнители притворов и прижимные затворы. Двери должны открываться в сторону выхода из камер и тамбура и иметь возможность открываться из камеры. Ширина дверей холодильных камер и тамбура должна быть не менее 0,9 м, а при использовании погрузочных механизмов — не менее 1,5 м.

Полы холодильных камер, имеющих температуру не ниже –2 °С и грунтовое основание, допускается проектировать без тепловой изоляции. При этом теплоизоляционный слой стен камер должен быть на 15 см ниже уровня пола, а по периметру блока предусматривается подсыпка из керамзитового гравия.

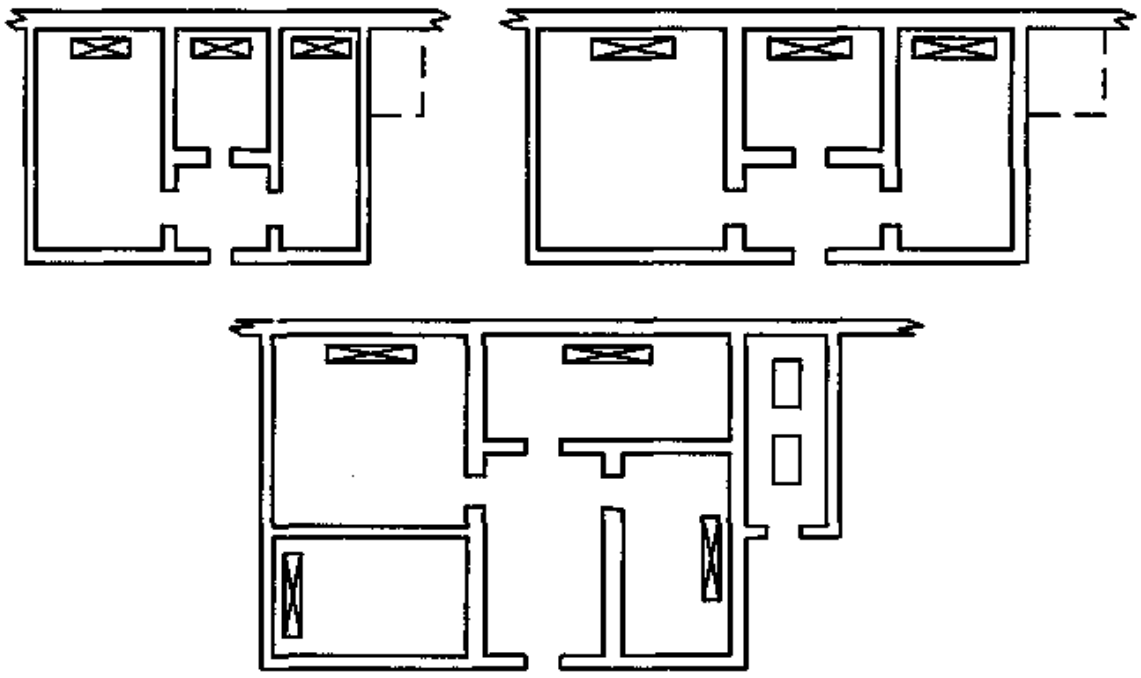


Рис. 8.1. Планировки блоков холодильных камер предприятий массового питания

Строительные площади холодильных камер для каждой группы продуктов служат основой для проектирования всего блока холодильных камер. Рекомендуемые планировки блоков холодильных камер приведены на рис. 8.1.

**Выбор материалов для холодильных камер.** Холодильные камеры отличаются от других помещений проектируемого предприятия тем, что в них постоянно поддерживается низкая температура при высокой относительной влажности воздуха. Специфические условия определяют требования к материалам строительных конструкций, которые должны быть прочными, морозостойкими, огнестойкими, устойчивыми к воздействию нагрузок и экономичными.

Более всего перечисленным требованиям для несущих строительных конструкций удовлетворяет железобетон, однако находят широкое применение и строительные конструкции из кирпича. Толщина строительной конструкции определяется для каждого вида ограждения отдельно.

Для тепловой изоляции ограждений используются материалы с малым коэффициентом теплопроводности, негигроскопичные и стойкие к продолжительной эксплуатации в условиях переменных температур окружающей среды, пониженных температур в камерах и высокой относительной влажности. Кроме того, теплоизоляционные материалы должны относиться к несгораемым или к трудносгораемым. Наибольшее распространение получили полимерные вспененные материалы, такие как пенопласты: полистирольный самозатухающий ПСБ-С, полиуретановый жесткий ПУ-101, поливинилхлоридный ПХВ-1 и ПХВ-2 и др.

Теплоизоляционные материалы выпускаются в виде плит стандартной толщины 25, 30, 50 и 100 мм.

Долговечность эксплуатации тепловой изоляции определяется возможностью защиты ее от попадания капельной влаги наружного воздуха, особенно в летнее время, и увлажнения водяными парами, содержащимися в атмосферном воздухе. С этой целью в конструкцию ограждения вводят специальный слой — паро- и гидроизоляцию. Особенно важно создание надежного гидроизоляционного слоя для полов, лежащих на грунте, и для кровель. Данный слой гидроизоляции предназначен не только для предотвращения изоляции от увлажнения, но и для препятствия проникновения в конструкцию капельной влаги — грунтовых вод и атмосферных осадков.

В качестве паро- и гидроизоляционных материалов используют битумы, битумные мастики, рубероид (стеклорубероид) и другие листовые и пластичные материалы, обладающие большим сопротивлением паропроницанию. Паро-, гидроизоляция должна быть сплошной, без пропусков и разрывов и располагаться по возможности ближе к среде с более высокой температурой.

*Наружные стены* блоков холодильных камер предприятий торговли или общественного питания изготавливают из железобетонных плит, бетонных блоков или кирпичной кладки. Конструкция ограждения показана на рис. 8.2.

Толщина наружных стен выбирается в соответствии с климатической зоной размещения предприятия массового питания или торговли и составляет от 380 мм для южной до 640 мм для северной климатических зон.

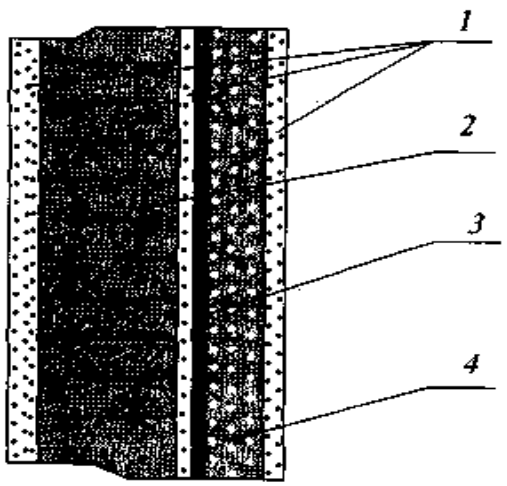



Рис. 8.2. Конструкция наружной стены:

*1* — штукатурка; *2* — кирпичная кладка (*железобетонная плита*, бетонный блок); *3* — паро-, гидроизоляция; *4* — тепловая изоляция

Внешняя надземная сторона наружной стены, как правило, покрывается слоем штукатурки ($\delta_{шт} = 10...20$ мм) и окрашивается светлой краской для уменьшения теплотоков от солнечной радиации. Подземная часть наружной стены подвальных или полуподвальных помещений покрывается слоем битума ($\delta_{бит} = 5...8$ мм), предотвращающим увлажнение строительных конструкций.

Перед проведением теплоизоляционных работ наружная стена со стороны холодильной камеры покрывается тонким слоем штукатурки, так называемой «затиркой», толщиной до 10 мм. На подготовленную поверхность наносятся два слоя паро-, гидроизоляции общей толщиной 5...8 мм. Теплоизоляционный материал приклеивается на незастывший второй слой гидроизоляции и закрепляется на стене сеткой типа «рабица». На сетку наносится слой штукатурки ($\delta_{шт} = 10...20$ мм), которая окрашивается или служит основой для крепления глазурованной плитки.

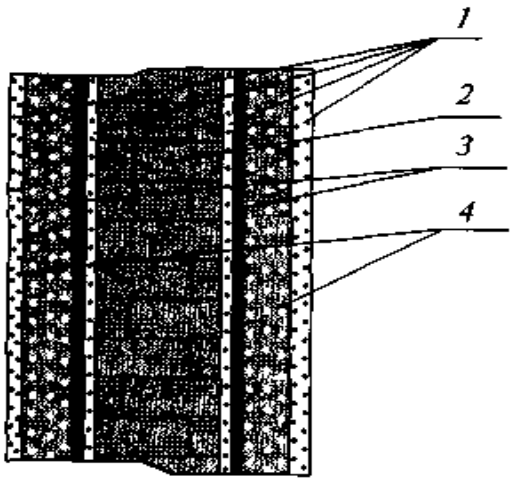



Рис. 8.3. Конструкция перегородок между камерами:

*1* — штукатурка; *2* — кирпичная кладка; *3* — паро-, гидроизоляция; *4* — тепловая изоляция

Конструкция *внутренних стен и перегородок* в тамбуре аналогична конструкции наружных стен.

Толщина слоев штукатурки, а также слоев и паро-, гидроизоляции принимаются одинаковыми с толщиной соответствующих слоев наружных стен.

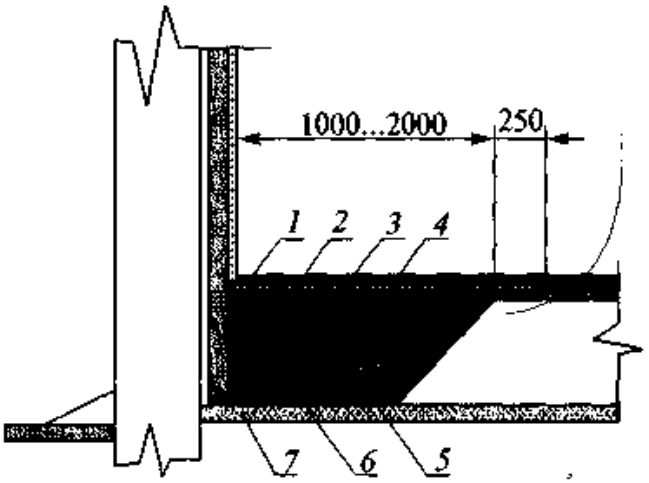



Рис. 8.4. Конструкция неизолированного пола:

*1* — чистый пол; *2* — армированная бетонная стяжка; *3* — керамзитобетонная стяжка; *4* — тепловая изоляция (керамзитовый гравий); *5* — гидроизоляция; *6* — бетонная подготовка; *7* — уплотненный грунт с щебнем

Конструкция перегородок приведена на рис. 8.3. Несущая кирпичная конструкция перегородки имеет одинаковые слои штукатурки, паро-, гидроизоляции и тепловой изоляции с двух сторон.

*Полы* среднетемпературных холодильных камер (температура в камерах не ниже –2 °С) предприятий массового питания и торговли располагаются, как правило, на сухом песчаном грунте, утрамбованном с гравием и не изолируются. Пол состоит из основания и покрытия (чистый пол). Основанием пола могут служить несущие конструкции — железобетонные плиты толщиной 120 мм. Покрытие пола (метлахская плитка или мозаичная плита) укладывают на прослойке из бетона на бетонный подстилающий слой толщиной 40...70 мм. Для уменьшения теплопритоков в камерах с неизолированными полами по всему периметру наружных стен организуют подсыпку из теплоизоляционного материала — керамзитового гравия, шлака. Конструкция неизолированного пола приведена на рис. 8.4.

Блоки холодильных камер предприятий массового питания и торговли располагаются, как правило, на первом этаже многоэтажных зданий или в одноэтажных зданиях. Поэтому для камер характерны междуэтажные *перекрытия* или бесчердачные покрытия. Данный вид ограждений должен быть прочным, долговечным, а кровли должны обеспечивать водонепроницаемость и быть стойкими к атмосферному воздействию.

Основой для перекрытия холодильных камер служит железобетонная плита толщиной 220 мм. С внешней стороны плита выравнивается бетонной стяжкой толщиной 40 мм и настилается чистый пол — паркет, линолеум, плитка или иные покрывные материалы.

Со стороны холодильной камеры плита покрывается тонким слоем бетонной штукатурки (затирка) толщиной до 10 мм. На подготовленную поверхность наносят два слоя паро-, гидроизоляции (до 5...8 мм) и слой тепловой изоляции, поверх которой наносят штукатурку по сетке толщиной 20 мм, оштукатуренные потолки красят.

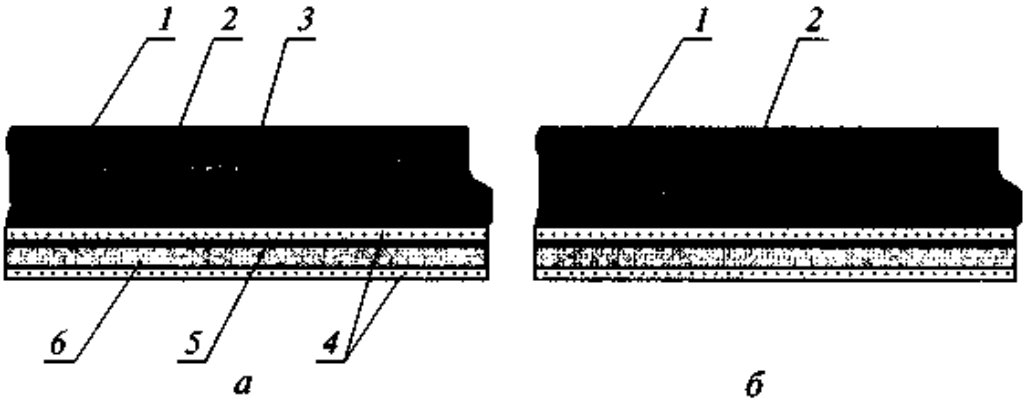



Рис. 8.5. Конструкция междуэтажного перекрытия и покрытия:

*а* — междуэтажное перекрытие: *1* — чистый пол; *2* — бетонная стяжка; *3* — железобетонная плита; *4* — штукатурка; *5* — паро-, гидроизоляция; *6* — тепловая изоляция; *б* — покрытие: *1* — рулонная кровля; *2* — бетонная стяжка

В качестве основания под кровлю (для одноэтажных зданий) применяется бетонная стяжка, на которую наносится грунтовка из битумных эмульсий. Для организации кровли чаще всего используют рулонные покровные материалы — рубероид, стеклорубероид, гидроизол, которые наклеивают в несколько слоев на подготовленную поверхность на горячей битумной мастике. Для защиты поверхностного слоя кровли от солнечной радиации и механических повреждений ее дополнительно покрывают слоем битумной мастики толщиной 5 мм и посыпают (втапливают) мелким гравием желательно светлой окраски с размером зерна 5...15 мм. В некоторых случаях поверхность кровли покрывают атмосфероустойчивой краской светлого цвета. Конструкция перекрытия приведена на рис. 8.5.

Сохранность и поддержание высоких качеств пищевых качеств продуктов питания могут быть обеспечены только при стабильном температурно-влажностном режиме в холодильной камере. Стабильность температурного уровня камеры определяется отводом из камеры определенного количества теплоты, индивидуального для каждой камеры.

Холодильное оборудование для отвода теплоты выбирается на основании расчета теплопритоков в камеру.

## 8.3. Расчет теплопритоков

Теплопритоки в холодильную камеру или в блок холодильных камер не являются постоянными и зависят от сезонных или суточных колебаний температуры, неравномерности загрузки камер продуктами, температур поступающих продуктов. Расчет теплопритоков блока холодильных камер ведут для наиболее неблагоприятных условий эксплуатации — для летнего периода времени и максимального заданного количества продуктов в камере.

Суммарные теплопритоки в холодильную камеру определяются следующим образом:

$$Q_{кам} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4,$$

где $Q_1$ — теплопритоки через ограждения; $Q_2$ — теплопритоки от продуктов; $Q_3$ — теплопритоки от приточной вентиляции; $Q_4$ — эксплуатационные теплопритоки.

**Теплопритоки через ограждения.** Теплопритоки через ограждения $Q_1$ определяются как сумма теплопритоков через наружные и внутренние стены, перегородки в тамбур и смежные камеры, перекрытия или покрытия и полы холодильных камер. Данный вид теплопритоков обусловлен разностью температур в холодильной камере и снаружи каждого вида ограждения. Дополнительно учитывается теплоприток от солнечной радиации для стен и покрытий, освещаемых солнцем.

Суммарные теплопритоки через ограждения определяются как

$$Q_1 = Q_1' + Q_1'',$$

где $Q_1'$ — теплопритоки, обусловленные разностью температур наружного воздуха и холодильной камеры, Вт; $Q_1''$ — теплопритоки от облучения солнцем стен и крыши холодильной камеры, Вт.

**Теплопритоки от продуктов.** Продукты, поступающие в блоки холодильных камер предприятий торговли и массового питания, перевозятся из распределительных холодильников в основном изотермическим холодильным транспортом. В процессе транспортирования температура охлажденных продуктов повышается, и поэтому поступающие в холодильные камеры продукты, как правило, имеют более высокую температуру, чем температура хранения. На практике температура поступающих в камеру продуктов может превышать на 6...10 °С температуру в камере.

Для соблюдения режимов хранения продуктов требуется дополнительно охлаждать не только сами продукты, но и тару.

Суммарные теплопритоки, обусловленные охлаждением продуктов и тары, определяются как

$$Q_2 = Q_2' + Q_2'',$$

где $Q_2'$ — теплоприток, обусловленный охлаждением продуктов, Вт; $Q_2''$ — теплоприток, обусловленный охлаждением тары, Вт.

**Теплопритоки от вентиляционного воздуха.** В блоке холодильных камер приточно-вытяжная вентиляция организуется только в камерах для хранения фруктов, овощей и пищевых отходов. Приточно-вытяжная вентиляция камер фруктов и овощей должна обеспечивать кратность воздухообмена 4 объема в сутки, для камер с пищевыми отходами этот показатель составляет 10 объемов в 1 ч. Поступающий на вентиляцию охлаждаемой камеры воздух имеет

температуру окружающей среды и нуждается в охлаждении, при этом от воздуха отводится теплота, обозначаемая $Q_3$.

**Эксплуатационные теплопритоки.** В процессе эксплуатации открываются двери холодильных камер, в камерах могут находиться люди для погрузочно-разгрузочных работ, включаться освещение, работать погрузочные механизмы и пр.

При расчете данного вида теплопритока блоков холодильных камер предприятий торговли и массового питания принимают, что суммарные эксплуатационные теплопритоки $Q_4$ составляют 10...40 % величины теплопритоков через ограждения $Q_1$ и от вентилируемого воздуха $Q_3$:

$$Q_4 = (0{,}1 \ldots 0{,}4)\,(Q_1 + Q_3).$$

**Суммарные теплопритоки.** Тепловую нагрузку $Q_{кам}$ на камерное оборудование отдельной холодильной камеры определяют как сумму всех теплопритоков в данную камеру. При этом теплоприток $Q_3$ учитывается только для камер с приточно-вытяжной вентиляцией.

Тепловая нагрузка на блок холодильных камер $\sum Q$ определится как сумма теплопритоков по отдельным камерам.

При определении потребной холодопроизводительности холодильной машины (или холодильных машин) для блока холодильных камер учитывается время работы компрессора и потери в трубопроводах и аппаратах холодильной машины, вызванные разностью температур окружающей среды и хладагента.

Холодопроизводительность холодильной машины $Q_0$ принимается всегда больше требуемой, так как в процессе работы компрессор холодильной машины должен периодически останавливаться:

$$Q_0 = \frac{\sum Q \cdot \varphi}{b},$$

где $\sum Q$ — суммарная тепловая нагрузка на камеры блока, Вт; $\varphi$ — коэффициент, учитывающий потери в трубопроводах и аппаратах холодильной машины; $b$ — коэффициент рабочего времени, который учитывает время стоянки компрессора $\tau_{ст}$:

$$b \approx \tau_р/(\tau_р + \tau_{ст}).$$

Для малых и средних холодильных машин с системой непосредственного охлаждения, наиболее часто используемых на предприятиях торговли и массового питания, значение коэффициента рабочего времени принимается $b \approx 0{,}45 \ldots 0{,}75$. Это означает, что 45... 75 % всего времени компрессор холодильной машины включен.

## 8.4. Выбор холодильной машины

Определенное выше значение потребной холодопроизводительности $Q_0$ является ориентировочным для подбора холодильной машины. В настоящее время на предприятиях торговли и питания

наибольшее распространение получили полностью автоматизированные холодильные машины серий МВВ и МКВ. Помимо системы автоматического поддержания температуры воздуха в холодильных камерах, холодильные машины данного типа снабжены системой автоматического удаления снеговой шубы с испарителей, системой автоматической защиты компрессора при перегрузках и аварийных режимах.

**Температурный режим работы холодильной машины.** Известно, что холодопроизводительность холодильной машины существенно зависит от температурных режимов работы, т. е. от температуры кипения $t_0$ и температуры конденсации $t_к$ хладагента.

Температуру кипения хладагента в испарителях принимают в зависимости от температуры воздуха $t_{кам}$ в холодильной камере. Для хладоновых (фреоновых) холодильных машин, поддерживающих температуру в холодильных камерах предприятий торговли и массового питания, температуру кипения хладагента принимают:

$$t_0 = t_{кам} - (8 \ldots 13)\ °C,$$

где $t_{кам}$ — температура в охлаждаемой камере.

Температура конденсации хладагента определяется в зависимости от вида охлаждающей среды. Для конденсаторов хладоновых (фреоновых) холодильных машин с водяным охлаждением температура конденсации:

$$t_к = t_{вх} + (5 \ldots 9)\ °C,$$

где $t_{вх}$ — температура охлаждающей воды на входе в конденсатор холодильной машины.

В конденсаторах малых холодильных машин, работающих на хладонах, средняя разность температур между конденсирующимся хладагентом и охлаждающим воздухом принимается 8...10 °С, а нагрев воздуха в конденсаторе составляет 3...4 °С, т. е.

$$t_к = t_{вх} + (8 \ldots 10)\ °C,$$

где $t_{вх}$ — температура охлаждающего воздуха на входе в конденсатор холодильной машины.

**Расчет и выбор камерного оборудования.** К камерному оборудованию холодильных камер предприятий торговли и массового питания относятся испарители и воздухоохладители.

Малые холодильные машины, как правило, комплектуются испарительными батареями типа ИРСН (испаритель ребристотрубный сухой настенный).

Ребристотрубный испаритель, оснащенный вентилятором для принудительного движения воздуха, называется воздухоохладителем. Воздухоохладители имеют более высокие коэффициенты теплопередачи, чем испарители тихого кипения, и представляют собой более компактные и легкие аппараты.

В процессе работы холодильной машины от хладагента в конденсаторе отводится теплота $Q_к$, эквивалентная суммарному количеству энергии, подведенной к хладагенту в испарителе $Q_0$, и мощности $N$ компрессора. Теплота конденсации отводится в охлаждающую среду — воздух или воду.

При проектировании блока холодильных камер предприятия торговли или общественного питания выполняют расчет расхода охлаждающей среды через конденсатор, а результаты расчета используют в качестве исходных данных для проектирования системы вентиляции или водоснабжения.

## 8.5. Системы отвода теплоты конденсации

Теплота конденсации $Q_к$ холодильной машины всегда передается теплоотводящей среде, в качестве которой чаще всего используют атмосферный воздух или воду. Наиболее дешевым теплоприемником является атмосферный воздух, обладающий неограниченной емкостью для отвода теплоты. Недостатком этой среды является относительно высокая температура в летние месяцы и, как следствие, высокая температура конденсации. Кроме того, плотность воздуха невелика и для отвода теплоты конденсации требуется большое количество воздуха, обдувающего теплообменную поверхность.

Использование воды в качестве теплоотводящей среды обеспечивает снижение металлоемкости конденсаторов, аппараты достаточно компактные, а холодильные машины работают с существенно более низким уровнем шума. Температура воды в летнее время всегда ниже температуры воздуха, что обеспечивает более низкую температуру конденсации. Работа холодильной машины с более низкой температурой конденсации характеризуется большей эффективностью. Недостатком воды как среды охлаждения является ее относительно высокая стоимость.

При использовании воды в качестве среды для отвода теплоты конденсации используются две системы: прямоточная система охлаждения и оборотное водоснабжение.

*Прямоточная система охлаждения* (рис. 8.6) отличается простотой и отсутствием затрат на оборудование.

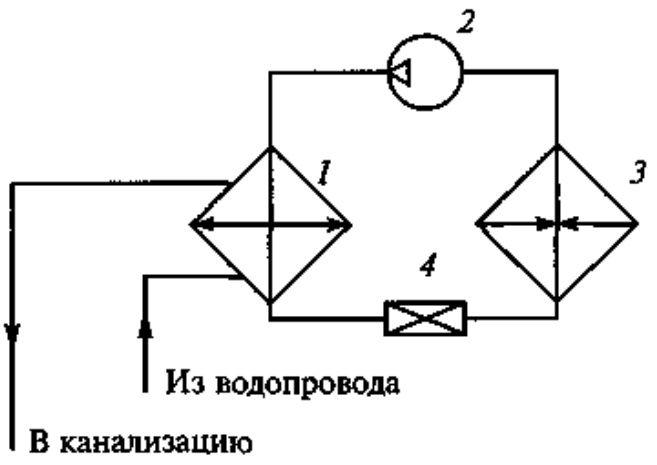



Рис. 8.6. Прямоточная система охлаждения:

*1* — конденсатор; *2* — компрессор; *3* — испаритель; *4* — дросселирующий вентиль

Для реализации системы необходим источник воды (например, водопроводная сеть) и приемник отработанной воды (канализация). Использование данной системы охлаждения не всегда экономически оправдано, так как чистая, подогретая на несколько градусов вода после конденсатора сразу отводится в канализацию. Наличие естественных водоемов с водой (озера, реки, моря) снижает эксплуатационные затраты за воду. Однако в этом случае требуется установка фильтров для очистки воды, а повышенная жесткость воды или наличие соли приводят к образованию накипи на внутренней поверхности конденсатора и ухудшению его характеристик.

*Оборотное водоснабжение* для отвода теплоты конденсации может быть организовано по двум схемам — замкнутой и разомкнутой.

В замкнутой схеме (рис. 8.7) вода, отводящая теплоту конденсации, циркулирует по контуру, образованному из конденсатора *8* холодильной машины, змеевика охлаждения *4* градирни и соединительных трубопроводов. Перемещение воды по контуру обеспечивается циркуляционным насосом *7*. Подогретая в конденсаторе вода охлаждается в специальном аппарате, называемом градирней. Градирни устанавливаются, как правило, вне зданий, чаще всего на крыше. Змеевик *4* охлаждения орошается водой, распыляемой форсунками *3* на поверхность змеевика. Для интенсификации теплообмена змеевик *4* принудительно обдувается потоком воздуха, создаваемым вентилятором *1*. Во избежание попадания капельной влаги на вентилятор предусмотрены специальные отбойники *2*. Вода, стекающая с поверхности змеевика, собирается в поддон *6* и насосом *5* подается на орошение.

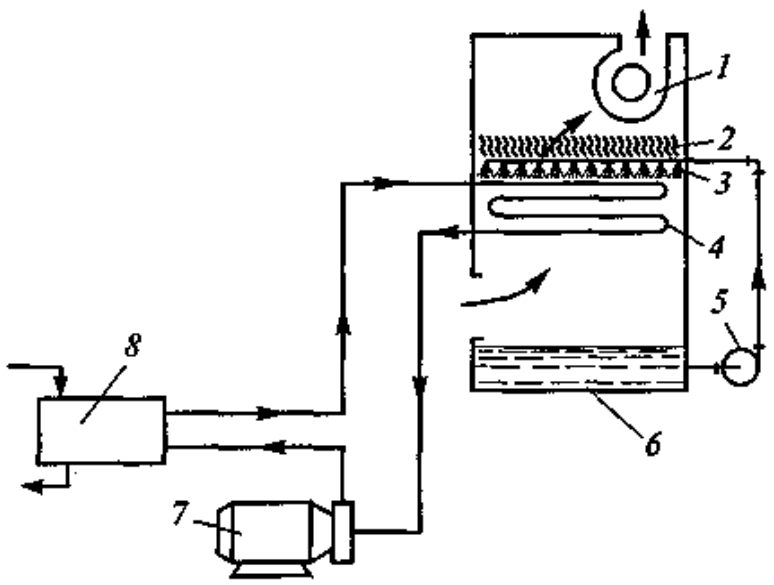



Рис. 8.7. Система оборотного водоснабжения (замкнутая):

*1* — вентилятор градирни; *2* — отбойники капельной влаги; *3* — форсунки; *4* — змеевик охлаждения; *5* — насос оросителя; *6* — поддон для воды; *7* — циркуляционный насос; *8* — конденсатор холодильной машины

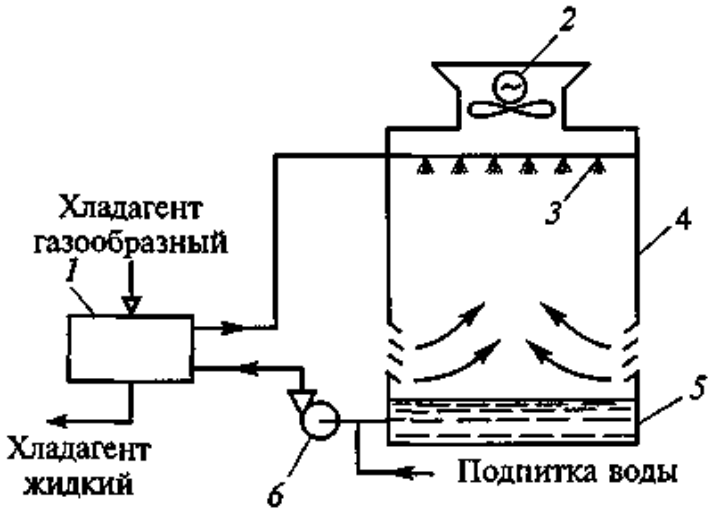



Рис. 8.8. Система оборотного водоснабжения (разомкнутая):

*1* — конденсатор холодильной машины; *2* — вентилятор; *3* — форсунки; *4* — градирня; *5* — поддон; *6* — циркуляционный насос

Разомкнутая схема (рис. 8.8) более простая, но требует установки фильтров в циркуляционном контуре. Из поддона *5* градирни *4* вода циркуляционным насосом *6* подается в конденсатор *1* холодильной машины. Подогретая вода из конденсатора распыляется во внутреннем объеме градирни посредством форсунок *3*. Мелкие капли воды падают вниз и обдуваются потоком наружного воздуха, двигающегося противотоком по отношению к каплям. Часть воды с поверхности испаряется, при этом температура капель воды понижается. Охлажденная вода собирается в поддоне *5* и повторно подается насосом в конденсатор. Количество испарившейся воды компенсируется подпиткой из внешнего источника, например, водопроводной сети.

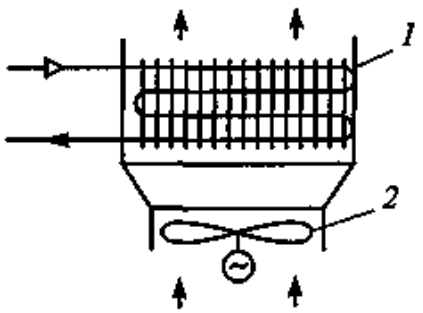



Рис. 8.9. Воздушная система охлаждения:

*1* — конденсатор; *2* — вентилятор

Схема отвода теплоты конденсации в воздух окружающей среды показана на рис. 8.9. Охлаждающий воздух вентилятором *2* принудительно подается на обдув оребренной теплообменной поверхности конденсатора *1*. Подогретый в конденсаторе воздух отводится за пределы аппарата. Если конденсатор с воздушным охлаждением размещают снаружи здания (на стене здания), то теплый воздух после конденсатора рассеивается в окружающую среду. Если конденсатор с воздушным охлаждением устанавливается в помещении, то это помещение следует оснащать приточно-вытяжной вентиляцией для отвода подогретого воздуха.

# Глава 9. МОНТАЖ ХЛАДОНОВЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

## 9.1. Требования к монтажу

Работы по монтажу холодильной установки начинаются при наличии утвержденного проекта. К монтажу холодильного оборудования рабочие допускаются после проведения инструктажа по технике безопасности и правилам пожарной безопасности.

**Основные правила монтажа.** Монтаж холодильного оборудования и трубопроводов должен производиться с соблюдением требований техники безопасности в строительстве, правил пожарной безопасности при проведении сварочных и других огневых работ.

К сварке сосудов и трубопроводов допускаются сварщики, имеющие удостоверение об аттестации в соответствии с Правилами аттестации сварщиков, утвержденными Госгортехнадзором России. При сварке аппаратов (сосудов) следует руководствоваться техническими условиями (ТУ) на изготовление сосудов и Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.

При подключении холодильной машины к электросети и монтаже электрооборудования следует руководствоваться Правилами устройства электроустановок (ПУЭ). Приспособления, предназначенные для обеспечения удобства монтажных работ и безопасности рабочих (лестницы, стремянки леса, подмостки и др.), должны обеспечивать безопасность. Запрещается производить работы на оборудовании (или под ним), если оно находится в приподнятом положении и поддерживается лебедками, домкратами и другими подъемными механизмами Особенности монтажа хладоновых холодильных машин и установок связаны со свойствами хладагента: его высокой текучестью, хорошей взаимной растворимостью со смазочными маслами, низкой растворимостью в нем воды и т. д.

Холодильные машины поступают на монтаж обычно агрегатированными, их собирают и испытывают на заводах-изготовителях холодильного оборудования. На месте монтажа проверяют комплектность поступившего оборудования, все части машины очищают от защитной смазки. Агрегаты, установленные на фундаменты, выверяют по уровню или отвесу. В охлаждаемых камерах закрепляют батареи или воздухоохладители, устанавливают вспомогательные аппараты и прочее оборудование. Приборы автома-

тики подключают к щитам управления и сигнализации. Изготавливают по месту и монтируют трубопроводы. Монтируют электропровод к компрессору.

По окончании монтажа системы ее испытывают на герметичность, после чего изолируют трубы и аппараты, в которых хладагент имеет низкую температуру в процессе эксплуатации (испаритель, теплообменники, всасывающие, рассольные трубопроводы, трубопроводы от терморегулирующего вентиля до испарителя). Затем заполняют систему маслом, хладагентом и приступают к пуску и наладке работы холодильной установки.

**Требования к монтажу трубопроводов.** Изготовленные участки трубопроводов до монтажа должны быть подвергнуты механической чистке, обезжириванию, химической очистке и осушке.

Если медные трубопроводы поставляются на место монтажа в отожженном виде с очищенной внутренней поверхностью, то они должны быть заглушены с обеих сторон с помощью опрессовки или пластмассовых заглушек. Обрезку концов труб можно производить, когда температура заглушенного трубопровода сравняется с температурой воздуха в помещении, чтобы атмосферная влага не сконденсировалась на холодной внутренней поверхности трубопровода и не осталась в системе после монтажа. По этой же причине в холодное время года нельзя перевозить по улице открытые трубы. При монтаже трубопроводов необходимо обеспечить герметичность соединений, исключить попадание в систему грязи и воды. Фланцевые, сварные и иные соединения трубопроводов не должны размещаться в стенах, перекрытиях и других недоступных для ремонта местах.

**Требования к монтажу запорной аппаратуры.** Трубопроводы изготавливают из меди, при диаметрах свыше 20 мм применяют сталь. Медные трубки не должны иметь трещин, вмятин, изломов. Изгибы трубопроводов должны быть плавными. Стенки трубок на изгибах не должны собираться в гофры, на изгибах не допускаются сломы.

Стыки термоизолирующих трубок должны быть проклеены скотчем.

Термоизолированные хладоновые трубопроводы должны быть защищены от механических воздействий по всей длине. Термоизоляция не защищенных от механических воздействий хладоновых трубопроводов должна быть защищена от атмосферных воздействий армированным влагостойким скотчем.

Хладоновые трубопроводы в штробах должны быть закреплены через каждые 0,6 м. В штробах на поворотах крепить трубопроводы нужно обязательно. Ширина и глубина штроба должна быть достаточной для того, чтобы после укладки коммуникаций осталась возможность перекрыть их штукатурным раствором на глубину не менее 20 мм.

Закладывать в штробы трубопроводы с паяными стыками, как правило, не допускается. В технически обоснованных случаях это возможно при условии проверки паяных стыков под избыточным давлением 20 бар (2 МПа) в течение 18 ч до заделки штроба. Давление в трубопроводе в течение 18 ч может меняться только на значение, соответствующее изменению температуры окружающего воздуха. При прокладке хладоновых трубопроводов в ограждающих конструкциях (стенах, междуэтажных перекрытиях) следует устанавливать стальные или пластмассовые гильзы. После установки гильза заделывается цементным раствором. В порядке исключения, допускается прокладывать хладоновые трубопроводы без термоизоляции. Однако в этом случае пустоты в гильзе должны быть на всю глубину заполнены вспенивающимся герметиком. Допускается прокладка хладоновых трубопроводов за подвесным потолком без защиты от механических воздействий. Трубопроводы подвешиваются на специальные кронштейны.

Крепление хладоновых трубопроводов к уже существующим прочим коммуникациям, подвескам подвесного потолка не допускается. Паяные соединения на термоизолированном трубопроводе отмечаются полоской белого скотча шириной 1 см.

При монтаже машин, аппаратов и трубопроводов ручную запорную арматуру следует устанавливать по ходу движения хладона. На уравнительных линиях допускается любое расположение запорной арматуры.

Электромагнитные вентили устанавливаются в соответствии с указаниями инструкции завода-изготовителя.

Устанавливать запорные вентили маховичками вниз запрещается.

Для предохранения от вибраций манометры подключают к испытываемому узлу с помощью петлеобразной трубки.

**Требования к припоям.** Пайка медных трубопроводов производится методом газопламенной пайки с заполнением внутренней полости паяемой медной трубы осушенным чистым азотом для предотвращения образования на внутренней поверхности окислов меди. Зазор между паяемыми поверхностями медной трубы должен быть до 0,15 мм.

Остатки паяльного флюса должны быть удалены с внешней поверхности медной трубы не позднее чем через 4 ч после окончания пайки. Удаление остатков паяльного флюса производится жесткой металлической щеткой с последующей промывкой поверхности теплой водой.

Трехкомпонентные медно-фосфорные припои с содержанием серебра до 15 % предназначены для высокотемпературной пайки в холодильной промышленности. Они имеют сравнительно небольшую температуру плавления, обладают хорошей текучестью при пайке меди и некоторых ее сплавов. Из-за присутствия в составе припоя фосфора не требуется применение флюса. Паяные швы

отличаются значительной прочностью и удовлетворительной коррозионной стойкостью. Припои широко используются при монтаже холодильного оборудования для соединений, испытывающих незначительные вибрационные и ударные нагрузки, причем с увеличением содержания серебра пластичность увеличивается. При пайке элементов арматуры с нетермостойкими элементами (ТРВ, вентили, смотровые стекла) для предотвращения недопустимого перегрева требуется охлаждение последних.

Медно-фосфорные припои не применяются для пайки сталей из-за образования хрупкой пленки фосфитов по границе шва, что может привести к нарушению герметичности соединения.

Основные характеристики медно-фосфорных припоев приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

**Основные характеристики медно-фосфорных припоев**

| Марка | Химический состав, % | | | Температура, °С | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Ag | Cu | P | плавления | растекания |
| 102 | 2 | 91,3 | 6,7 | 645 | 820 |
| 105 | 5 | 88,5 | 6,5 | 630 | 780 |
| 115 | 15 | 80,2 | 4,8 | 650 | 800 |

Примечание. 102 (содержание серебра 2 %). Имеет среднее растекание. Рекомендуется использовать при монтаже холодильных систем для пайки меди и ее сплавов в соединениях, не испытывающих больших вибрационных и ударных нагрузок.

105 (содержание серебра 5 %). Пластичен, обладает медленным растеканием, поэтому способен заполнять большие зазоры. Паяный шов выдерживает небольшие вибрационные и ударные нагрузки. Рекомендуется для пайки меди и ее сплавов в изделиях холодильной техники.

115 (содержание серебра 15 %). Пластичен из-за высокого содержания серебра и пониженного содержания фосфора. Рекомендуется для пайки соединений меди и ее сплавов. Паяный шов выдерживает умеренные вибрационные и ударные нагрузки. Применяется при пайке холодильных установок.

Серебряные припои имеют низкую температуру плавления и хорошо смачивают соединяемые поверхности. Они прекрасно заполняют зазоры соединений и дают плотные швы, обладающие высокой прочностью и пластичностью, способные выдерживать значительные вибрационные и ударные нагрузки в большом диапазоне рабочих температур. Они широко применяются при изготовлении и монтаже холодильного оборудования, особенно при пайке соединений, испытывающих значительные вибрационные нагрузки, например при пайке трубопроводов к компрессору. Более низкая температура растекания по сравнению с медно-фос-

форными припоями делает их предпочтительными для пайки арматуры (ТРВ, смотровых стекол, вентилей). Кроме того, снижается вероятность образования окалины.

Основные характеристики серебряных припоев приведены в табл. 9.2.

Таблица 9.2

**Основные характеристики серебряных припоев**

| Марка | Химический состав, % | | | | Температура, °С | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ag | Cu | Zn | Sn(Cd) | плавления | растекания |
| 1530 | 30 | 27 | 21 | 21Cd | 607 | 685 |
| 530Sn | 30 | 36 | 32 | 2Sn | 665 | 755 |
| 538Sn | 38 | 31 | 28,8 | 2,2Sn | 660 | 720 |
| 540Sn | 40 | 30 | 28 | 2Sn | 650 | 710 |
| 545Sn | 45 | 27,5 | 25,5 | 2Sn | 640 | 680 |
| 555Sn | 55 | 21 | 22 | 2Sn | 630 | 660 |

Примечание. 1530 (содержание серебра 30 %). Имеет среднее растекание. Хорошо заполняет большие зазоры без перегрева соединения. Припой применяется во всех изделиях за исключением изделий пищевой промышленности из-за содержащегося в нем кадмия. Пайка производится в хорошо проветриваемом помещении с соблюдением всех мер предосторожности.

530Sn (содержание серебра 30 %). Обладает средним растеканием. Хорошо формирует паяный шов в любом пространственном положении.

538Sn (содержание серебра 38 %). Обладает быстрым растеканием, что позволяет получать плотные швы при значительных монтажных зазорах.

540Sn (содержание серебра 40 %). Обладает хорошим растеканием. Рекомендуется для пайки меди, сталей в любых сочетаниях для соединений, испытывающих значительные вибрационные и ударные нагрузки.

545Sn (содержание серебра 45 %). Обладает быстрым растеканием и имеет низкую температуру плавления. Рекомендуется для пайки элементов автоматики, боящихся перегрева (ТРВ, соленоидные вентили).

555Sn (содержание серебра 55 %). Обладает быстрым растеканием, паяные швы обладают максимальной прочностью, коррозионной стойкостью, а также высокой пластичностью и способны выдержать значительные вибрационные нагрузки в большом диапазоне температур. Рекомендуется для пайки арматуры, содержащей нетермостойкие элементы.

Пайка серебряными припоями производится с флюсом «Superflux» или аналогичным ему.

Фланцевые соединения уплотняют фреоностойкой резиной, фторопластом-4, паронитом. Последний перед установкой в разъем помещают в глицерин и подсушивают на воздухе.

**Требования к соединению трубопроводов с помощью отбортовки.** Трубопроводы малого диаметра соединяют с приборами автоматики, аппаратами и между собой с помощью отбортовки.

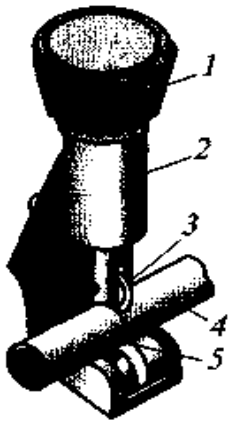



Рис. 9.1. Труборез:

*1* — маховик; *2* — винт; *3* — режущий нож; *4* — обрезаемая труба; *5* — направляющие ролики

Перед отбортовкой конец медной трубы отрезают строго перпендикулярно оси специальным труборезом (рис. 9.1) или ножовкой и отжигают до малинового цвета (600 °С) с последующим охлаждением на воздухе. Отбортовку выполняют с помощью специального ручного приспособления (отбортовки), состоящего из двух металлических колодок (губок), соединяемых откидным винтом, и конического упорного винта в передвижной скобе (рис. 9.2).

Торцы труб зачищают по внутренней и наружной поверхности напильником. Медные трубопроводы изгибают по шаблону, которым может служить стальная проволока. Трубы гнут с помощью стальных пружин плотной навивки из проволоки диаметром 3 мм или на трубогибах (рис. 9.3), ролики которых и наружную поверхность труб смазывают техническим вазелином. Изготовленные трубопроводы очищают от загрязнений и окалины. Для этого трубы заполняют 5%-ным раствором серной кислоты на 2 ч. Затем кислоту сливают и трубопровод нейтрализуют 10%-ным раствором кальцинированной соды, промывают водой и пассивируют в

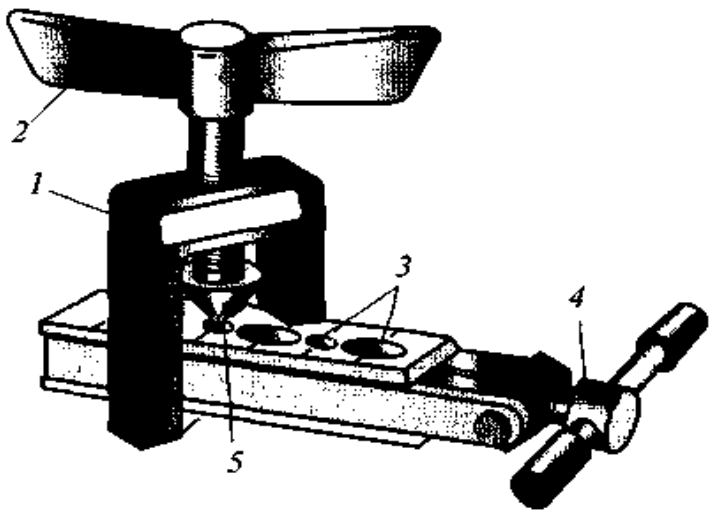



Рис. 9.2. Приспособление для отбортовки медных труб:

*1* — передвижная скоба; *2* — рукоятка силового винта; *3* — губки; *4* — винт; *5* — конус-пуансон

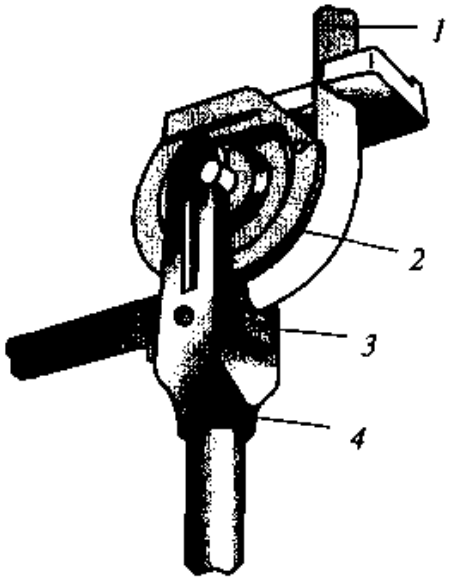



Рис. 9.3. Трубогиб:
*1* — изгибаемая трубка; *2* — сектор; *3* — прижим; *4* — рукоятка

20%-ном растворе нитрита натрия, затем продувают сухим воздухом или азотом.

Трубопроводы крепят с помощью хомутов, подвесок или кронштейнов через 1... 1,5 м с уклоном до 2 % в сторону движения паров хладагента. Диаметры трубопроводов должны соответствовать проекту. Соблюдение этих условий обеспечивает возврат масла из системы в компрессор.

**Требования к размещению компрессорно-конденсаторных агрегатов.** Эти агрегаты размещают недалеко от холодильных камер в коридоре или специальном машинном отделении, температура воздуха в которых колеблется от 5 до 40 °С. Для агрегатов, размещаемых в коридорах, предусматривают сетчатое ограждение. Холодильные агрегаты запрещено размещать на лестничных площадках, под лестницами, вблизи отопительных приборов. Холодильный агрегат производительностью до 1750 Вт можно устанавливать на специальную жесткую подставку, изготовленную из угловой стали. В верхнем каркасе подставки размещают крышку из досок толщиной 40 мм. Под раму агрегата прокладывают резиновый коврик толщиной 8... 15 мм и крепят машину к крышке подставки четырьмя болтами. Холодильный агрегат производительностью более 1750 Вт крепят на фундамент, изготовленный из бетона или красного обожженного кирпича на цементном растворе (рис. 9.4). Заглубление фундамента определяют по характеру грунта, но в любом случае оно должно быть не менее 200 мм. Для фундамента основанием является

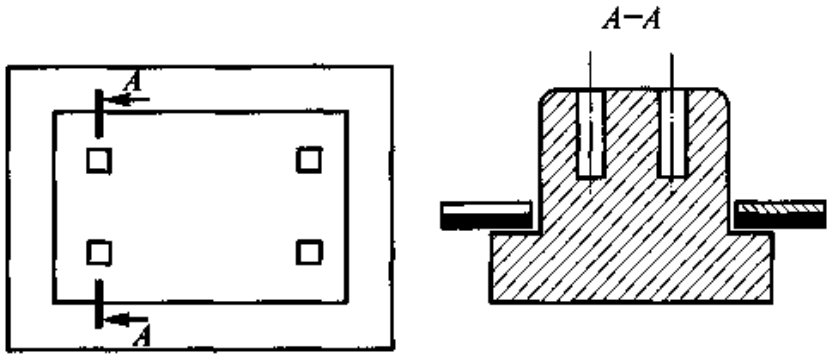



Рис. 9.4. Жесткий фундамент для холодильных агрегатов

подушка из песка толщиной 400...500 мм. Каждый слой песка 100...150 мм поливают водой и тщательно утрамбовывают. В зданиях, собираемых из железобетонных элементов, жесткие фундаменты не применяют, так как вибрации, возникающие при работе холодильной машины, передаются от фундамента через строительные конструкции и коммуникации в жилые помещения.

Эффективный способ борьбы с вибрацией и шумом — использование виброизолирующих фундаментов для агрегатов (рис. 9.5). Нижнюю опорную плиту фундамента отливают непосредственно в бетонной подготовке пола.

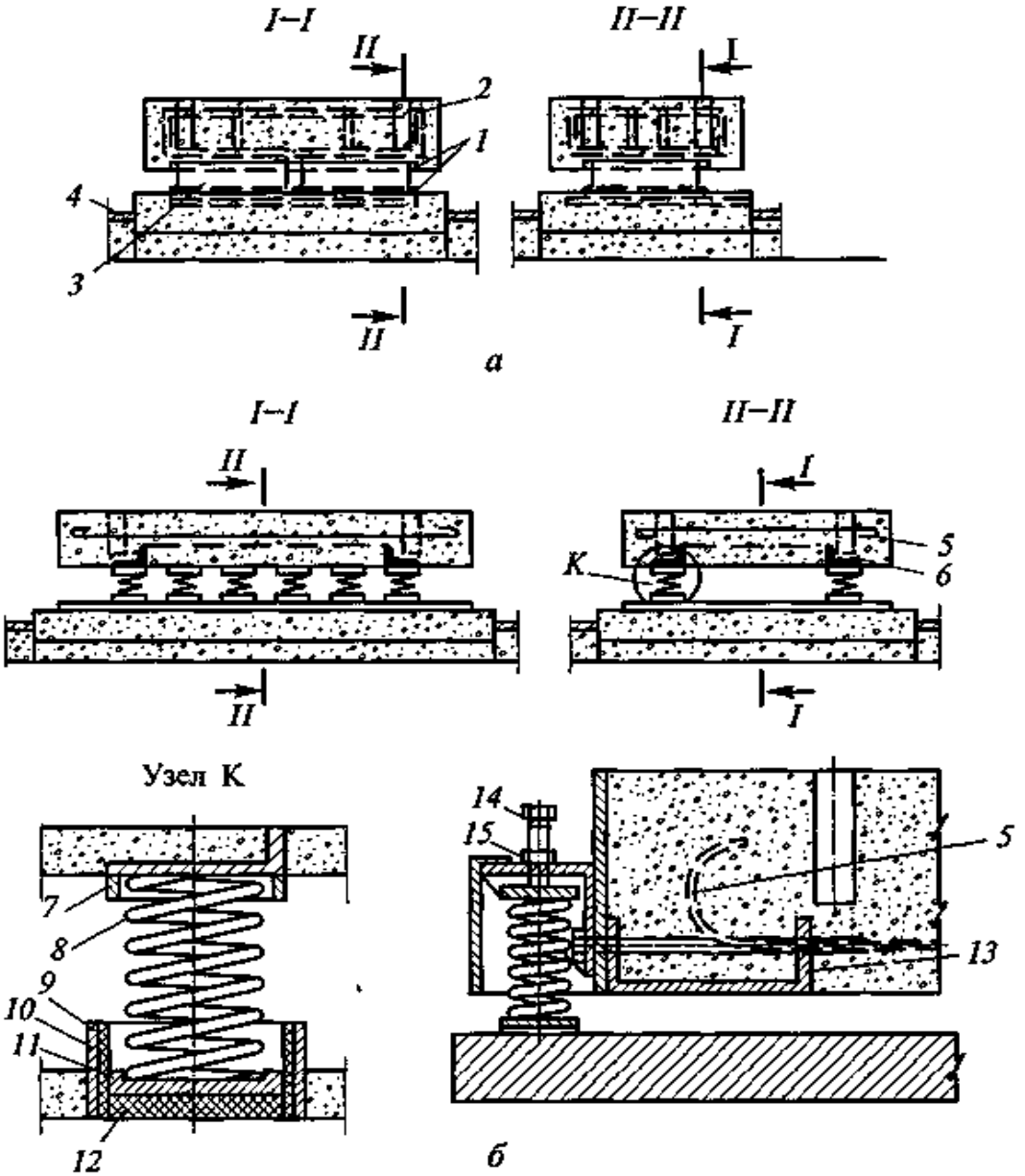



Рис. 9.5. Виброизолирующие фундаменты для холодильных агрегатов:

*а* — фундамент с резиновыми подушками: *1* — каркас; *2* — арматура; *3* — резиновая подушка; *4* — деревянная доска; *б* — фундамент на пружинных амортизаторах: *5* — арматура; *6* — каркас; *7* — верхний стакан; *8* — пружина; *9* — резиновый обод; *10* — нижний стакан; *11* — подпятник; *12* — резиновая прокладка; *13* — швеллер; *14* — регулировочный болт; *15* — гайка

Каркас фундамента с резиновыми подушками изготавливают из стальной полосы размером 40×4 мм. Между резиновой подушкой и каркасом помещают деревянную доску толщиной 15 мм.

Пружинные амортизаторы делают из стальной проволоки диаметром 6 мм. При воздушном охлаждении конденсатора объем помещения, где размещен агрегат, должен быть не менее 17 $м^3$ на 1 кВт холодопроизводительности, либо помещение должно быть снабжено приточно-вытяжной вентиляцией из расчета 800 $м^3/ч$ на 1 кВт холодопроизводительности.

При монтаже конденсатора с воздушным охлаждением расстояние между ним и стеной должно быть не менее 0,2 м.

Охлаждающие батареи монтируют на кронштейнах горизонтально, соблюдая расстояние от стены до испарителя 120 мм и от потолка до верхней секции 300...400 мм.

Воздухоохладители закрепляют на кронштейнах на расстоянии 300...400 мм от потолка и 300...400 мм от стены. Направление движения воздуха через воздухоохладитель должно быть от стены внутрь камеры (воздух должен просасываться через теплообменник). Под испарителями закрепляют поддон для сбора конденсата при оттаивании снеговой шубы, поверхность батарейных испарителей закрывают щитками, которые предохраняют продукты от промерзания и способствуют более правильной циркуляции воздуха через испаритель. Вспомогательные аппараты (фильтр-осушитель, теплообменник) монтируют на кронштейнах вне холодильных камер в тех местах, которые наиболее удобны для прокладки трубопроводов. Если на всасывающем трубопроводе необходимо предусмотреть участок длиною более 3 м с движением хладона вверх, то перед ним делают маслоподъемную петлю. Одна маслоподъемная петля подымает масло на 7 м. Если в системе хладагент R22, то всасывающий и жидкостный трубопроводы не должны касаться друг друга и изолируются отдельно. Если же в системе хладагент R12, то всасывающий и жидкостный трубопроводы могут касаться друг друга, образуя теплообменник. Оба трубопровода крепят общими колодками через каждые 1,5 м на некотором расстоянии от стены. Для монтажа трубопроводов используют медные трубы, поставляемые комплектно с холодильной машиной.

Из автоматических приборов при монтаже холодильных машин, поставляемых комплектно, могут монтироваться по месту реле температуры и терморегулирующие вентили. Реле температуры желательно располагать вне камеры. Термочувствительный баллон следует ввести через отверстие в стене внутрь камеры и закрепить на стене в отдалении от дверей и испарителей. При возможности терморегулирующий вентиль монтируют на участке трубопровода вне камеры. Производительность терморегулирующего вентиля должна соответствовать общей величине теплопередающей поверхности подключаемых испарителей.

Щит электроуправления с автоматическими выключателями и магнитными пускателями располагают вблизи холодильного агрегата на стене на высоте 1,5 м от пола. Зазор между панелью щита и стеной не должен быть менее 30 мм. Заземлению подлежат: холодильный агрегат, щит электроуправления, воздухоохладители, соленоидные вентили, реле температуры, трубы и бронешланги, в которых проложена электропроводка. После окончания электромонтажных работ и подключения автоматических приборов проверяют сопротивление электрической изоляции, которое должно быть не менее 500 кОм. Сопротивление контура заземления не должно превышать 4 Ом. Для удаления воздуха из системы смонтированные трубопроводы и охлаждающие приборы вакуумируют с помощью вакуумного насоса. По окончании вакуумирования, открывают жидкостный вентиль и поднимают давление в системе до значения, несколько меньшего, чем давление насыщенных паров хладона при температуре окружающей среды. С помощью течеискателя проверяют герметичность соединений.

## 9.2. Испытание установки на прочность и плотность

Смонтированная система трубопроводов и аппаратов (сосудов) до заполнения хладоном, до окраски и изоляции должна быть испытана на плотность и прочность пробным давлением раздельно по сторонам высокого и низкого давлений с составлением актов об испытании. Испытание аппаратов (сосудов) давлением может быть гидравлическим с заполнением сосуда для хладоновых холодильных машин маслом (испытание водой запрещается) либо пневматическим на такое же пробное давление сухим инертным газом (азотом или углекислым газом) или сухим воздухом с точкой росы не более –40 °С.

Избыточное (манометровое) давление испытания аппаратов (сосудов) и трубопроводов приведено в табл. 9.3.

Если оборудование выполнено в тропическом исполнении, то почти все значения по стороне высокого давления для R22 увеличиваются на 3 бара. Под пробным давлением система трубопроводов (или участок) должна находиться не менее 5 мин.

После испытаний на прочность система должна быть испытана на плотность с выдержкой под давлением в течение 18 ч с записью давления в журнале каждый час. В течение первых 6 ч давление может меняться за счет выравнивания температур внутренней и окружающей среды. В течение последующих 12 ч давление не должно меняться при условии постоянства температуры окружающего воздуха, в противном случае должен быть произведен пересчет. Испытание осуществляют с помощью специального компрессора или баллона высокого давления.

Таблица 9.3

**Избыточное (манометровое) давление испытания аппаратов (сосудов) и трубопроводов**

| Хладагент | Сторона давления | Охлаждение конденсатора | Давление испытания, бар | |
|---|---|---|---|---|
| | | | на плотность | на прочность |
| R12 | высокого | воздухом | 16 | 21 |
| | низкого | — | 10 | 13 |
| R22 | высокого | воздухом | 20 | 27 |
| | | водой | 18 | 24 |
| | низкого | — | 16 | 21 |

При испытании для создания давления в системе запрещается использовать хладоновый компрессор. Перед испытаниями снимают предохранительные клапаны и на их место ставят заглушки. Затем открывают запорные вентили, в том числе электромагнитные (соленоидные). Редуктор баллона соединяют с наполнительным вентилем системы. Утечку газа тщательно проверяют обмыливанием швов и соединений. По завершении осмотра сбрасывают давление. Для устранения течи подтягивают гайки, заменяют прокладки, делают перевальцовку концов труб, зачистку и пайку швов. После устранения неисправностей повторяют испытания и осмотр.

Испытание аппаратов (сосудов) и трубопроводов пробным давлением должно проводиться с соблюдением следующих мер безопасности:

вентиль на наполнительном трубопроводе и манометры должны быть выведены от источника давления за пределы охранной зоны. Находиться кому-либо в этой зоне в период нагнетания воздуха или инертного газа и при выдерживании пробного давления запрещается;

на испытываемом аппарате (сосуде) или системе трубопроводов должно быть не менее одного предохранительного клапана, отрегулированного на открытие при давлении, превышающем соответствующее пробное давление не более чем на 1 бар. При проведении испытаний системы трубопроводов и аппаратов (сосудов) на плотность с определением падения давления на время испытания охранную зону не устанавливают.

По окончании испытания должно быть проведено вакуумирование системы трубопроводов и аппаратов (сосудов) для их осушки при температуре окружающего воздуха не менее 15 °С. Испытание на плотность вакуумированием проводят, заменяя мановакуумметр специальным вакуумметром и соединяя систему вакуумным шлан-

гом с вакуум-насосом. Для этого открывают все вентили на соединительных линиях и производят вакуумирование системы.

После достижения остаточного давления 1,0 кПа (8 мм рт. ст.) рекомендуется продолжить вакуумирование в течение 18 ч, после чего испытать систему на вакуум.

При испытании система должна оставаться под вакуумом в течение 18 ч с записью давления через каждый час.

В течение первых 6 ч допускается повышение давления не более чем на 0,5 кПа (4 мм рт. ст.). В остальное время давление может изменяться только на значение, соответствующее изменению температуры окружающего воздуха. После заполнения установки хладоном должна быть проведена дополнительная проверка плотности всех соединений системы с помощью течеискателя. Испытание на плотность хладоном проводят после успешных испытаний системы на плотность азотом и вакуумированием. Температура в помещении должна быть не ниже 15 °С. Вакуумированную систему заполняют газообразным хладоном, для этого соединяют ее с баллоном хладона. Заполнение хладоном продолжают до тех пор, пока давление хладона в системе продолжает возрастать, массу баллона контролируют с помощью весов. По окончании заполнения системы баллон отсоединяют, перекрыв соответствующие вентили.

Все соединения, сальники, швы, предохранительные клапаны, вентили проверяют на отсутствие утечек хладона с помощью течеискателя. Обнаружение утечки хладона помимо обычных способов осуществляют по масляным подтекам, так как хладоны растворяются с маслом и обладают высокой текучестью. Разрешается лишь незначительно подтягивать болты или накидные гайки для устранения обнаруженных неплотностей. Если достичь этого не удается, то из предварительно отключенного вентилями участка системы откачивают хладон до атмосферного давления в баллоны. Испытания повторяют после устранения течи. Заключительным этапом испытания на герметичность хладоном является выдержка машины под давлением паров хладона на сутки. При сохранении давления холодильная машина считается выдержавшей испытания.

Утечки малой интенсивности обнаруживают с помощью галоидных ламп и электронных течеискателей.

Анализируемая смесь просасывается через датчик течеискателя. При отыскании грубых течей чувствительность течеискателя можно снизить. Течеискатели снабжены звуковыми, световыми или стрелочными (показывающими) индикаторами течи. Галоидные лампы могут работать на этиловом спирте, бензине или пропане. Пропановая лампа состоит из пропанового баллона, регулятора подачи пропана, горелки, эжектора, медной сетки, резинового шланга. Лампу зажигают и ждут, пока медная сетка (или колечко) не нагреется до 600 °С (медь становится малинового цвета). Держа лампу в руке,

подносят конец резинового шланга к местам возможных утечек и следят за цветом пламени. При горении лампы происходит подсасывание воздуха по шлангу к горелке. При малых утечках хладона пламя становится зеленым, при больших — фиолетовым. Пары хладона тяжелее воздуха, поэтому проверку утечек ведут снизу вверх. Сосуды и аппараты, содержащие жидкий хладагент должны иметь предохранительные клапаны или плавкие пробки. Предохранительный клапан устанавливается в паровом пространстве аппарата, а плавкая пробка — ниже уровня жидкости. Температура плавления материала плавких пробок должна превышать не более чем на 5 °С температуру насыщения хладагента, соответствующую давлению испытания на прочность защищаемого аппарата.

## 9.3. Монтаж торгового холодильного оборудования

При доставке торгового холодильного оборудования необходимо соблюдать осторожность, избегать ударов и толчков. Торговое холодильное оборудование располагают в торговых залах, производственных цехах. Шкафы, прилавки, льдогенераторы, прилавки-витрины и другое оборудование устанавливают на пол по отвесу. Температура в помещении не должна превышать 40 °С. Оборудование размещают, исключая возможность прямого воздействия на него солнечных лучей, вдали от отопительных батарей таким образом, чтобы обеспечить удобство обслуживания. Минимальное расстояние между торговым холодильным оборудованием и отопительными приборами должно составлять 2 м. Между конденсатором воздушного охлаждения и стеной следует оставлять расстояние не менее 200 мм.

Подготовку и пуск холодильной машины должен производить механик, имеющий удостоверение на право монтажа и обслуживания хладоновых холодильных установок.

Холодильное оборудование к электрической сети подключает квалифицированный специалист — электрик. Перед подключением к сети необходимо заземлить холодильный агрегат и щит электроуправления, проверить соответствие соединения обмоток электродвигателей на клеммнике агрегата, проверить соответствие напряжения, указанного на катушке магнитного пускателя, напряжению сети. Проверяют отсутствие задевания крыльчатки вентилятора о диффузор вращением ее рукой. Включают на несколько секунд агрегат (запорные вентили компрессора должны быть открыты) нажатием кнопки «Пуск» автоматического выключателя, проверяя соответствие направления вращения вентилятора стрелке на конденсаторе (воздух должен просасываться через конденсатор). При несовпадении направления вращения меняют местами положение любых двух фаз. В агрегатах с сальниковыми компрессорами проворачивают вал компрессора вручную на 2...3 обо-

рота, проверяют правильность натяжения ремней, подключают оборудование к электросети. При подготовке оборудования к пуску следует установить в рабочее положение амортизаторы компрессорно-конденсаторного агрегата, проверить герметичность арматуры и всех разъемных соединений.

Для проверки герметичности снимают пломбы с агрегата и отворачивают колпачки запорных вентилей; проверяют, закрыты ли вентили. Затем приоткрывают и тут же снова закрывают жидкостный вентиль на ресивере, впуская хладон в систему и повышая в ней давление. С помощью течеискателя окончательно ищут утечки хладона.

Перед пуском открывают нагнетательный, всасывающий и жидкостный вентили. После пуска холодильной машины механик наблюдает за работой оборудования в течение трех дней: в первый день — 8 ч, во второй и третий день — по 2 ч.

## 9.4. Монтаж сборных холодильных камер

Сборные камеры типа КХ монтируют в сухих хорошо проветриваемых помещениях высотой не менее 2,5 м. Площадь для камер КХ-6 равна 4 м$^2$, для камер КХ-12 — 7 м$^2$, для камер КХ-18 — 10 м$^2$. Камеру собирают на ровном полу вдали от отопительных приборов, вне прямого воздействия солнечных лучей. Монтаж камеры начинают со сборки пола из щитов с окончательной затяжкой соединительных болтов. Затем устанавливают последовательно угловые, боковые и передние щиты. Сверху укладывают щиты потолка, соединяя их предварительно закладными болтами. После предварительной сборки поочередно затягивают установочные болты, обеспечивая герметичность стыков. Камеру оснащают рамой для испарителей, полками для продуктов, поддоном и сборником талой воды, крюками для подвески туш, светильниками, термометром, дверной ручкой, напольными решетками. Холодильный компрессорно-конденсаторный агрегат устанавливают рядом с камерой в месте, обеспечивающем удобство его обслуживания. Устанавливают и закрепляют испарители на кронштейны внутри камеры. Окончательно монтируют трубопроводы. Отверстия в щитах заполняют тепловой изоляцией и глушат резиновыми пробками. Современные камеры собирают на замках. Холодильные агрегаты — моноблоки навешиваются на стену камеры перед установкой потолка. Существуют конструкции, в которых моноблок устанавливается на крышу камеры. Необходимо помнить о свободном объеме помещения, часть которого занимает сама камера, или приточно-вытяжной вентиляции для отвода теплоты конденсации. Особенно это важно для агрегатов, расположенных на крыше камеры, так как температура воздуха на высоте 2 м может быть летом на 5 °С выше, чем у пола.

## 9.5. Заполнение холодильных установок хладоном и маслом

Перед заполнением системы хладоном все компрессоры, аппараты и трубопроводы должны быть тщательно очищены от загрязнений, осушены и вакуумированы. Необходимо удостовериться в том, что в баллоне (или контейнере) содержится соответствующий хладон. Проверка производится по давлению при температуре баллона, равной температуре окружающего воздуха. Перед проверкой баллон должен находиться в данном помещении не менее 6 ч. Зависимость давления хладона от температуры окружающего воздуха проверяется по таблице насыщенных паров. Открывать колпачковую гайку на вентиле баллона необходимо в защитных очках и резиновых перчатках. При этом выходное отверстие вентиля баллона должно быть направлено от рабочего.

Заполнение системы хладоном массой менее 10 кг производится через всасывающий вентиль, массой более 10 кг — только через заправочный вентиль на жидкостном трубопроводе. При заполнении системы следует пользоваться осушительным фильтром.

Для присоединения баллонов к системе разрешается пользоваться отожженными медными трубами или маслобензостойкими шлангами, испытанными давлением на прочность и плотность согласно инструкции. Запрещается нагревать баллоны при заполнении системы хладоном. Запрещается оставлять баллоны с хладоном, присоединенными к холодильной установке, если не производится заполнение или удаление из нее хладона. Заполнение хладоном агрегатированных хладоновых установок осуществляется на заводе-изготовителе. Пополнение установок должно производиться в соответствии с требованиями, изложенными в инструкции по эксплуатации. Баллоны с хладоном должны храниться на специальном складе. В машинном отделении разрешается хранить не более одного баллона с хладоном. Баллон запрещается помещать у источников тепла (печей, паровых труб и т.д.), токоведущих кабелей и проводов.

При наполнении баллонов хладоном из системы должны использоваться только баллоны с непросроченной датой их технического освидетельствования. Норма заполнения не должна превышать следующих значений: для R22 — 1,0 кг газа на 1 л вместимости баллона; для R12 — 1,1 кг соответственно.

Проверка наполнения баллонов должна выполняться взвешиванием. Первоначальное заполнение системы хладоном должно оформляться актом (с приложением расчета количества хладона, необходимого для зарядки системы). Для холодильных машин акт о первоначальном заполнении системы хладоном не составляют (при отсутствии утечки хладона из машины при ее транспортировании).

Освидетельствование и эксплуатация баллонов должны производиться в соответствии с требованиями Правил устройства и бе-

зопасной эксплуатация сосудов, работающих под давлением. Баллоны одноразового пользования запрещается использовать вторично.

Смазочное масло в агрегатированной холодильной установке заправляется на заводе. Количество его равно массе, заполняющей картер компрессора, плюс 10 % от массы заряда хладагента в системе.

При необходимости масло дозаливают в холодильную машину (после завершения испытаний на герметичность) через испаритель, предварительно отвакуумированный. Для этого открывают запорные вентили компрессора, закрывают жидкостный вентиль. Затем к манометровому вентилю испарителя подсоединяют временный трубопровод для заливки масла, включают компрессор и отсасывают пары хладона в испарителе до давления ниже атмосферного. Опускают под уровень масла в банке свободный конец масляного заливочного трубопровода (предварительно заполнив его маслом, следя за тем, чтобы туда не проник воздух), останавливают компрессор, закрывают вентили компрессора и открывают манометровый вентиль на испарителе.

Использование хладагентов HFC порождает проблемы при сборке установок и при их обслуживании.

Проблема масел является основной, поскольку при малейшей ошибке компрессор может разрушиться. Используемые до настоящего времени с хладагентами R12, R502, R22 масла совершенно несовместимы с хладагентами HFC. Поэтому компрессоры, предназначенные для работы с новыми хладагентами HFC, заправляют специальным маслом, называемым эфирным.

Эфирные масла чрезвычайно гигроскопичны. Эти масла с водою образуют агрессивную фторводородную кислоту. Следует внимательно следить за собственной безопасностью (глаза, руки и т.д.), работая с загрязненным маслом.

Канистру с эфирным маслом нельзя оставлять открытой на воздухе более 15 мин. Операции по вакуумированию должны производиться особенно тщательно. Эфирные масла не допускается смешивать с другими маслами. Эфирные масла очень быстро перестают смешиваться с HFC в присутствии масел другого семейства.

Поскольку новые хладагенты R404A, R407C и другие агенты этой серии являются псевдоазеотропными смесями, то заправка холодильной установки ими должна производиться только в жидком виде.

Для контроля зарядки холодильной машины хладоном устанавливают баллон на весы. Закрывают жидкостный вентиль, открывают вентили на компрессоре, открывают вентиль подачи воды на конденсатор, включают компрессор, открывают заправочные вентили и осуществляют тем самым подачу хладона в испаритель.

# Глава 10. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ХЛАДОНОВЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

## 10.1. Требования к обслуживанию холодильных установок

Плановые осмотры и ревизии холодильных установок должны проводиться в соответствия с утвержденным графиком, составленным с учетом рекомендаций по эксплуатации каждой установки. Проходы вблизи машин и аппаратов должны быть все свободны, а полы проходов — в исправном состоянии.

Подходить к движущимся частям машины разрешается только после полного их останова и принятия всех мер против пуска машин посторонними лицами. Запрещается эксплуатировать холодильные установки с неисправными приборами защитной автоматики.

Курение и пользование открытым пламенем в машинных отделениях (а также в других помещениях, где установлено холодильное оборудование) запрещается. Пуск холодильной установки после ее остановки на продолжительное время (более 24 ч) может быть произведен только после проверки исправности установки и с разрешения лица, ответственного за безопасную эксплуатацию.

Эксплуатация холодильной установки должна быть отражена в суточном журнале ее работы. При обслуживании холодильной установки должен производиться визуальный осмотр оборудования, проверка его герметичности, очистка поверхности оборудования от грязи и пыли. Замеченные дефекты должны заноситься в журнал с указанием мер по их устранению.

Для обнаружения места утечки хладона разрешается пользоваться галлоидными и другими течеискателями, мыльной пеной, полимерными индикаторами герметичности. Наличие следов масла в разъемных соединениях, пузырьков при обмыливании сварных соединений и изменение цвета пламени указывают на утечку хладона.

При обнаружении утечки хладона компрессор необходимо остановить, перекрыть запорной арматурой поврежденный участок, включить вытяжную вентиляцию и, открыв окна и двери, немедленно устранить утечки.

Вскрывать компрессоры, аппараты и трубопроводы разрешается только после того, как давление хладона будет понижено до атмосферного и остается постоянным в течение 20 мин.

Концентрация рассола, проходящего внутри труб испарителей, должна быть такой, чтобы температура замерзания рассола была на 8 °С ниже температуры кипения хладона при рабочих условиях.

Температура охлаждающей воды на выходе из рубашек цилиндров компрессора не должна быть более 45 °С. Запрещается удаление инея с батарей непосредственного охлаждения механическим способом (допускается обметание инея). При удалении снеговой шубы с охлаждавших устройств путем их нагревания давление в батареях и воздухоохладителях не должно превышать давления испытания на плотность для аппаратов (сосудов) со стороны низкого давления.

Механическая очистка от водяного камня трубок кожухотрубных аппаратов (конденсаторов и испарителей с межтрубным кипением) должна производиться только после освобождения их от хладона под непосредственным наблюдением лица, ответственного за безопасную эксплуатацию установки.

Применение сварки и пайки при ремонте машин, аппаратов и трубопроводов на действующих установках должно производиться под наблюдением старшего технического персонала и при наличии письменного разрешения лица, ответственного на предприятии за исправное состояние, правильную и безопасную эксплуатацию холодильных установок. Перед сваркой или пайкой следует удалить хладон из аппаратов и трубопроводов. В случае перерыва в работе установки в зимнее время, при опасности замерзания воды последняя должна быть удалена из всех машин и аппаратов с водяным охлаждением, а также из водяных магистралей.

Запрещается добавление к хладонам или к их смесям других дополнительных хладагентов без согласования с заводами — изготовителями хладоновых холодильных машин или агрегатов.

Запрещен выпуск хладонов в атмосферу при зарядке установок и их ремонте. Хладон следует помещать в ресиверы или технологические емкости для очистки и повторного использования.

По окончании монтажных работ, настройки приборов автоматики и проверки режима охлаждения, создаваемого холодильным агрегатом, составляется приемо-сдаточный акт о вводе оборудования в эксплуатацию. Холодильное оборудование закрепляют за определенным торговым работником, который полностью отвечает за него, следит за правильной эксплуатацией и содержит его в надлежащем порядке. Невстроенные в торговое оборудование агрегаты устанавливают на прочном основании в машинном отделении вблизи охлаждаемых объектов, а к конденсатору должен быть обеспечен свободный доступ воздуха для охлаждения.

Для подхода к установленному торговому холодильному оборудованию обслуживающего персонала, а также к агрегатам должен быть предусмотрен свободный проход. Выбор места установки оборудования в торговом предприятии оказывает большое влияние на эксплуатационные и экономические показатели его работы. При повышении температуры помещения, в котором находится оборудование, увеличиваются время работы холодильной машины и расход электроэнергии, уменьшается срок службы компрессора и т.д.

Оптимальный режим работы малых хладоновых установок поддерживается приборами автоматики.

Для получения продуктов высокого качества необходимо строго соблюдать режим их хранения. Загружать холодильные камеры, шкафы, прилавки и витрины продуктами следует лишь после пуска холодильной машины и достижения требуемой температуры. Перед загрузкой продукты должны быть охлаждены в холодильных камерах, а горячие блюда и другие теплые продукты предварительно охлаждают до температуры окружающего воздуха. Не следует полки шкафов, прилавков, витрин покрывать бумагой и другими предметами, препятствующими свободной циркуляции воздуха и нормальному охлаждению продуктов.

Между испарителем и продуктами на прилавках, в шкафах и витринах должно быть свободное расстояние не менее 4 и 10 см в камерах. Для уменьшения потерь холода двери в торговом холодильном оборудовании следует открывать по возможности реже и на короткое время. Дверь должна плотно прилегать по всему периметру: не допускаются зазоры, позволяющие свободное движение полоски бумаги шириной 100 мм хотя бы в одном месте периметра при закрытой двери. Резиновые уплотнительные прокладки для сохранения эластичности протирают тальком. Для контроля за температурой в оборудовании устанавливают термометры или специальные приборы.

Большое влияние на работу оборудования оказывает толщина слоя инея на приборах охлаждения. На испарителях он не должен превышать 2...3 мм, так как при большей толщине резко ухудшаются условия отвода теплоты из охлаждаемого объекта и нарушается режим работы установки. При оттаивании инея продукты необходимо удалить, машину остановить и открыть двери. Если оборудование укомплектовано специальными приборами для оттаивания, то удаление инея производится автоматически по мере его образования. Талая вода собирается и удаляется в канализацию, а внутренняя поверхность оборудования протирается насухо. Наружные стенки протирают ежедневно увлажненной тканью, а хромированные детали тканью, пропитанной техническим вазелином. Примерно 1 раз в неделю внутреннюю поверхность оборудования необходимо промывать сначала теплой водой с мылом, а затем чистой теплой водой. После этого оборудование оставляют на просушку.

Холодильную машину следует остановить при обнаружении неисправностей. Если холодильная машина, работающая в автоматическом режиме, длительное время не включается по неизвестным причинам, а температура в охлаждаемом объеме выше требуемой, то холодильная машина неисправна. Недопустима самовольная регулировка автоматических приборов, отвертывание колпачковых гаек и т.д.

Запрещается самовольно перемещать или сдвигать холодильные компрессорно-конденсаторные агрегаты. Не разрешается за-

громождать пространство около агрегата. Запрещается механически блокировать реле давления для предотвращения отключения холодильного агрегата.

Длительная и эффективная работа холодильного оборудования возможна лишь при своевременном и качественном выполнении ремонта. Механик проверяет работу холодильной машины во время эксплуатации и осуществляет профилактический ремонт. При этом ремонте проверяют режим работы холодильной машины и состояние оборудования, смазывают и заменяют подшипники электродвигателей, конденсатор очищают от пыли, проверяют защитное заземление и зануление, заменяют приводные ремни, проверяют работу магнитных пускателей, ремонтируют и заменяют резиновые уплотнения оборудования, дверные замки, запоры и др.

Ввиду сильной текучести хладона необходимо особенно тщательно следить за герметичностью системы.

Для отключения холодильной машины с целью проведения ремонта закрывают жидкостный вентиль на ресивере и отсасывают пары из испарителя. Остаточное давление в испарителе должно быть на 0,2 бар (20 кПа) выше атмосферного, чтобы избежать подсоса воздуха через возможные неплотности. Затем закрывают всасывающий вентиль, выключают электродвигатель компрессора, закрывают нагнетательный вентиль, подтягивают сальники вентилей и наворачивают колпачковые гайки. При серьезных дефектах холодильной машины ее ремонт проводят в специальных мастерских.

При среднем ремонте заменяют или ремонтируют отдельные детали или узлы компрессора (поршневые кольца, пальцы, клапаны, подшипники), устраняют течи в аппаратах, заменяют фильтры, осушители и т.д.

При капитальном ремонте производят полную разборку машины, замену или восстановление основных деталей компрессора (коленчатого вала, цилиндров, картера), замену конденсатора и других аппаратов.

Регулирование работы холодильной машины заключается в настройке автоматических приборов: терморегулирующего вентиля, реле температуры или реле низкого давления, водорегулирующего вентиля. Настройку реле температуры на заданный температурный режим производят с помощью термометров, установленных в охлаждаемом объеме. Предварительно шкальные реле давления можно настраивать без подключения манометра.

Настройку терморегулирующего вентиля в большинстве случаев производят, руководствуясь внешними признаками правильного заполнения испарителя — равномерность покрытия инеем всего испарителя и всасывающего трубопровода на расстоянии примерно 1 м от испарителя. У низкотемпературных машин при нормальной работе всасывающий трубопровод до всасывающего вентиля покрывается инеем. Компрессор обмерзать не должен.

Водорегулирующий вентиль настраивают с помощью манометра, подключаемого к нагнетательному вентилю, на оптимальное давление конденсации, которое определяется стоимостью проточной воды и электроэнергии. Подача воды прекращается после выключения компрессора. Работа малых автоматических холодильных машин считается нормальной, если в охлаждаемых объемах поддерживается заданный температурный режим, испаритель покрыт тонким равномерным слоем инея, всасывающая труба холодная.

Компрессор должен работать циклично с коэффициентом рабочего времени 0,4...0,75 при частоте включения 5...6 циклов за 1 ч. При этом должны отсутствовать: искрение, вибрация, посторонний шум, масляные подтеки. При нормальном техническом состоянии холодильного оборудования холодильный агрегат, корпус электродвигателя, щит электроуправления, соленоидный вентиль должны быть надежно заземлены (занулены). Последовательное соединение при заземлении электродвигателей и другого электрооборудования не допускается. Металлорукава длиной более 3 м заземляют с двух сторон.

Крепление проводов заземления должно быть качественным и легкодоступным для осмотра. Чрезмерное натяжение, изломы, изгибы и провисания монтажных электропроводов запрещаются. Все электроприборы и клеммные колодки закрывают кожухами или крышками, чтобы исключить случайное прикосновение к ним. Крыльчатки вентиляторов, клиноременная передача и шкив-маховик компрессора должны иметь исправное ограждение. Касание вращающихся деталей к закрепленному ограждению не допускается. Число ремней, соединяющих маховик компрессора со шкивом электродвигателя, должно соответствовать числу канавок. Натяжение ремней должно обеспечивать прогиб в средней части ремня от нажатия пальцем руки не более 10...20 мм. Расслоение ремня не допускается. Необходимо, чтобы электродвигатели работали плавно. Температура на поверхности электродвигателя не должна превышать 80 °С. Подшипники электродвигателя заполняются консистентной смазкой и закрываются крышками.

Для очистки конденсатора от загрязнений его продувают снаружи струей воздуха, подаваемого от автономного воздушного компрессора. Если на поверхности конденсатора образовался слой липкой жировой грязи, то следует промыть конденсатор теплым 3...5%-ным раствором кальцинированной соды или стирального порошка. После промывки конденсатор продувают снаружи сжатым воздухом.

## 10.2. Неисправности холодильных установок и способы их устранения

Основные неисправности холодильной установки и способы их устранения сведены в табл. 10.1.

Таблица 10.1

**Неисправности холодильной установки и способы их устранения**

| Неисправность | Возможная причина | Способ устранения |
|---|---|---|
| Установка не работает | 1. Перегорел предохранитель<br>2. Не замыкаются контакты реле температуры<br>3. Неисправна электропроводка | Заменить предохранитель<br>Настроить реле на заданную температуру<br>Устранить неисправность электропроводки или затянуть клеммы соединений |
| Компрессорно-конденсаторный агрегат не работает | 1. Перегорел предохранитель агрегата<br>2. Слишком высокая уставка реле температуры<br>3. Перегорела катушка пускателя<br>4. Подгорели контакты пускателя<br>5. Разомкнуты контакты защитного реле компрессора<br>6. Реле высокого давления отключило агрегат<br>7. Реле низкого давления отключило агрегат<br>8. Неисправна электропроводка или не затянуты клеммы соединений | Заменить предохранитель<br>Отрегулировать реле температуры<br>Заменить катушку<br>Заменить контакты<br>Определить причину и устранить перегрузку<br>См. неисправность «Высокое давление нагнетания»<br>См. неисправность «Низкое давление всасывания»<br>Устранить неисправность электропроводки или затянуть клеммы соединений |
| Электродвигатель вентилятора конденсатора не включается | 1. Неисправна электропроводка или не затянуты клеммы соединений<br>2. Перегорел электродвигатель вентилятора<br>3. Изношены подшипники электродвигателя вентилятора | Устранить неисправность электропроводки или затянуть клеммы соединений<br>Заменить электродвигатель вентилятора<br>Заменить подшипники или электродвигатель |
| Компрессор гудит, но не работает | 1. Неисправен пусковой конденсатор<br>2. Неисправно пусковое реле<br>3. Компрессор заклинен<br>4. Неисправны контакты пускателя<br>5. Низкое напряжение в электросети | Заменить пусковой конденсатор<br>Заменить пусковое реле<br>Заменить компрессор<br>Заменить контакты<br>Определить причину и устранить неисправность |
| Компрессор работает циклично, но с перегрузкой | 1. Неисправен пусковой конденсатор<br>2. Неисправно пусковое реле<br>3. Неисправен рабочий конденсатор<br>4. Недостаточна мощность защитного реле<br>5. Неисправны контакты пускателя | Заменить пусковой конденсатор<br>Заменить пусковое реле<br>Заменить рабочий конденсатор<br>Заменить защитное реле<br>Заменить контакты |

*Продолжение табл. 10.1*

| Неисправность | Возможная причина | Способ устранения |
|---|---|---|
| | 6. Низкое напряжение в электросети | Определить причину и устранить неисправность |
| | 7. Избыток хладагента в системе | Выпустить избыточное количестве хладагента |
| | 8. Недостаточно хладагента в системе | Устранить утечку хладагента и дозарядить систему |
| | 9. *Высокое давление всасывания* | *Понизить тепловую нагрузку* на испаритель или отремонтировать компрессор |
| | 10. Воздух или неконденсирующиеся газы в системе | Выпустить воздух или неконденсирующиеся газы |
| Компрессор выключается реле высокого давления | 1. Избыток хладагента в системе | Выпустить избыточное количество хладагента |
| | 2. Загрязнен конденсатор | Очистить конденсатор |
| | 3. Проскальзывает ремень вентилятора конденсатора | Заменить или натянуть ремень вентилятора |
| | 4. Не работает электродвигатель вентилятора конденсатора | См. неисправность «Электродвигатель вентилятора конденсатора не включается» |
| | 5. Воздух или неконденсирующиеся газы в системе | Выпустить воздух или неконденсирующиеся газы |
| Компрессор работает циклично, при этом выключение происходит от реле низкого давления | 1. Недостаточно хладагента в системе | Устранить утечку хладагента и дозарядить систему |
| | 2. Загрязнен или неисправен ТРВ | Очистить или заменить ТРВ |
| | 3. Неисправна термосистема ТРВ | Заменить ТРВ |
| | 4. *Загрязнен испаритель* | *Очистить испаритель* |
| | 5. Проскальзывает ремень вентилятора испарителя | Заменить или натянуть ремень вентилятора |
| | 6. Не работает вентилятор испарителя | См. неисправность «Вентилятор испарителя не работает» |
| | 7. Местное сопротивление в схеме циркуляции хладагента | Определить причину и устранить местное сопротивление |
| Шум в компрессоре | 1. Недостаточное количество масла в компрессоре | См. неисправность «Унос масла из компрессора» |
| | 2. Неисправны клапаны компрессора | Заменить клапаны или клапанную доску |
| | 3. Неправильная уставка перегрева ТРВ | Отрегулировать ТРВ |
| | 4. Заклинен ТРВ | Заменить ТРВ |
| | 5. Плохой контакт термобаллона ТРВ со всасывающим трубопроводом | Обеспечить плотный контакт |
| | 6. Избыток хладагента в системе (установка с капиллярной трубкой) | Выпустить избыточное количество хладагента |
| Унос масла из компрессора | 1. Недостаточно хладагента в системе | Устранить утечку и дозарядить в систему хладагент и масло |

*Продолжение табл. 10.1*

| Неисправность | Возможная причина | Способ устранения |
|---|---|---|
| | 2. Низкое давление всасывания<br>3. Заклинен ТРВ в закрытом положении<br>4. Местное сопротивление в системе | См. неисправность «Низкое давление всасывания»<br>Заменить ТРВ<br><br>Определить причину и устранить местное сопротивление |
| Нет охлаждения, компрессор работает непрерывно | 1. Недостаточно хладагента в системе<br>2. Неисправны клапаны компрессора<br>3. Высокое давление всасывания<br>4. Воздух или неконденсирующиеся газы в системе<br>5. Неправильная уставка перегрева ТРВ<br>6. Загрязнен или неисправен ТРВ<br>7. Загрязнен испаритель<br>8. Проскальзывает ремень вентилятора испарителя<br>9. Местное сопротивление в схеме циркуляции хладагента<br>10. Загрязнен конденсатор | Устранить утечку хладагента и дозарядить систему<br>Заменить клапаны, клапанную доску или компрессор<br>См. неисправность «Высокое давление всасывания»<br>Выпустить воздух или неконденсирующиеся газы<br>Отрегулировать ТРВ<br><br>Заменить ТРВ<br><br>Очистить испаритель<br>Заменить или натянуть ремень вентилятора<br>Определить причину и устранить местное сопротивление<br>Очистить конденсатор |
| Установка вырабатывает слишком много холода; компрессор работает непрерывно | 1. Очень низкая уставка реле температуры<br>2. Реле температуры размещено неправильно<br>3. Неисправна электропроводка | Отрегулировать реле температуры<br>Перемонтировать реле температуры<br>Устранить неисправность электропроводки |
| В компрессор поступает жидкий хладагент (установка с капиллярной трубкой) | 1. Избыток хладагента в системе<br>2. Высокое давление нагнетания<br>3. Загрязнен испаритель<br>4. Проскальзывает ремень вентилятора испарителя<br>5. Снеговая шуба<br>6. Не работает вентилятор испарителя | Выпустить избыточное количество хладагента<br>См. неисправность «Высокое давление нагнетания»<br>Очистить испаритель<br>Заменить или натянуть ремень<br>Сделать оттайку<br>См. неисправность «Вентилятор испарителя не работает» |
| Высокое давление нагнетания | 1. Избыток хладагента в системе<br>2. Высокая температура окружающей среды<br><br>3. Воздух или неконденсирующиеся газы в системе | Выпустить избыточное количество хладагента<br>Обеспечить подачу более холодного воздуха к конденсатору<br>Выпустить воздух или неконденсирующиеся газы |

*Продолжение табл. 10.1*

| Неисправность | Возможная причина | Способ устранения |
|---|---|---|
| | 4. Повышена тепловая нагрузка на испаритель | Снизить нагрузку |
| | 5. Загрязнен конденсатор | Очистить конденсатор |
| | 6. Не работает электродвигатель вентилятора конденсатора | См. неисправность «Электродвигатель вентилятора конденсатора не включается» |
| | 7. Проскальзывает ремень вентилятора конденсатора | Заменить или натянуть ремень вентилятора |
| Низкое давление нагнетания | 1. Конденсатор обдувается холодным воздухом | Уменьшить подачу воздуха |
| Высокое давление всасывания | 1. Неисправны клапаны компрессора | Заменить клапаны, клапанную доску или компрессор |
| | 2. Избыток хладагента в системе | Выпустить избыточное количество хладагента |
| | 3. Высокое давление нагнетания | См. неисправность «Высокое давление нагнетания» |
| | 4. Повышена тепловая нагрузка | Снизить нагрузку |
| | 5. Заклинен ТРВ в открытом положении | Очистить или заменить ТРВ |
| Низкое давление всасывания | 1. Недостаточно хладагента в системе | Устранить утечку хладагента и дозарядить систему |
| | 2. Неправильная уставка перегрева ТРВ | Отрегулировать ТРВ |
| | 3. Загрязнен или неисправен ТРВ | Очистить или заменить ТРВ |
| | 4. Проскальзывает ремень вентилятора испарителя | Заменить или натянуть ремень |
| | 5. Не работает вентилятор испарителя | См. неисправность «Вентилятор испарителя не работает» |
| | 6. Местное сопротивление в системе циркуляции хладагента | Определить причину и устранить местное сопротивление |
| | 7. Загрязнен испаритель | Очистить испаритель |
| | 8. Засор капиллярной трубки | Заменить капиллярную трубку |
| Вентилятор испарителя не работает | 1. Перегорел предохранитель | Заменить предохранитель |
| | 2. Неисправно реле вентилятора испарителя | Заменить реле вентилятора |
| | 3. Перегорел электродвигатель вентилятора испарителя | Заменить электродвигатель вентилятора |
| | 4. Поврежден ремень вентилятора | Заменить ремень |
| | 5. Неисправна электропроводка или не затянуты клеммы соединений | Устранить неисправность электропроводки или затянуть клеммы соединений |

*Окончание табл. 10.1*

| Неисправность | Возможная причина | Способ устранения |
|---|---|---|
| Высокие эксплуатационные расходы | 1. Неисправны клапаны компрессора | Заменить клапаны, клапанную доску или компрессор |
| | 2. Недостаточно хладагента в системе | Устранить утечку хладагента и дозарядить систему |
| | 3. Избыток хладагента в системе | Выпустить избыточное количество хладагента |
| | 4. Загрязнен конденсатор | Очистить конденсатор |
| | 5. Загрязнен испаритель | Очистить испаритель |
| | 6. Высокое давление нагнетания | См. неисправность «Высокое давление нагнетания» |
| | 7. Проскальзывает ремень вентилятора испарителя или конденсатора | Заменить или натянуть ремень |

Если разность температур конденсации (определяется из таблиц для насыщенных паров по давлению конденсации) и окружающего воздуха (при воздушном охлаждении конденсатора) более 15 °С, то, возможно, в системе имеется воздух. При его спуске давление конденсации будет уменьшаться. Чтобы определить, имеется ли в конденсаторе воздух, выключают компрессор, закрывают нагнетательный и жидкостный вентиль. К штуцеру нагнетательного вентиля подключают манометр. В течение нескольких часов пропускают через конденсатор воду (если конденсатор имеет водяное охлаждение), добиваясь того, чтобы конденсатор равномерно охладился до температуры воды. По температуре окружающего воздуха (если конденсатор охлаждается воздухом) или охлаждающей воды находят с помощью таблиц давление насыщенных паров хладона и после вычитания из абсолютного давления барометрического давления воздуха сравнивают полученный результат с давлением по манометру. Если давление по манометру больше давления насыщенных паров хладона, то воздух в конденсаторе имеется, причем воздуха тем больше, чем больше разность измеренного и вычисленного давлений.

Воздух в холодильной установке может находиться в паровой линии высокого давления между компрессором и ресивером. Воздух из конденсатора выпускают через штуцер нагнетательного вентиля, при этом теряется и часть хладона.

Перед дозаправкой хладона машину тщательно проверяют на герметичность. В малых холодильных машинах хладон дозаправляют через штуцер всасывающего вентиля. Для этого отсоединяют реле низкого давления и к штуцерам подсоединяют мановакуумметр и дополнительную линию от баллона с хладоном (перед присоединением наполнительный трубопровод продувают парами хладона). Закрывают жидкостный вентиль на ресивере. Баллон с хладоном размещают вертикально вентилем вверх при заправке парами хладагента.

Влагосодержание паров хладона может быть значительно больше, чем у жидкого хладона, поэтому рекомендуется использовать баллоны небольшой вместимости (до 3 л). Для удаления влаги на наполнительную линию устанавливают фильтр-осушитель. В процессе зарядки следят за показаниями весов, контролируя массу хладона, поступающего в машину. В том случае, если уровень масла в картере компрессора ниже допустимого и работа компрессора влажным ходом в течение 20...30 мин с целью возвращения масла из испарителей и трубопроводов не приводит к повышению его уровня до нормального, необходимо долить масло. Масло заливают в компрессор через заливочное отверстие на картере. Для этого закрывают всасывающий вентиль, отсасывают пары хладона из картера компрессора до атмосферного давления, закрывают нагнетательный вентиль. Затем сбрасывают оставшееся избыточное давление паров хладона из картера, ослабив на несколько секунд колпачковую гайку на штуцере всасывающего вентиля, и отворачивают пробку заливочного отверстия.

Масло заливают через воронку до середины смотрового стекла. Затем устанавливают новую прокладку и заворачивают пробку. Для удаления воздуха, попавшего в картер при заливке масла, ослабляют на 2...3 оборота колпачковую гайку на штуцере нагнетательного вентиля и включают компрессор на 3...5 мин. После этого компрессор выключают, гайку затягивают, открывают всасывающий и нагнетательный вентили. Для удаления влаги и кислот из холодильных машин проводят адсорбцию этих веществ из жидкого или парообразного хладона мелкозернистым гранулированным цеолитом. Для безаварийной надежной работы холодильной машины малой холодопроизводительности количество влаги в хладагенте R12 не должно превышать 0,0006 %, в R22 — 0,0024 %.

Если холодильная машина вышла из строя из-за вымерзания влаги в дросселирующем органе, то следует вмонтировать в жидкостную линию между конденсатором и регулирующим вентилем фильтр-осушитель и дать машине проработать с ним несколько суток. После этого фильтр-осушитель можно демонтировать и восстановить первоначальную схему. Фильтр-осушитель может быть заполнен разными адсорбентами.

Молекулярное сито (цеолит) поглощает в пять раз больше влаги, чем традиционные фильтры с активированной окисью алюминия, обеспечивает эффективное поглощение влаги при низких и высоких температурах конденсации, а также при низком и высоком влагосодержании, совместим со всеми хладагентами, полиэфирными (POE) и полиалкилгликолевыми (PAG) маслами.

Смесь цеолита и активированной окиси алюминия поглощает в четыре раза больше влаги, чем традиционные фильтры с активированной окисью алюминия. Эта смесь рекомендуется для использования с минеральными и алкилбензоловыми маслами; она

совместима со всеми гидрохлорфторуглеродными (HClFC), хлорфторуглеродными (ClFC) и гидрофторуглеродными (HFC) хладагентами, поглощает влагу и кислоты, до того как они начнут воздействовать на холодильную систему.

Двуокись кремния (селикагель) хорошо поглощает воду. Запрещается удалять воду из холодильной системы с помощью спирта.

Средние и крупные холодильные машины применяют для охлаждения холодильных камер с системой непосредственного охлаждения и рассольной системой охлаждения. При системе непосредственного охлаждения в качестве охлаждающих приборов наиболее часто используют воздухоохладители, так как это снижает количество хладона, требуемого для заправки.

Особенности эксплуатации крупных хладоновых холодильных машин вызваны специфичными свойствами хладонов:

высокая текучесть и сложность индикации утечек хладона предъявляют высокие требования к качеству и надежности компрессоров, аппаратов, арматуры, сальников, приборов, что предусматривает частый контроль герметичности системы при техническом обслуживании;

отсутствие коррозионного воздействия хладонов на большинство материалов позволяет применять трубы из цветных металлов и сплавов, очистка которых от загрязнений и водяного камня должна проводиться с определенными ограничениями;

хорошая взаимная растворимость хладона и масел позволяет возвращать масло из испарителя и трубопроводов в картер компрессора, не используя приборов автоматики, требует учитывать вскипание масла при пуске компрессора в охлажденном состоянии и расслоение хладоно-масляной смеси в испарителе и картере компрессора;

крайне незначительная растворимость воды в жидком хладоне заставляет предъявлять жесткие требования к качеству осушки системы при монтаже, техническом обслуживании, к влагосодержанию хладона и масел, поставляемых заводами, и вынуждает включать в схему хладоновой холодильной машины дополнительный вспомогательный аппарат — адсорбционный осушитель хладона;

высокая стоимость хладонов требует создания малоемких по заряду систем при абсолютной их герметичности.

Эти особенности усложняют эксплуатацию хладоновых холодильных установок, сказываются на повышении их стоимости, сдерживают их применение. Однако такие свойства хладонов, как взрывобезопасность, пожаробезопасность, нетоксичность, отсутствие физиологического воздействия на продукты, упрощают и удешевляют проектирование и сооружение холодильников с хладоновыми холодильными установками за счет снижения требований к строительным конструкциям, к размещению холодильного оборудования, к вентиляции, системам защиты и аварийной сигнализации.

# Глава 11. РЕМОНТ ХЛАДОНОВЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

## 11.1. Виды износа

Различают механический, химический и тепловой износ. *Механический износ* происходит под действием трения и ударных нагрузок. Наибольшую опасность этот износ представляет при работе вновь смонтированного оборудования, когда в картере компрессора остается формовочный песок, а в трубопроводах — окалина.

*Химический износ* является следствием коррозии металла в теплообменных аппаратах с хладоносителем.

*Тепловой износ* происходит при воздействии на узлы и детали низких, высоких и резко меняющихся температур. Определение износа производится по параметрам режима работы, внешним осмотром, а также при помощи специальной диагностической аппаратуры. После разборки и промывки определяют износ деталей обмером.

Для предотвращения преждевременного износа и возникновения аварий необходимо: не допускать работы оборудования в нештатных режимах; обеспечивать качественную смазку; своевременно промывать и очищать фильтры; выполнять мероприятия для снижения коррозии; организовывать проведение своевременного ремонта.

## 11.2. Система планово-предупредительного ремонта

В процессе эксплуатации холодильного оборудования возникают внезапные и постепенные отказы.

Внезапные отказы не поддаются прогнозированию, постепенные — происходят в результате естественного износа работающих узлов и аппаратов. При этом ухудшаются эксплуатационные параметры установки. Для того чтобы холодильное оборудование находилось в исправном состоянии, должно производиться комплексное выполнение работ по его ремонту и обслуживанию.

Профилактические осмотры компрессоров производятся для предупреждения отказов вследствие поломки быстроизнашивающихся деталей, самоотвинчивания резьбовых соединений, преждевременного износа базовых деталей абразивными частицами, внезапной поломки деталей, имеющих дефекты.

Техническое обслуживание предусматривает проведение работ, выполняемых в течение каждой смены.

Средний ремонт производят с целью замены или ремонта деталей, имеющих больший срок службы.

Капитальный ремонт машин производится с целью восстановления их до такого состояния, когда они по своим характеристикам и надежности будут соответствовать новым.

Организация ремонта хладоновых компрессоров предусматривает проведение ежедневных и декадных технических уходов, профилактических осмотров, малого (текущего), среднего и капитального ремонта. Профилактический осмотр хладоновых компрессоров предусматривает демонтаж всасывающих и нагнетательных клапанов (клапанных досок), шатунно-поршневых групп, масляных и газовых фильтров. Кроме того, при профилактическом осмотре разбирают шатунно-поршневые группы, всасывающие и нагнетательные клапаны, осматривают и заменяют дефектные детали, осматривают поршневые кольца и заменяют их в случае необходимости. В то же время регулируют зазор в шатунных подшипниках, проверяют состояние крепежных деталей и их подтяжку, проводят смену смазочного масла, сборку, испытание и проверку герметичности компрессора. Длительность работы компрессора после ремонта до профилактического осмотра составляет в зависимости от типа компрессора 1300...2500 ч, т.е. его проводят один-два раза в год.

*Малый ремонт* хладоновых компрессоров предусматривает выполнение всех работ профилактического осмотра и дополнительных операций. С этой целью проводят демонтаж и разборку всасывающего и нагнетательного вентилей, узла сальника, клеммника электродвигателя бессальниковых компрессоров с заменой деталей, имеющих дефекты. Проверяют зазор между статором и ротором, изоляцию обмоток статора. Заменяют все клапанные пластины, поршневые кольца, клапанные пружины, втулки, направляющие, уплотнительный элемент предохранительного клапана и т.д. Малый ремонт проводят через 4000...7500 ч наработки после очередного ремонта, т.е. один раз в 2...3 года.

*Средний ремонт* предусматривает проведение работ малого ремонта и дополнительно к этому демонтаж и разборку масляного насоса с ревизией его деталей, демонтаж и разборку узла сальника с заменой резиновых прокладок и ревизией трущихся деталей, замену или перезаливку вкладышей шатуна, замену втулок верхних головок шатуна, поршневых пальцев, части седел, розеток клапанов и буферных пружин с усадкой более 5 мм, замену резиновой оболочки муфты, окраску отремонтированного компрессора. Средний ремонт проводят по истечении 10000...15000 ч наработки после капитального или среднего ремонта, т.е. через 4...6 лет.

*Капитальный ремонт* включает выполнение всех работ среднего ремонта и дополнительно к этому полную разборку компрессора с демонтажем коленчатого вала и цилиндровых гильз, замену гильз, поршней, клапанных плит, изношенных деталей масляного насоса, проверку коленчатого вала на наличие микротрещин, промывку и очистку каналов, шлифовку шеек коленчатого вала для устранения выработки под следующий ремонтный размер вкладыша, замену коренных подшипников качения, болтов противовесов, шатунных болтов. Капитальный ремонт проводят, как правило, не более двух раз за амортизационный срок службы компрессора.

## 11.3. Ремонт поршневого компрессора

Технология ремонта поршневого компрессора включает остановку компрессора, разборку на узлы и детали, промывку, дефектацию, ремонт или замену деталей, сборку, обкатку.

**Остановка компрессора.** Перед остановкой компрессора проверяют его фактическое состояние. После остановки его освобождают от хладагента, масла и воды, удаляют плавкие вставки из щита компрессора, отключают кабель от электродвигателя. На щите вывешивается табличка «Не включать» во избежание аварийных ситуаций. Компрессор отсоединяется от трубопроводов заглушками. Вскрывать компрессор можно через несколько минут после того, как давление в нем будет понижено до атмосферного.

**Разборка компрессора.** Принятый в ремонт компрессор очищают от грязи, ржавчины и обдувают сжатым воздухом. Перед разборкой компрессора следует подготовить стол для укладки деталей, инструмент, приспособления, ванну с керосином и щетку для мойки.

Разборку компрессора производят с применением съемников, пользуясь выколотками из мягкого материала. При необходимости детали клеймят для установки при сборке на прежнее место. Промывают узлы и детали аммиачных компрессоров керосином, хладоновых — уайт-спиритом.

**Дефектация деталей.** Дефектация поручается опытным дефектовщикам, слесарям-ремонтникам. На узлы и детали оборудования, подлежащие ремонту или замене, составляется дефектная ведомость с кратким описанием неполадок. Дефектация деталей производится всеми доступными методами определения износов. При дефектации детали делят на три группы: годные без восстановления, направляемые в ремонт, непригодные. Основными технологическими способами восстановления деталей являются никелирование, хромирование, наплавка, металлизация, пластическая деформация, покрытие полимерами и т. п.

**Ремонт или замена деталей.** Основные дефекты *блок-картера*: возникновение трещин, поломка лап, выдавливание заглушек водяной рубашки и ее засорение. Трещины образуются вследствие

нарушения технологии его изготовления. Заделка трещин производится сваркой.

При поломке лап картера, происходящей при неправильном монтаже, блок-картер приходится заменять.

Новые *заглушки водяной рубашки* делают сферической формы из листовой стали толщиной 1,0 мм. Посадочные отверстия блока смазывают герметиком и, выпрямляя заглушку ударами молотка, устанавливают на место. Резьбовые пластмассовые заглушки при выдавливании заменяются новыми. Очистка водяной рубашки от загрязнений производится химическим способом. Полость отделяется от системы постановкой заглушек и заполняется 10%-ным раствором соляной кислоты с добавлением 0,5 % ингибитора ПБ-5 или уротропина. Очистка продолжается до прекращения выхода из полости пузырьков газа. После удаления раствора рубашку нейтрализуют 1%-ным раствором каустической соды.

После обработки водяную рубашку промывают для удаления шлама, разбирают наружные трубопроводы, вентили, манометровый щит, масляный фильтр, водяной трубопровод, полумуфты маховика. Полумуфты снимают винтовым съемником. Затем убирают крышки цилиндров, нагнетательные клапаны, буферные пружины, клапанные доски, боковые крышки картера. Снимают съемную часть нижней головки шатунов, вынимают шатунно-поршневую группу, снимают съемником маховик. Демонтируют сальник, внутренние маслопроводы, фильтры, масляный насос, всасывающий и нагнетательный клапаны.

Основные дефекты *цилиндра* — это износ и повреждение зеркала цилиндра. Увеличение внутреннего диаметра и искажение правильности формы зеркала цилиндра вызывается истирающим действием поршневых колец и поршней. Увеличение диаметра цилиндра по сравнению с номинальным допускается в пределах 0,3...0,5 мм на 100 мм диаметра. Максимальное искажение формы цилиндра первоначально составляет половину допуска на диаметр, а предельное — не должно превышать первоначальное значение более чем в 3,5 раза. В некоторых конструкциях компрессоров при ремонте предусмотрена замена поршня на новый ремонтного размера. Для этого предусматривается один или несколько типовых размеров запасных поршней. Гильза цилиндра или цилиндр растачивается на станке с последующим хонингованием. В компрессорах серии П поршни ремонтных размеров не предусматриваются, поврежденные или изношенные гильзы заменяют новыми при капитальном ремонте. В этих компрессорах гильза устанавливается по скользящей посадке. Верхняя ее плоскость служит седлом всасывающего клапана. Розетка клапана закреплена на блоке и удерживает гильзу. Уплотнение гильзы в блоке и розетки клапана на гильзе достигается установкой паронитовых прокладок. Герметичность посадки гильз в блоке цилинд-

ров прямоточных компрессоров обеспечивается установкой резиновых колец. Гильза устанавливается с натягом. Нагнетательные клапаны прямоточных компрессоров притираются к гильзе. Измерять вредное пространство компрессора разрешается только при ручном проворачивании вала.

*Масляный шестеренный насос* проверяют, проворачивая шестерни вручную за ведущий вал. При отсутствии заедания насос промывают керосином и проверяют его производительность. При заедании шестерен или неравномерности хода насос разбирают и ремонтируют. Основные дефекты насоса: износ торцовых крышек, радиальный и осевой износы шестерен. Оптимальные значения радиальных и осевых зазоров составляют 0,10...0,15 мм. При увеличении осевого зазора за счет износа крышек и торцов шестерен до 0,5 мм его регулируют опиловкой или фрезерованием крышек или уменьшением толщины прокладок между ними и корпусом. При диаметральном износе шестерен свыше 0,5 мм они подлежат замене. Предохранительные клапаны различных типов проверяют на герметичность и регулируют на давление срабатывания сухим воздухом. Для выпрессовки и запрессовки различных деталей используют соответствующие приспособления.

При износе *колец* снижается производительность компрессора, увеличивается температура нагнетания. Замена колец производится: при износе по радиальной толщине до 20 % от первоначального размера; в случае достижения предельных тепловых зазоров; при плохом прилегании колец к зеркалу цилиндра, при заклинивании колец в канавках. Заостренные кромки колец опиливают. Перед установкой нужно прокатить кольцо по канавке. В процессе одного ремонта следует заменять не более половины колец для их постепенного прирабатывания. Увеличение срока службы поршневых колец достигается нанесением на их рабочую поверхность слоя пористого хрома. При отсутствии этого слоя рекомендуется заплавление канавок, проточенных на поверхности кольца баббитом с предварительным лужением. Применение колец из полиамида и композиции на основе фторопласта дают возможность увеличить срок службы гильз в два-пять раз, но сами кольца имеют недостатки: при температуре 170 °С они расплавляются. Снимать и устанавливать поршневые кольца удобно с помощью разжимных щипцов особой конструкции.

При износе или повреждении поверхности *шатунных шеек* коленчатого вала его восстановление обеспечивается перешлифовкой шеек вручную или на шлифовальном станке до одного из ремонтных размеров. Результатом аварийного износа могут быть изгиб вала, превышающий предел его упругой деформации, скручивание, возникновение трещин, изломов и сколов. В этих случаях вал заменяют новым. Коренные шейки коленчатых валов современных бескрейцкопфных компрессоров в большинстве слу-

чаев установлены в подшипниках качения и практически не изнашиваются. Шатунные шейки, не утратившие размера и формы, но имеющие небольшие риски, задиры или вмятины от воздействия абразивных частиц, обрабатывают вручную с помощью хомута, под который подкладывают наждачное полотно из электрокорунда. Полирование осуществляется пастой ГОИ.

При незначительном износе коленчатого вала производится шлифование вала на станке. Перед шлифованием необходимо забить отверстия масляных каналов деревянными заглушками.

При использовании толстостенных вкладышей нижней головки шатуна шейки вала шлифуют до восстановления правильной цилиндрической формы и первоначальной чистоты поверхности. В случае применения тонкостенных вкладышей при шлифовании восстанавливаются не только форма и чистота поверхности, но и размер, соответствующий ближайшему ремонтному размеру вкладышей. По окончании шлифования отверстия масляных каналов зенкуют, а затем полируют шейки пастой ГОИ.

При износе вала в месте сальникового уплотнения сальник становится негерметичным. В данном случае предпочтителен метод ремонта хромированием поверхности с предварительным ее шлифованием.

*Призматические и сегментные шпонки* устанавливаются в пазу вала по неподвижной посадке, а в пазу охватывающей детали — по подвижной. Основным признаком нарушения узла является выпадение шпонки из паза вала.

**Сборка коленчатого вала.** После закрепления противовесов вал подвергают статической балансировке, проверяют плотность и равномерность прилегания вала к поверхности шатунных и коренных подшипников скольжения. О качестве сопряжения судят по числу пятен краски в квадрате 25×25 мм. Для этого применяют синьку и другие красители, растворенные в масле. Площадь прилегания должна составлять не менее 70 %. В поршневых компрессорах находят применение подшипники-втулки, разъемные подшипники-вкладыши и подшипники качения. Подшипники-втулки устанавливаются в верхней головке шатуна из бронзы, в аммиачных компрессорах — из фосфористой бронзы. В компрессорах серии П устанавливаются втулки бронзографитовые. При износе рабочей поверхности втулок или при их проворачивании в головке шатуна они заменяются новыми. Подшипники скольжения перезаливаются при отставании слоя баббита от тела вкладыша, при значительном износе или глубоких рисках и царапинах. Перед заливкой старый слой баббита выплавляют нагреванием. Заливку рекомендуется выполнять центробежным способом на токарном станке. Толстостенные вкладыши имеют баббитовый антифрикционный слой с припуском на шабровку 0,1 ... 0,15 мм. Они подгоняются шабрением вручную по краске, наносимой на шейку коленча-

того вала. Зазор между вкладышем и шейкой регулируется набором прокладок в разъеме шатуна. Тонкостенные вкладыши изготавливают в виде ряда типоразмеров.

Ремонтные вкладыши отличаются от номинальных только толщиной основы.

Использование тонкостенных вкладышей заимствовано из автотракторной промышленности. В холодильных компрессорах находят применение вкладыши, которые используются в автомобилях.

Зазоры между шейкой вала и вкладышами замеряют щупом. Для толстостенных вкладышей зазор составляет 0,0010...0,0012 от диаметра вала. Для тонкостенных вкладышей этот зазор принимается большим.

Подшипники качения чаще всего применяются в качестве коренных подшипников, ремонту они не подлежат; при необходимости их заменяют новыми. Наибольшее распространение нашли сферические двухрядные роликоподшипники. Признаком износа подшипников является возникновение шума при работе.

Новый подшипник устанавливают на вал с предварительным нагревом в масле в течение 15 мин до 120 °С. В корпус подшипник ставится по переходной посадке, что обеспечивает постепенное проворачивание наружной обоймы для уменьшения износа ее беговой дорожки.

Основные дефекты клапанов: поломка пластин, деформация и поломка пружин, неплотное прилегание пластин к седлу. Поломка пластин клапанов приводит к уменьшению производительности компрессора. При поломке пластины всасывающего клапана увеличивается температура всасывающей полости. Поломка нагнетательного клапана приводит к повышению температуры нагнетания.

Перед установкой кольцевые пластины притирают на плите.

Засорение фильтров грубой и тонкой очистки масла может привести к повреждению подшипников. Особенно чувствительны к недостаточной смазке тонкостенные вкладыши. Фильтры промывают в керосине и продувают сжатым воздухом после пуска компрессора в эксплуатацию: первый раз — через 100 ч; второй — через 300 ч; третий — через 500 ч; все последующие — не реже чем через каждые 1000 ч.

В современных компрессорах наибольшее применение находят пружинные сальники с графитовыми кольцами.

К основным дефектам сальника можно отнести: задир или износ графитовых и сопрягаемых с ними стальных колец, износ резиновых колец, потеря упругости или поломка пружин.

Поврежденные стальные и графитовые кольца притирают, а при значительном износе заменяют новыми. В качестве смазки при притирке графитового кольца используют керосин. Изношенные резиновые кольца, заменяют новыми. Замена пружин разжимного устройства производится комплектно.

Масляный канал коленчатого вала подлежит обязательной очистке. При сборке компрессора рекомендуется широко использовать специальный инструмент и приспособления: динамометрические ключи и т. д. При этом широко применяется узловой метод сборки. При комплектовании узлов производится клеймение деталей. Детали, не подлежащие замене, устанавливают на место, занимаемое до разборки.

Соединение деталей компрессора уплотняют вальцованным паронитом или хладоностойкой резиной. Для обеспечения герметичности и лучшего отсоединения от металлических деталей паронит пропитывают маслом в течение часа для аммиачных компрессоров, а для хладоновых — в глицерине в течение 4...5 ч при температуре 60 °С. Рекомендуемые для применения в хладоновых установках материалы приведены в табл. 11.1.

Таблица 11.1

**Рекомендуемые материалы для применения в хладоновых установках**

| Материал | ГОСТ или ТУ | Применение |
|---|---|---|
| Резина НО-68-1 | МРТУ 3-5-1166—64 | Прокладки в среде хладагента R12 |
| Резина ИРП-2022 | ВТУ ИРП-Л-6-13—64 | |
| Резина ИРП-1375 | ВТУ 38-5-121—66 | Прокладки в среде хладагента R22 |
| Резина ИРП-1376 | ВТУ 38-5-123—66 | |
| Фторпласт-4 | ГОСТ 10007—62 | Прокладки в среде хладагентов R12, R22 |

При установке коленчатого вала положение вала в картере регулируют, изменяя толщину прокладок между фланцем корпуса подшипника и передней стенкой картера. В сальнике проверяют качество его сборки.

В процессе установки клапанов проверяют значение линейного мертвого пространства, а в компрессорах серии П и высоту подъема пластин всасывающих клапанов.

Мертвое пространство прямоточных компрессоров измеряется свинцовыми выжимками из пластин толщиной 1...2 мм между всасывающим и нагнетательным клапанами и регулируется изменением толщины паронитовой прокладки между поршнем и всасывающим клапаном. Устанавливать прокладки между нагнетательным клапаном и гильзой запрещается. Герметичность соединения достигается притиркой клапана.

В пределах рекомендуемых значений целесообразно устанавливать меньшие значения высоты подъема пластин клапанов и линейного мертвого пространства. При потере упругости буферные пружины аммиачных компрессоров заменяют.

**Обкатка компрессора.** При обкатке компрессора без клапанов в течение 5 ч проверяют работу системы смазки, температуру блока цилиндров (не выше 80 °С), давление масла после насоса (1... 1,5 бар), плавность хода, отсутствие вибрации, равномерность нагрева картера и блока цилиндров. После холостой обкатки масло сливают, демонтируют шатунно-поршневую группу, тщательно промывают и осматривают. При отсутствии дефектов или после их устранения компрессор собирают, заправляют свежим маслом, устанавливают клапаны и ставят на обкатку с клапанами в течение 5 ч.

После второй обкатки масло сливают, картер насухо протирают, компрессор разбирают и после промывки определяют качество приработки деталей. Затем компрессор собирают, заправляют свежим маслом и проводят его обкатку на воздухе под нагрузкой при давлении нагнетания 2,5...3 бар (250...300 кПа) в течение 2 ч. В процессе этой обкатки плотность соединений проверяют обмыливанием. После вакуумирования компрессора допускается изменение давления в пределах ±300 Па (±2 мм рт. ст.) от первоначального в течение первых 4 ч, в течение остальных 8 ч вакуум в компрессоре должен оставаться постоянным. После испытания компрессор обдувают воздухом и направляют в окраску. Крупные хладоновые компрессоры, степень унификации которых с аммиачными компрессорами доходит до 90 %, рекомендуется ремонтировать аналогично аммиачным компрессорам с использованием большей части приспособлений, оснастки, инструмента и стендов, разработанных для ремонта крупных аммиачных компрессоров.

Опыт эксплуатации и ремонта герметичных агрегатов показал, что без вскрытия герметичного компрессора можно отремонтировать не более 1,5 % всех агрегатов, поступивших в ремонт. Поэтому все агрегаты, принятые в ремонт, вскрывают и разбирают на узлы. На участке приемки дефекты определяют только для электрического оборудования. Для этого проверяют омическое сопротивление обмоток статора, отсутствие межфазного замыкания, пробоя на корпусе, пробоя проходных контактов, обрыва внутренних соединительных проводов. Технологическая схема ремонта герметичных холодильных агрегатов предусматривает следующие операции: приемку агрегата, разборку на узлы и детали, сборку компрессора, сборку агрегата, комплектацию агрегата, обкатку и сдачу.

## 11.4. Ремонт теплообменных аппаратов и запорной арматуры

Ремонт теплообменных аппаратов включает: устранение негерметичности, очистку теплопередающей поверхности, регулирование распределительных устройств, тарировку предохранительных клапанов, испытание на прочность и плотность.

Очистка от загрязнений полостей воды или хладоносителя производится механическим или химическим способами. Полость хладагента очищают продувкой.

Негерметичность вальцовки восстанавливается подвальцовыванием труб. При наличии свищей в отдельных трубах устанавливаются заглушки. Наибольшему коррозийному износу оросительных и испарительных конденсаторов подвержены их калачи.

Регулирование водораспределительных устройств включает очистку форсунок, засоренных водяным камнем, проверку равномерности орошения теплообменных поверхностей. Тарировка предохранительных клапанов, установленных на сосудах и аппаратах, должна производиться не реже одного раза в 6 мес.

Ремонт запорной арматуры включает замену сальниковой набивки, замену фторопластового уплотнения или перезаливку клапанов баббитом. Большая часть запорных клапанов имеет устройство, запирающее полость сальника при полностью открытом вентиле, и для замены сальниковой набивки нет необходимости удалять хладагент из трубопровода.

# Глава 12. АВТОМАТИЗАЦИЯ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

## 12.1. Системы автоматического регулирования

Холодильная установка создает и поддерживает в охлаждаемых помещениях температурный режим, необходимый для хранения скоропортящегося продукта. Продолжительность его хранения и качество во многом зависят от того, насколько точно выдерживается рекомендованный температурный режим в помещении. Неоправданно низкая температура кипения хладагента, отводящего теплоту от охлаждаемого объекта, нарушает технологию хранения продукта, ведет к потере его массы из-за значительной усушки, снижает экономичность работы холодильной установки. Поэтому требуется поддерживать такую температуру кипения хладагента, которая обеспечивала бы благоприятные условия хранения продукта и эффективную работу холодильной машины. Теплота, отводимая холодильной машиной от охлаждаемых объектов, воспринимается кипящим жидким хладагентом в испарителях. Для эффективной работы испарителей необходимо поддерживать максимально возможную степень их заполнения жидким хладагентом, не допуская переполнения, которое приводит к влажному ходу компрессора. Устойчивая работа автоматических средств, управляющих заполнением испарителя жидким хладагентом, зависит от давления в конденсаторе. Безопасная работа компрессора, конденсатора и испарителей характеризуется определенными значениями давления и температур. При достижении этими параметрами предельных значений для защиты механизмов и аппаратов от разрушения требуется незамедлительное выключение компрессора или снижение его нагрузки, подача предупредительного или аварийного сигнала. Так, при падении давления смазочного масла, охлаждающей воды, повышении давления и температуры нагнетания эксплуатация компрессора холодильной установки должна быть прекращена.

**Автоматизация процессов регулирования защиты и сигнализации.** Автоматизация холодильной установки включает автоматизацию процессов сигнализации, защиты и регулирования.

Регулирование — это процесс поддержания значения параметра (температуры, давления и т. п.), называемого регулируемым, постоянным либо в заданных пределах. Процесс поддержания постоянной температуры в охлаждаемом помещении назы-

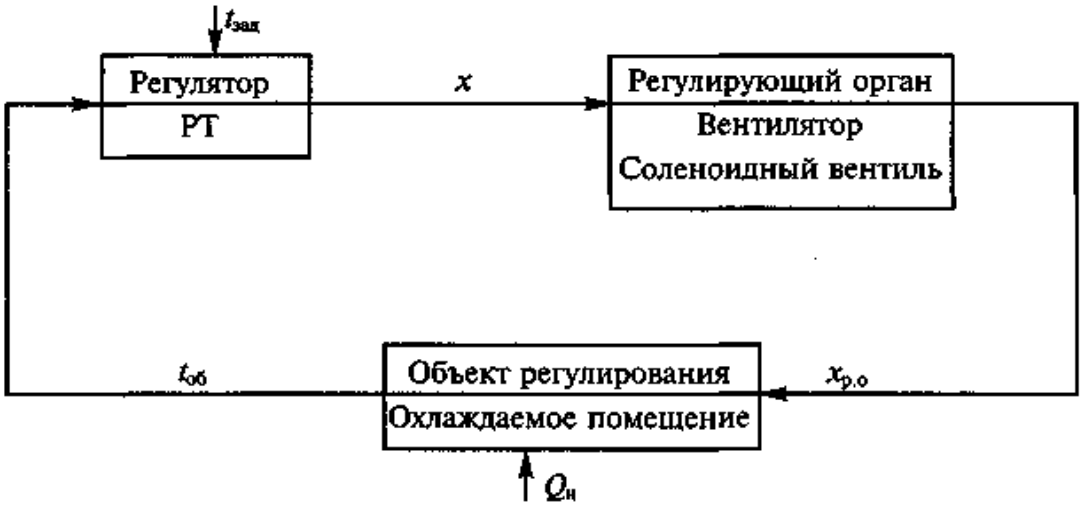



Рис. 12.1. Структурная схема системы автоматического регулирования

вается регулированием температуры. Соответственно сама температура будет регулируемым параметром. Система автоматического регулирования обеспечивает поддержание регулируемого параметра (температуры, давления или уровня) в заданных пределах. Она включает в себя объект регулирования, автоматический регулятор, регулирующий орган, а также связи между ними (рис. 12.1).

*Объект регулирования* — это помещение, емкость, система или механизм, в которых регулируется протекающий процесс, т. е. поддерживается постоянное значение регулируемого параметра. Так, при регулировании температуры в охлаждаемом помещении объектом регулирования будет само помещение.

*Автоматический регулятор* контролирует заданный процесс в объекте регулирования и управляет работой регулирующего органа в соответствии с задачей регулирования.

*Регулирующий орган* (клапан, механизм) служит для изменения расхода вещества (хладагента, воздуха, рассола), подводимого к объекту регулирования.

Система автоматического регулирования работает следующим образом. Автоматический регулятор постоянно замеряет значение регулируемого параметра и сравнивает его с заданным. При отклонении регулируемого параметра от заданного значения автоматический регулятор через регулирующий орган изменяет расход подводимого вещества таким образом, чтобы регулируемый параметр вернулся в исходное состояние. Например, увеличение тепловой нагрузки в охлаждаемом помещении вызовет в нем рост температуры. Автоматический регулятор, определив значение и знак отклонения регулируемой температуры от заданной, даст управляющий сигнал на регулирующий орган. Он увеличивает отвод теплоты из помещения, и его температура вернется к заданному значению.

Системы автоматической защиты устраняют возможность аварий при внезапном изменении режима работы агрегата. При достижении предельного значения контролируемого параметра автоматический регулятор через регулирующий орган либо выключает контролируемый агрегат, либо ограничивает рост параметра во избежание разрушения механизма.

Системы автоматической сигнализации в зависимости от назначения делятся на две группы: системы аварийно-предупредительной сигнализации и системы сигнализации работающих механизмов.

*Система аварийно-предупредительной сигнализации* при достижении контролируемым параметром предельного значения выдает световой или звуковой сигнал. Обслуживающий персонал изменяет опасный режим работы механизма, воздействуя на регулирующий орган.

*Система сигнализации работающих механизмов* дает световую индикацию на пульте управления о включении в работу наиболее важных механизмов.

Приборы автоматического регулирования и контроля процессов, протекающих при работе холодильной установки, предназначены для обеспечения безопасной эксплуатации установки и повышения эффективности ее работы. Экономичность эксплуатации повышается главным образом за счет уменьшения затрат труда на обслуживание холодильной установки и повышения производительности труда персонала. Использование приборов автоматики и защиты позволяет решить главную задачу — поддержание заданной температуры охлаждаемого объекта. К задачам автоматизации процессов установки относят также поддержание определенного уровня жидкого хладагента в аппаратах и постоянной температуры конденсации; обеспечение защиты от гидравлического удара, перегрева отдельных частей установки, взрыва аппаратов, замерзания хладоносителя, срыва работы насоса.

Задачей обслуживающего персонала является грамотное техническое обслуживание приборов, входящих в состав схемы, и периодическая проверка их исправности: защитных реле уровня — один раз в 10 дней, других приборов автоматики — один раз в месяц. Среди приборов автоматики наибольшее применение находят реле температуры, давления и разности давлений, регуляторы уровня и реле уровня с исполнительными механизмами, терморегулирующие вентили, реле протока и расхода. Настройка этих приборов, как правило, производится при пусконаладочных работах. Современные торговые хладоновые холодильные машины оснащены рядом приборов, полностью или частично автоматизирующих рабочие процессы. Применяются различные схемы автоматизации. При полной автоматизации отпадает необходимость в систематическом контроле за работой холодильной машины

и обслуживающий персонал осуществляет лишь периодическое наблюдение, проверяя исправность оборудования и устраняя возникшие технические неполадки.

Широко используемые в торговле хладоновые холодильные машины с непосредственной системой охлаждения, как правило, полностью автоматизированы.

Применение средств автоматизации делает работу холодильных машин более производительной, экономически выгодной и безопасной.

## 12.2. Регулирование температуры в охлаждаемом объекте

Температура в охлаждаемом объекте должна поддерживаться на определенном уровне. Ее отклонение от заданного значения исправляется приборами автоматики — реле температуры. Они применяются также для защиты компрессора от превышения верхнего предела температуры нагнетания.

Различают манометрические, биметаллические и полупроводниковые реле температуры.

Манометрические реле получили наибольшее распространение, однако в настоящее время их вытесняют реле с термисторами.

Принцип действия приборов основан на изменении давления парожидкостной смеси хладона в термосистеме прибора (рис. 12.2) в зависимости от изменения температуры термобаллона (капсулы). При повышении температуры термобаллона давление хладона возрастает и, воздействуя через капиллярную трубку на сильфон, сжимает его.

Толкатель сильфона действует на основной рычаг, стремясь повернуть его по часовой стрелке. Этому препятствует сжатая пружина уставки, которая воздействует на рычаг сверху. При повороте основного рычага по часовой стрелке его плечо действует на систему рычагов контактной группы и замыкает контакт для включения компрессора в работу. Усилие сжатия пружины уставки регулируется винтом-задатчиком. Настройка прибора контролируется по положению стрелки шкалы уставки. Чем сильнее сжата пружина уставки, тем большее давление требуется со стороны сильфона для поворота основного рычага по часовой стрелке. Следовательно, замыкание контактов прибора будет происходить при большей температуре контролируемого объекта. Узел дифференциала предназначен для установки винтом-задатчиком дифференциала определенной разности температур прямого срабатывания прибора (контакт при этом размыкается) и обратного срабатывания (замыкание контактов).

В большинстве случаев применяется двухпозиционное регулирование температуры, заключающееся в том, что компрессор периодически включается и отключается. При повышении темпера-

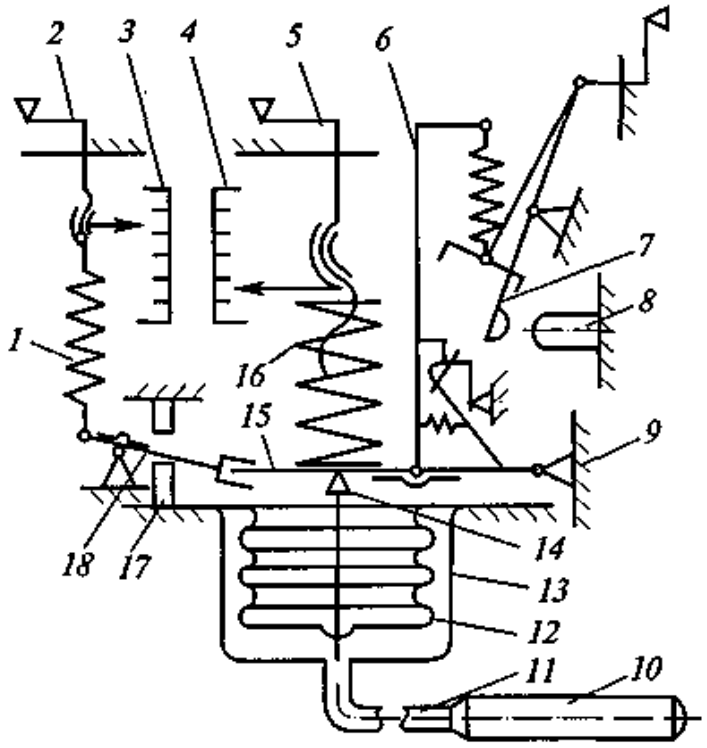



Рис. 12.2. Принципиальная схема реле температуры:

*1* — пружина дифференциала; *2* — задатчик дифференциала; *3* — шкала дифференциала; *4* — шкала уставки; *5* — задатчик уставки; *6* — плечо основного рычага; *7* — подвижный контакт; *8* — неподвижный контакт; *9* — ось основного рычага; *10* — термобаллон; *11* — капиллярная трубка; *12* — сильфон; *13* — корпус сильфона; *14* — толкатель сильфона; *15* — основной рычаг; *16* — основная пружина уставки; *17* — упор вилки дифференциала; *18* — вилка дифференциала

туры в объекте охлаждения компрессор включается, а при понижении температуры выключается. Двухпозиционное регулирование характеризуется коэффициентом рабочего времени, представляющим собой отношение

$$b = \frac{\tau_р}{\tau_р + \tau_{ст}},$$

где $\tau_р$ — время работы компрессора; $\tau_{ст}$ — время стоянки компрессора.

Суммарное время работы и стоянки компрессора $\tau_р + \tau_{ст}$ представляет собой время полного цикла. Коэффициент рабочего времени зависит от количества охлаждаемого продукта и его свойств, температуры окружающей среды и других факторов.

Наиболее точное регулирование температуры обеспечивается в том случае, если прибор с помощью своего чувствительного элемента непосредственно воспринимает температуру охлаждаемой среды и в зависимости от ее значения включает или отключает компрессор. Такое регулирование осуществляется с помощью камерных и жидкостных реле температуры. Камерное реле температуры реагирует на изменение температуры воздуха в охлаждаемой

камере, а жидкостное — на изменение температуры жидкости (воды, рассола).

Реле температуры для защиты от высокой температуры нагнетания компрессора размещают на щите компрессора. Термобаллон прикрепляют к нагнетательному трубопроводу на его вертикальном участке капилляром вверх или вставляют в гильзу трубопровода, которая должна быть заполнена маслом.

Как правило, реле температуры этой конструкции винта настройки дифференциала не имеет. Настройка шкалы уставки в этом случае производится на 20 % ниже предельно допустимой температуры. Так, предельно допустимая температура нагнетания для аммиачных поршневых бескрейцкопфных компрессоров составляет 160 °С. Настройка шкалы реле температуры производится на 130 °С. При достижении величины, установленной на шкале, произойдет размыкание контакта и остановка компрессора. Замыкание контакта прибора и создание условий для возможности последующего пуска компрессора произойдут при понижении температуры.

## 12.3. Регулирование давления хладагента

Реле давления предназначены для контроля и автоматической защиты компрессора в случаях, когда давление нагнетания выше допустимого предела, предусмотренного испытанием системы на плотность, или давление всасывания меньше расчетного. Кроме того, реле низкого давления могут быть использованы для поддержания заданной температуры в охлаждаемом объекте. Реле давления могут быть электромеханическими и электронными с тензодатчиком (сапфировый) или пьезодатчиком.

Промышленностью выпускаются реле давления в одноблочном и двухблочном исполнении. Одноблочные реле давления по своей конструкции и принципу действия отличаются от манометрических реле температуры только отсутствием чувствительной термосистемы. Вместо нее контролируемое давление подается на сильфон через импульсную трубку. Двухблочное реле контролирует два давления, действующие на один микропереключатель.

В зависимости от назначения различают реле низкого и высокого давления.

Прямое срабатывание *реле низкого давления* (размыкание контакта) происходит при понижении контролируемого давления до значения, установленного на шкале уставки. Обратное срабатывание (замыкание контакта) происходит при повышении контролируемого давления на значение настройки дифференциала.

Прямое срабатывание *реле высокого давления* (размыкание контакта) происходит при увеличении контролируемого давления до величины, установленной на шкале уставки. Обратное срабатыва-

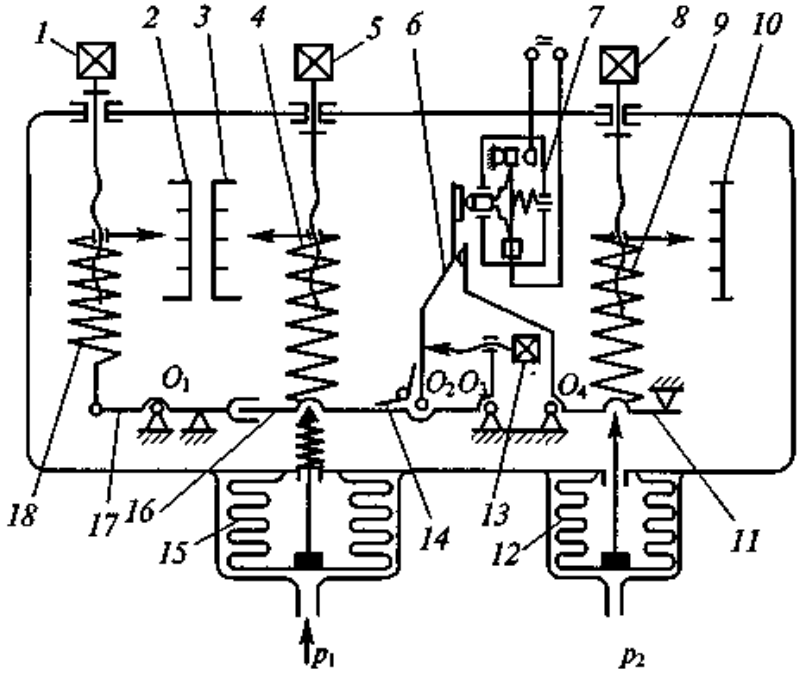



Рис. 12.3. Схема двухблочного реле давления:

*1* — винт-задатчик дифференциала; *2* — шкала дифференциала; *3* — шкала уставки низкого давления: *4* — пружина уставки низкого давления; *5* — винт-задатчик уставки низкого давления; *6* — плечо основного рычага узла низкого давления; *7* — микропереключатель; *8* — винт-задатчик уставки высокого давления; *9* — пружина уставки высокого давления; *10* — шкала уставки высокого давления; *11* — двуплечий рычаг; *12* — сильфон высокого давления; *13* — винт заводской настройки; *14* — вспомогательная пружина; *15* — сильфон низкого давления; *16* — основной рычаг низкого давления; *17* — вилка дифференциала; *18* — пружина дифференциала ($O_1 ... O_4$ — оси вращения)

ние (замыкание контакта) бывает при понижении контролируемого давления на величину дифференциала.

*Двухблочное реле давления* включает в себя узлы низкого и высокого давлений (рис. 12.3). Узел низкого давления устроен и работает аналогично одноблочному реле низкого давления. Узел высокого давления имеет нерегулируемый дифференциал. При воздействии на сильфон высокого давления двуплечий рычаг узла высокого давления поворачивается против часовой стрелки и отодвигает от кнопки микропереключателя плечо рычага низкого давления. Основной рычаг узла низкого давления может оставаться в поднятом положении, а его плечо будет отодвинуто от микропереключателя пружиной заводской настройки. При понижении высокого давления двуплечий рычаг перемещается по часовой стрелке и перестает препятствовать, замыканию контакта плечом узла низкого давления.

Реле давления устанавливают на щите компрессора и соединяют импульсными трубками с полостями всасывания и нагнетания.

Нельзя присоединять приборы до всасывающего вентиля и после нагнетательного. Контакты приборов включаются последовательно с катушками магнитного пускателя компрессора. Реле давления, установленное на линии низкого давления называется прессостатом. Последний применяют для двухпозиционного регулирования давления в испарителе путем включения и выключения компрессора. В некоторых схемах он применяется для защиты холодильных машин при падении давления всасывания ниже определенного значения.

Реле давления на линии высокого давления — маноконтроллер отключает компрессор при чрезмерно высоком давлении.

## 12.4. Реле контроля смазки

Реле контроля смазки (РКС) предназначены для автоматической защиты компрессоров и компрессорных агрегатов от понижения разности давлений в системе смазки. При равенстве давлений на нижний и верхний сильфоны основной рычаг находится в нижнем положении, поскольку сверху на него действует усилие пружины уставки (рис. 12.4). Плечо основного рычага не воздействует на контактную группу. Основной контакт разомкнут. Пуск компрессора или насоса возможен только при внешнем замыкании контактов, что обычно осуществляется путем включения в электрическую схему реле времени. Реле должно разомкнуть свои контакты через 45...60 с после пуска.

При повышении разности давлений контролируемой среды давление на нижний сильфон становится выше, чем на верхний. Это приводит к сжатию нижнего сильфона и растяжению верхнего, поскольку они жестко связаны друг с другом ножевой опорой и штоком. Основной рычаг поднимается вверх, преодолевая сопротивление пружины уставки, и его плечо, воздействуя на контактную группу, замыкает основной контакт и размыкает дополнительный контакт сигнализации.

Если ко времени размыкания внешних контактов реле времени

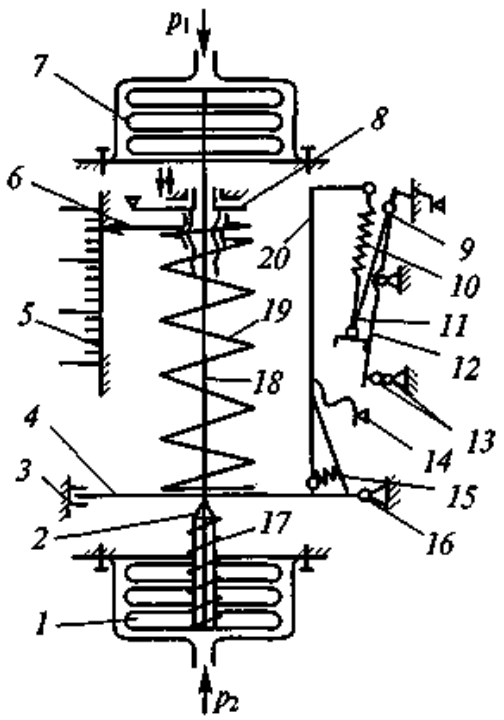



Рис. 12.4. Реле контроля смазки:
*1*, *7* — сильфоны; *2*, *3* — упоры; *4*, *20* — рычаги; *5* — шкала настройки; *6* — стрелка; *8*, *14* — винты, *9*, *16* — шарниры; *10*, *15*, *17*, *19* — пружины; *11* — переключающий поводок; *12* — контактная планка; *13* — контакт; *18* — шток

не произойдет замыкания основного контакта прибора, то работающий компрессор или насос остановится. В процессе работы компрессора или насоса контролируемая разность давлений должна поддерживаться постоянно. При понижении контролируемой разности давлений до значения, установленного на шкале прибора, произойдут размыкание его контакта и остановка контролируемого механизма.

## 12.5. Взаимосвязь характеристик элементов холодильной машины

Холодильная машина, являясь комплексом элементов, осуществляющих холодильный цикл, имеет ряд особенностей. Производительности компрессора и испарителя должны быть одинаковыми, конденсатора — строго соответствовать им.

Если холодильная машина работает при заданных температурном холодильном режиме и холодопроизводительности, то соответствие между ее элементами определяется степенью приближения машины к действительным значениям производительности компрессора, конденсатора, испарителя. Однако температурный режим работы машины изменяется и холодопроизводительность ее даже при постоянной температуре в помещении зависит от температуры наружного воздуха, характера процесса охлаждения, неравномерности загрузки помещения и других факторов.

Режим работы компрессора и регулирующего устройства должны соответствовать определенным условиям всасывания и нагнетания, при которых компрессор отсасывает из испарителя некоторое количество хладагента, соответствующее количеству, поступающему через регулирующее устройство в испаритель. Состояние неуравновешенности потока на участке между этими двумя элементами холодильной машины должно быть только временным.

Характеристики компрессора и испарителя приведены на рис. 12.5, *а*. Таким образом, для заданного испарителя наклон его характеристики постоянен. Если при температуре кипения $t_{01}$ машина находилась в состоянии теплового равновесия, то повышение средней температуры рассола до $t_2$ приведет к увеличению холодопроизводительности испарителя до $Q_0'$. Однако машина при температуре кипения $t_{01}$ дает только $Q_{01}$ холода, а следовательно, теплоприток к испарителю будет превышать холодопроизводительность компрессора. В этих условиях тепловое равновесие нарушится.

При повышении температуры кипения до $t_{02}$ тепловое равновесие восстановится. Тогда разность температур $(t - t_0)$ будет уменьшаться, а произведение $q_v\lambda$ увеличиваться до тех пор, пока не наступит равновесие, отмеченное точкой *2*. Точки *1*, *2*, *3* называют рабочими. При повышении давления кипения необходимо из-

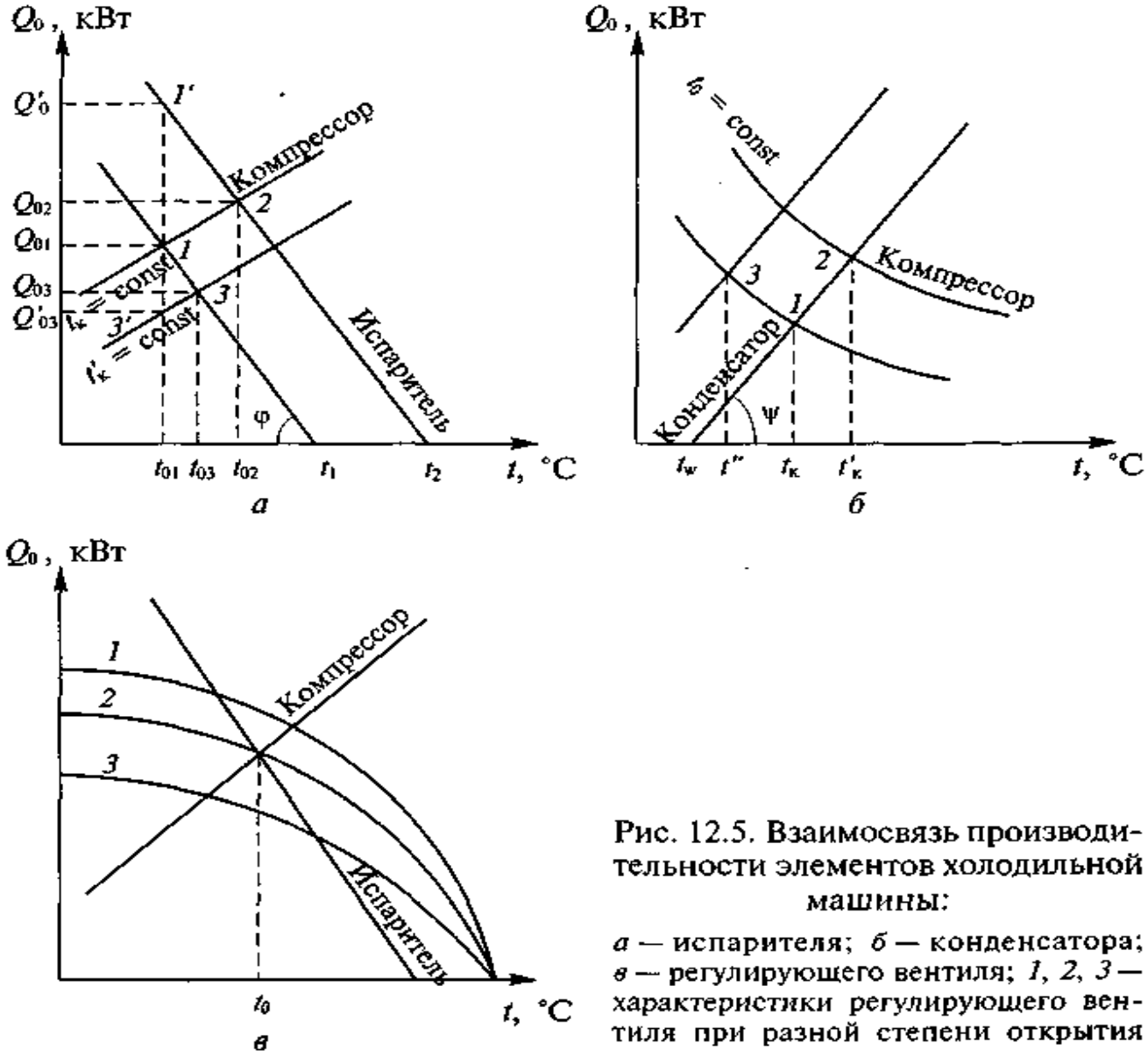



Рис. 12.5. Взаимосвязь производительности элементов холодильной машины:

*а* — испарителя; *б* — конденсатора; *в* — регулирующего вентиля; *1*, *2*, *3* — характеристики регулирующего вентиля при разной степени открытия

менить подачу жидкости в испаритель. Подача жидкости в испаритель должна быть в строгом соответствии с действительной холодопроизводительностью аппарата. Равенство количества поступающей жидкости и образующегося пара является важным условием, определяющим нормальную работу не только испарителя, но и компрессора холодильной машины. При переполнении испарителя жидкостью возможен влажный ход компрессора и гидравлический удар. Недостаток жидкости вызывает уменьшение холодопроизводительности и значительный перегрев пара на всасывании.

Холодопроизводительность компрессора может быть выражена не только с помощью нагрузки испарителя, но и через теплоту, отдаваемую конденсатором. Характеристика конденсатора в координатах $t - Q$ (рис. 12.5, *б*) выражается прямой, наклоненной под углом ψ к оси. Точка пересечения характеристик компрессора и конденсатора соответствует состоянию равновесия.

На графике (рис. 12.5, *в*) показана подача жидкости через регулирующий вентиль, т.е. характеристика при постоянном давлении $p$ и разной степени его открытия: проходные сечения $F_1 > F_2 > F_3$.

На практике часто неправильно оценивают роль регулирующего вентиля как регулятора температуры кипения. Сопоставление характеристик показывает, что регулирующий вентиль обеспечивает только подачу жидкости соответствующей рабочей точке и при недостатке жидкости может дать понижение $t_0$ и недопустимое перегревание пара перед всасыванием. В испарителе температура всасывания регулируется положением рабочей точки.

## 12.6. Регулирование холодопроизводительности

Можно выделить следующие способы регулирования холодопроизводительности.

1. Пуск — остановка. Основной способ регулирования работы холодильной установки. В момент включения холодильной установки холодопроизводительность выше, чем в рабочем режиме примерно в два раза. Конденсатор работает только в том режиме, на который рассчитан, поэтому в момент пуска давление конденсации повышается.

2. Поочередное включение и выключение компрессоров (если их несколько). Способ регулирования более предпочтителен, чем предыдущий.

3. Отжатие всасывающих клапанов.

4. Использование двигателей постоянного тока с регулированием частоты вращения и двухскоростных асинхронных двигателей.

5. Изменение частоты вращения электродвигателя с помощью преобразователя частоты (ПЧ). ПЧ выпрямляет переменный ток из сети в постоянный ток, после чего постоянный ток преобразуется в переменный ток с переменной амплитудой и частотой. Таким образом, двигатель обеспечивается регулируемым напряжением и частотой, что позволяет регулировать частоту вращения стандартных трехфазных двигателей переменного тока. ПЧ обеспечивают оптимальную температуру в любых условиях, плавно регулируя скорость вращения компрессора с помощью микропроцессорной техники. Компрессор в момент запуска работает при повышенной скорости вращения, в результате чего быстро достигается заданная температура, и компрессор постепенно переходит в низкоскоростной режим работы, экономя энергию. Плавная регулировка скорости вращения компрессора приводит к снижению потребляемой энергии и к стабильности температуры без ее неприятных крутых колебаний.

6. Байпасирование (перепуск газа с нагнетания на всасывание, рис. 12.6). Регулирование производительности холодильной установки

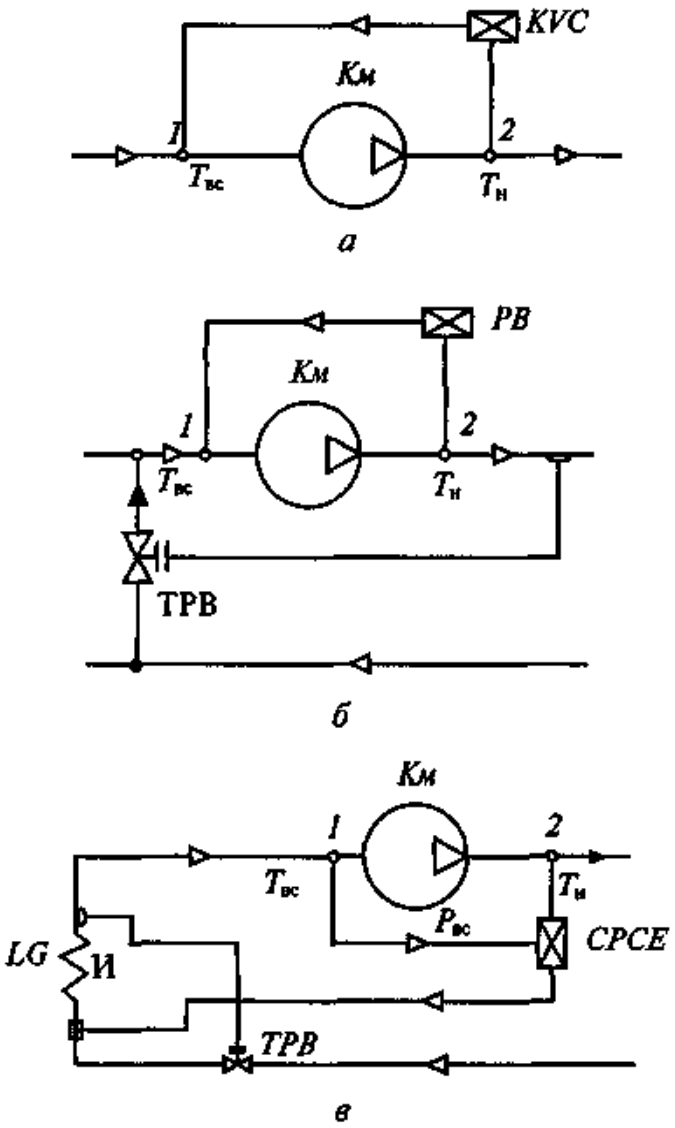



Рис. 12.6. Схемы байпасирования:
*а* — простейшего; *б* — с впрыском жидкого хладагента; *в* — с одним испарителем

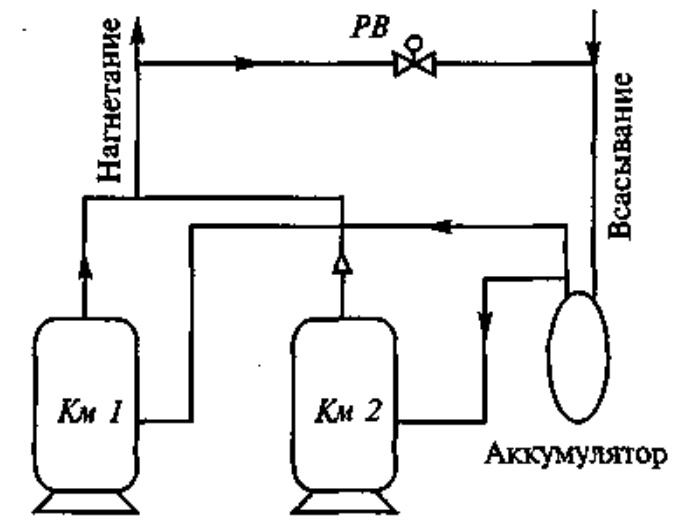



Рис. 12.7. Принципиальная схема байпасирования, используемая в кондиционерах фирмы SANYO

простым перепуском газа высокого давления на всасывание компрессора *Км* осуществляется с помощью регулятора производительности *KVC* фирмы «Данфосс». Регулятор, демпфируя пульсации, работает в широком диапазоне регулировки производительности. В схеме байпасирования с впрыском жидкого хладагента вентиль устанавливают так, чтобы впрыск дополнительного количества хладагента происходил из жидкостной магистрали. При использовании схемы с одним испарителем (рис. 12.6, *в*) возможен вариант, при котором хладагент будет подаваться в магистраль перед испарителем при поступлении сигнала из всасывающей магистрали компрессора о снижении количества поступающего хладагента.

Регуляторы производительности (перепуск горячего газа) *CPCE* фирмы «Данфосс» применяются для приведения производительности комперссора в соответствие с фактической нагрузкой испарителя. *CPCE* монтируется в байпасной линии между сторонами низкого и высокого давления холодильной установки. Горячий газ вводится между испарителем и *TPB*. Ввод должен осуществляться через смеситель жидкость — газ *LG*, который обеспечивает однородность смеси жидкости и горячего газа. К достоинствам такого регулирования относятся:

высокая точность управления;

увеличение скорости газа в испарителе, а следовательно, улучшение возврата масла в компрессор;

защита испарителя от слишком низкой температуры кипения.

В кондиционерах фирмы SANYO используется принципиальная схема байпасирования, приведенная на рис. 12.7.

В любом случае использование байпасного вентиля будет приводить к уменьшению холодопроизводительности системы.

## 12.7. Приборы регулирования заполнения испарителей хладагентом

**Капиллярные трубки.** В холодильных машинах мощностью до 5 кВт применяются обычно капиллярные трубки, представляющие собой дроссельное устройство в виде отрезка медной трубки внутренним диаметром 0,5...2,5 мм и длиной 600...6000 мм, расположенное на пути хладагента из конденсатора к испарителю. Термин «капиллярная трубка» является неточным, так как проходное сечение таких трубок велико для осуществления явлений капиллярности. Давление жидкого хладагента, поступающего в такую трубку, падает при прохождении по ней вследствие трения и ускорения хладагента. Часть жидкости по мере прохождения хладагента по трубке превращается в пар. Проходное сечение капиллярной трубки всегда открыто и не регулируется. Размеры трубки и, следовательно, ее пропускная способность обеспечивают в расчетном режиме протекание хладагента в количестве, равном массо-

вой производительности компрессора. Следует учитывать, что, например, в однокамерных домашних холодильниках заряд хладагента оборачивается в системе 10...20 раз в 1 ч.

Капиллярные трубки имеют свои достоинства и недостатки. К их достоинствам относятся: простота — отсутствие движущихся частей, удобство сборки агрегата, высокая надежность, долговечность, дешевизна, облегчение запуска компрессора. Эти их качества способствовали вытеснению в кондиционировании, холодильных агрегатах и домашних холодильниках (повсеместно) всех других видов дроссельных устройств, называемых обычно «регулирующими вентилями». Капиллярные трубки выравнивают давление в системе при остановках циклично работающей холодильной машины и обеспечивают легкий пуск электродвигателя компрессора. При этом сокращаются длительность пуска и выделение теплоты в двигателе от пускового тока. Электродвигатель для привода компрессора может иметь малый пусковой крутящий момент, а следовательно, и малые размеры. Недостатками капиллярных трубок является то, что они не могут быть перенастроены в зависимости от изменяющихся условий нагрузки, подвержены засорениям и требуют, чтобы количество хладагента, заполняющего систему, было выдержано в строго определенных пределах. Последняя особенность капиллярных трубок диктует необходимость применения их только в герметичных холодильных машинах, в которых менее вероятны утечки хладагента из системы.

Возможность закупорки проходного сечения на входе в трубку загрязнениями и на выходном конце льдом, выпадающим из масло-хладонового раствора при понижении температуры в случае содержания влаги в системе, требует применения надежных фильтров и осушителей, размещаемых перед капиллярной трубкой. Трубка диаметром 0,8 мм (сечением 0,5 мм$^2$) может быть забита на длину 1 см при кристаллизации всего 5 мг льда. Для получения желаемых результатов можно применить различные сочетания длины и диаметра трубки. Однако, когда капиллярная трубка подобрана и установлена, ее нельзя настраивать на различные условия давлений нагнетания или всасывания, а также на изменение нагрузки. Капиллярная трубка рассчитана на определенные условия работы, и всякое изменение нагрузки или температуры конденсации по сравнению с проектными параметрами вызывает снижение эффективности работы холодильной машины.

Наиболее практичным является выбор размеров капиллярной трубки по номограммам, составленным для непрерывной работы в установившемся тепловом состоянии. Последующая корректировка размеров трубки проводится после экспериментальной проверки работы холодильника при различных режимах и условиях эксплуатации. На практике сначала устанавливают трубку длиннее расчетной, в результате чего чаще получается слишком низ-

кая температура кипения. Трубка укорачивается до тех пор, пока не будет достигнута точка равновесия. Экономичная работа холодильника может быть обеспечена только при увязке размеров капиллярной трубки с количеством хладагента в машине заданной конструкции.

При высоких давлениях конденсации капиллярная трубка подает в испаритель бóльшее количество хладагента, чем при низких давлениях конденсации, вследствие увеличения перепада давлений в трубке. Компрессор и капиллярная трубка не могут полностью определять давление всасывания, так как необходимо, чтобы условия теплопередачи в испарителе были бы также соблюдены. Если точка равновесия производительностей капиллярной трубки и компрессора не удовлетворяет условиям теплопередачи, в испарителе возникает состояние неуравновешенности, влекущее за собой переполнение или недостаточное питание испарителя хладагентом.

Большая тепловая нагрузка на испарителе вызывает повышение температуры и давления всасывания. При этом давлении всасывания компрессор может отсосать из испарителя бóльшее количество хладагента, чем может подать капиллярная трубка; таким образом, в испарителе скоро выявится недостаток хладагента. Опорожнение испарителя не может продолжаться до бесконечности. Поэтому должно произойти какое-то явление, восстанавливающее состояние равновесия в системе. В большинстве установок, не имеющих ресивера для жидкого хладагента, в этих условиях происходит переполнение конденсатора. Поверхность конденсации сокращается, вследствие чего давление конденсации увеличивается. При повышении давления конденсации производительность компрессора снижается, а подача хладагента капиллярной трубкой увеличивается до тех пор, пока не восстановятся условия равновесия.

В холодильных агрегатах с капиллярной трубкой нельзя устанавливать линейный (жидкостный) ресивер. Заправку такого агрегата хладагентом необходимо осуществлять по минимальной рабочей температуре кипения (если этого не сделать, то жидкий хладагент будет заливать компрессор). Холодильная установка с капиллярной трубкой работает неэффективно на всех режимах, кроме самого низкотемпературного.

Засорившуюся грязью капиллярную трубку нельзя пробить искусственным повышением давления конденсации. Следует выпаять ее и удалить участок на входе длиною 10... 15 см, затем трубку впаять в систему.

**Терморегулирующие вентили.** Наиболее распространенным типом регулирующего устройства для холодильных установок средней величины является терморегулирующий вентиль (ТРВ). Название «терморегулирующий» может ввести в заблуждение, так

как регулирование осуществляется не по температуре в испарителе, а по величине перегрева паров, отсасываемых из испарителя. Терморегулирующий вентиль регулирует поток жидкого хладагента в зависимости от процесса кипения в испарителе. Перегрев всасываемого пара воздействует на терморегулирующий вентиль следующим образом. Чувствительный элемент частично наполнен жидким хладагентом, таким же, как и в системе. Эта среда, содержащаяся в чувствительном патроне (капсуле), называется «силовой средой». Капсула прикрепляется к трубопроводу на выходе из испарителя таким образом, что капсула и содержащаяся в ней «силовая среда» принимают температуру всасываемых паров.

Давление «силовой среды» давит на верхнюю сторону мембраны, а давление кипения воздействует на нижнюю сторону мембраны. Небольшое усилие, создаваемое пружиной, надетой на шток клапана вентиля, удерживает его в закрытом положении до тех пор, пока давление на мембрану сверху не преодолеет усилие пружины плюс давление кипения. Для того чтобы давление на мембрану сверху превысило давление на мембрану снизу, «силовая среда» должна иметь более высокую температуру, чем температура в испарителе. Поэтому всасываемые пары должны быть перегреты, для того чтобы довести давление «силовой среды» до давления, способного произвести открытие вентиля. ТРВ являются регуляторами, с помощью которых производится автоматическая подача заданного количества хладагента в испаритель, т.е. регулируется заполнение испарителя. При избытке или недостатке хладагента в испарителе нарушается нормальная работа холодильной машины. Избыток жидкости вызывает влажный ход компрессора, так как часть жидкости попадает во всасывающую линию и компрессор, недостаток — приводит к неполному использованию поверхности испарителя и понижению температуры кипения хладагента.

В ТРВ происходит дросселирование жидкости. В качестве импульса для работы ТРВ используют температуру перегрева паров хладагента, поступающего из испарителя в компрессор. Прибор автоматически перекрывает линию подачи жидкого хладагента в испаритель, если температура пара, выходящего из испарителя, низка и, наоборот, увеличивает подачу жидкости при высокой температуре перегрева пара. Величину перегрева регулируют винтом, который перемещает гайку, изменяя натяжение пружины.

Для испарителей, устанавливаемых в небольших шкафах, охлаждающих прилавках, применяют ТРВ с внутренним выравниванием (рис. 12.8).

К ТРВ с внутренним выравниванием относятся приборы ТРВ-0,5М; ТРВ-1М; ТРВ-2М и др. Термосистема их заполнена R12. Приборы отличаются друг от друга размерами отверстий клапана и производительностью. Другая серия приборов типа 22ТРВ-В;

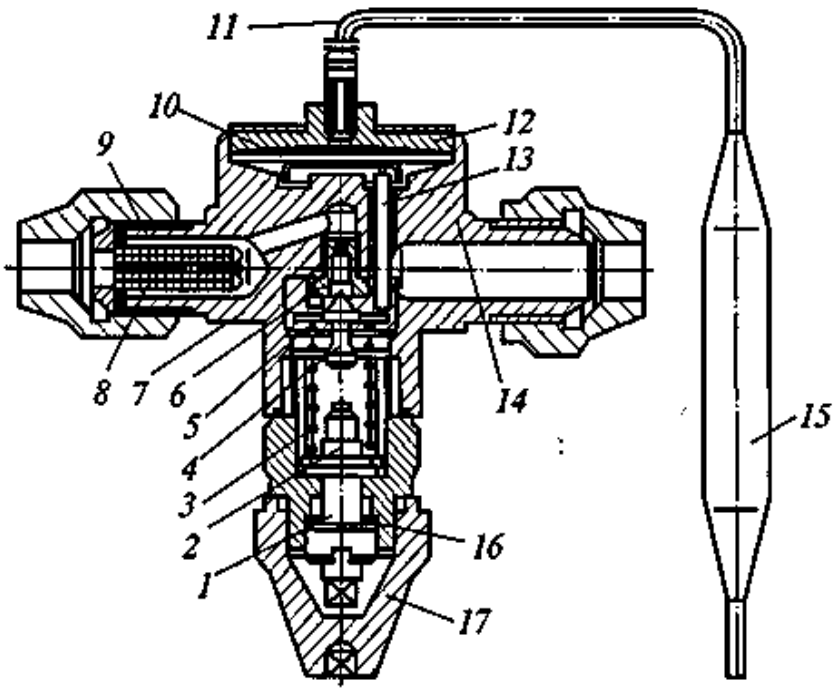



Рис. 12.8. Терморегулирующий вентиль с внутренним уравниванием:

*1* — винт настройки; *2* — втулка-гайка; *3* — пружина; *4* — игла клапана; *5* — иглодержатель; *6* — седло клапана; *7* — корпус; *8* — фильтр; *9* — входной штуцер; *10* — мембрана; *11* — капиллярная трубка; *12* — головка вентиля; *13* — толкатель; *14* — выходной штуцер; *15* — термобаллон; *16* — сальник винта настройки; *17* — колпачок

22ТРВ-0,6В: 22ТРВ-1В; 22ТРВ-1,6В имеет термосистему, заполненную R22.

При гидравлическом сопротивлении испарителя более 0,2 бар устанавливают ТРВ с внешним выравниванием (рис. 12.9). При остановке компрессора клапан ТРВ закрывается, так как перегрев пара при этом отсутствует.

Перед установкой ТРВ продувают сухим воздухом или азотом. Клапаны ТРВ поставляются настроенными на минимальный перегрев. При необходимости перегрев можно регулировать винтом в пределах 2...8 °С. К наиболее частому повреждению ТРВ относится поломка капиллярной трубки; при утечке наполнителя из термосистемы прибор не открывается. Засорение фильтра ТРВ приводит к уменьшению его пропускной способности или, так же как и при замерзании влаги, — к полной закупорке. При выборе ТРВ большей производительности по сравнению с производительностью установки прибор работает неустойчиво, допуская большие колебания температуры перегрева. ТРВ с универсальной заправкой капсулы наиболее часто применяют в установках.

При универсальной заправке количество жидкости в капсуле таково, что, какой бы ни была температура капсулы по отношению к температуре термостата, в капсуле всегда содержится жидкость.

ТРВ с заправкой *МОР* используют в моноблочных агрегатах, в которых при пуске желательно ограничивать давление всасывания (авторефрижераторы, воздушные кондиционеры). Такие вентили

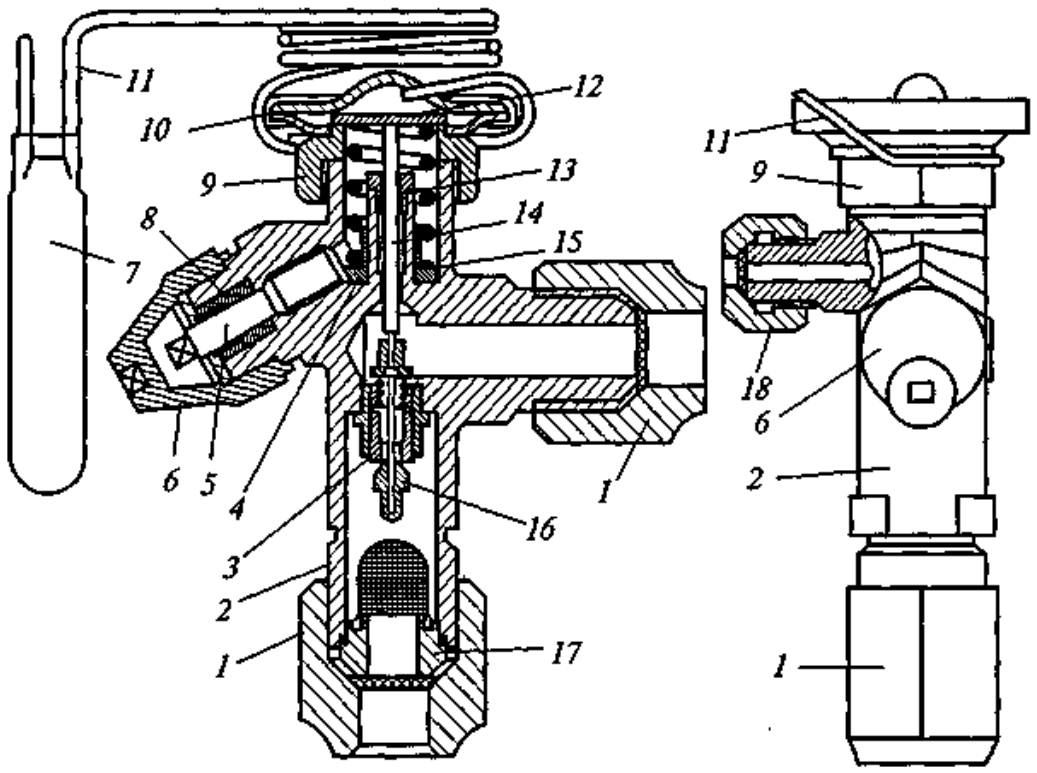



Рис. 12.9. Терморегулирующий вентиль с внешним выравниванием:

*1* — накидные гайки; *2* — корпус; *3* — сопло; *4* — ходовая втулка; *5* — ходовой винт; *6* — колпачковая гайка; *7* — термобаллон; *8* — сальник ходового винта; *9* — гайка; *10* — крышка мембраны; *11* — капиллярная трубка; *12* — мембрана; *13* — сальник штока; *14* — шток; *15* — пружина; *16* — клапан; *17* — фильтр; *18* — штуцер уравнительной линии

*MOP* имеют небольшое количество жидкости в капсуле. Поэтому вентиль должен быть всегда более нагретым, чем капсула. В противном случае вся заправленная жидкость перетекает в полость вентиля и ТРВ перестает работать.

Максимальное рабочее давление *MOP* — это максимально допустимое давление кипения или всасывания. Оно так же переводится, как «защита двигателя от перегрузки». При достижении *MOP* жидкость в капсуле испаряется. Когда давление всасывания приближается к *MOP* менее чем на 0,3...0,4 бар, вентиль начинает закрываться до тех пор, пока полностью не закроется. При этом давление всасывания будет равно *MOP*.

ТРВ с заправкой *MOP* с наполнителем предназначены для холодильных установок, имеющих высокодинамичные испарители, например, для воздушных кондиционеров или для установок с пластинчатыми теплообменниками с высокой интенсивностью теплопередачи. Заправка *MOP* с наполнителем обеспечивает работу при перегреве меньшем на 2...4 °С, чем это достигается с другими типами заправок. При заправке *MOP* с наполнителем внутри капсулы содержится материал с высокой пористостью, т.е. с большим отношением поверхности к массе. Этот наполнитель создает демпфирующий

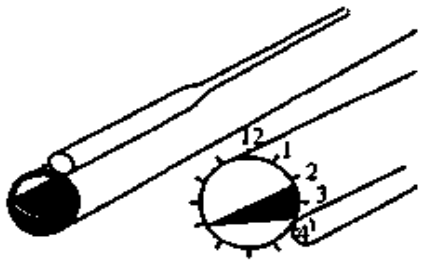



Рис. 12.10. Схема установки капсулы ТРВ на трубопроводе

эффект при регулировке (медленное открытие вентиля при повышении температуры капсулы и быстрое закрытие при понижении).

ТРВ устанавливают на жидкостном трубопроводе перед испарителем. При этом капсула крепится на всасывающем трубопроводе как можно ближе к испарителю. При наличии компенсации внешнего давления компенсационный трубопровод врезают во всасывающий трубопровод сразу после капсулы. Капсулу рекомендуется устанавливать на горизонтальной части всасывающего трубопровода в зоне нижней трети его сечения (рис. 12.10). Размещение капсулы зависит от размеров трубопровода. Нельзя устанавливать капсулу внутри трубопровода, так как наличие масла может затруднить ее работу. Последняя должна контролировать температуру перегретого пара на линии всасывания, поэтому устанавливать ее нужно таким образом, чтобы избежать влияния посторонних источников теплоты или холода. Если есть опасность попадания на капсулу потока горячего воздуха, ее нужно теплоизолировать. Нельзя устанавливать капсулу после теплообменника: это может вызвать появление ложных команд в контуре регулирования. Искажение команд может возникнуть, если капсула установлена вблизи агрегатов, имеющих значительную массу. Установка капсулы на вертикальном участке или после масляной ловушки (петли) запрещена. Выполненная при отправке с завода настройка ТРВ соответствует большинству установок. Если возникает необходимость дополнительной регулировки, нужно использовать регулировочный винт.

Современные ТРВ имеют сменные клапанные узлы вентилей (патроны). Если не удается найти режим настройки, который устраняет пульсации давления, не исключено, что пропускная способность ТРВ слишком велика. Для того чтобы снизить расход, нужно заменить ТРВ или сменить патрон. Если перегрев в испарителе слишком большой, то пропускная способность ТРВ мала. Тогда, чтобы повысить расход, нужно также поменять патрон (на больший номер).

**Электронные расширительные вентили.** В современных холодильных установках и кондиционерах применяются электронные расширительные вентили. Первая модель представляет из себя клапан с шаговым электродвигателем (рис. 12.11). Этот вентиль может работать как обычный запорный вентиль, как ТРВ с расширенными возможностями и по любому наперед заданному закону. Вторая модель — это высокочастотный соленоидный вентиль. Обе модели при работе ТРВ получают команды от двух термисторов, фиксирующих перегрев хладагента в испарителе (рис. 12.12).

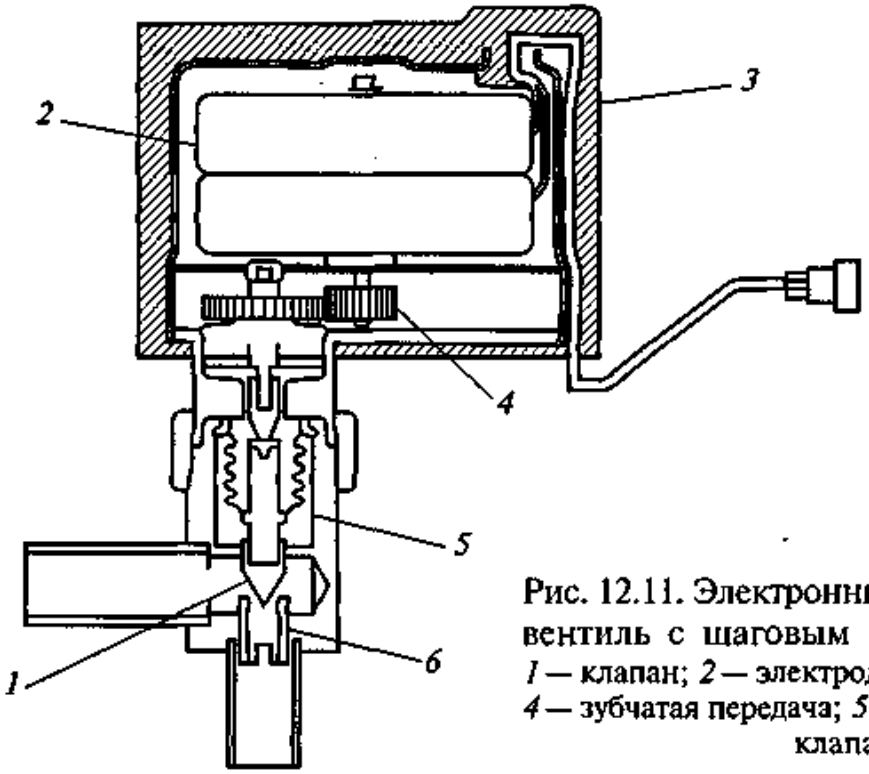



Рис. 12.11. Электронный расширительный вентиль с шаговым электродвигателем: *1* — клапан; *2* — электродвигатель; *3* — корпус; *4* — зубчатая передача; *5* — сильфон; *6* — седло клапана

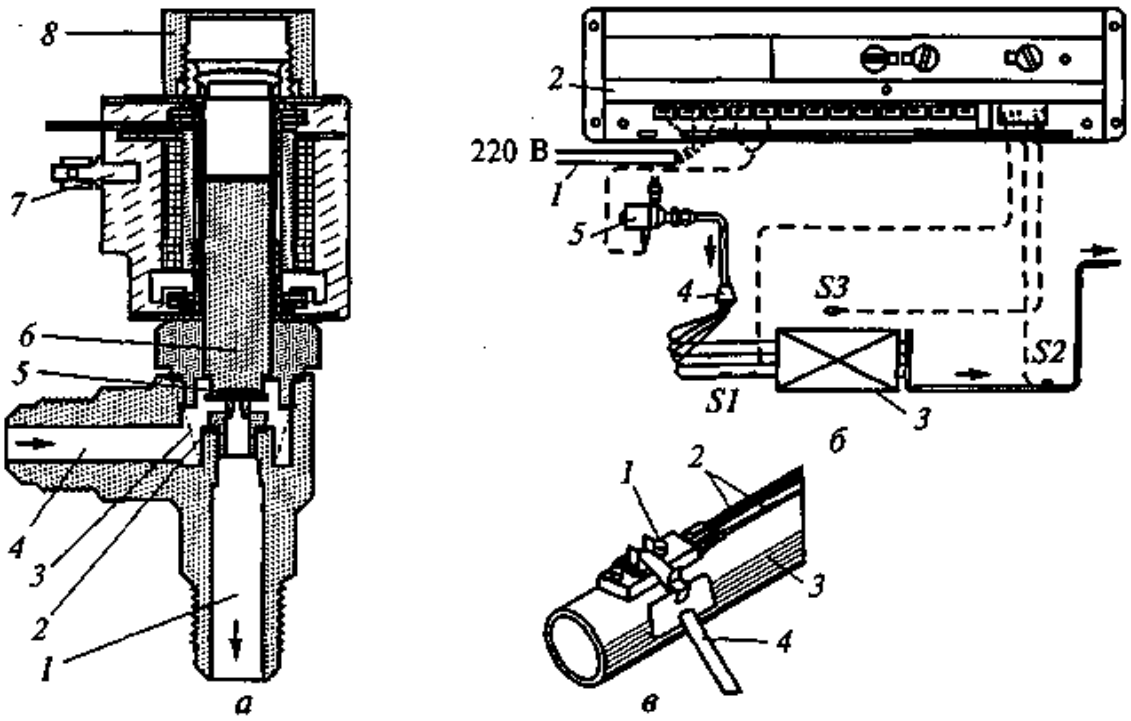



Рис. 12.12. Электронная система питания хладагентом испарителя:

*а* — электромагнитный вентиль: *1* — выходной патрубок; *2* — седло; *3* — фильтр; *4* — входной патрубок; *5* — уплотнение клапана; *6* — сердечник клапана; *7* — катушка; *8* — крышка; *б* — схема соединений: *1* — электрический кабель питания и заземления электронного устройства; *2* — электронное устройство; *3* — испаритель; *4* — распределитель подачи хладагента; *5* — электромагнитный вентиль; $S_1$, $S_2$, $S_3$ — температурные датчики; *в* — крепление температурного датчика к трубопроводу: *1* — температурный датчик; *2* — электрические провода; *3* — трубопровод; *4* — хомут

**Распределители.** Воздухоохладители с принудительным обдувом изготовляются из параллельно соединенных секций. Гидравлическое сопротивление всех секций практически различно, что приводит к их неравномерному заполнению при питании от одного ТРВ. Равномерное распределение подачи в этом случае достигается введением распределителя (дистрибьютора, «паука») с большим гидравлическим сопротивлением (рис. 12.13).

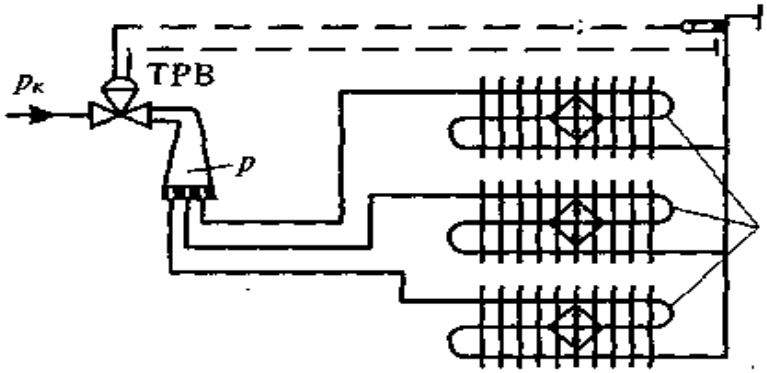



Рис. 12.13. Схема автоматического регулирования перегрева паров в испарителе

Так, если гидравлическое сопротивление секций испарителя 1,0; 2,0 и 3,0 кПа, то в последнюю секцию из-за большого сопротивления поступит значительно меньше хладагента, чем в первую. Если в рассмотренном примере установить распределитель с гидравлическим сопротивлением 100 кПа, это даст суммарное сопротивление соответственно 101, 102 и 103 кПа на каждую секцию испарителя, и незначительная разность сопротивлений обеспечит равномерную подачу хладагента по всем секциям. Полученная равномерность подачи достигается введением дополнительного сопротивления, что снижает холодопроизводительность ТРВ на 20...30 %. Очевидно, что питание подобных испарителей осуществляется ТРВ с внешним уравниванием давления.

Распределители (рис. 12.14) представляют собой устройства с каналами малого диаметра, от которых хладагент поступает к секциям испарителя.

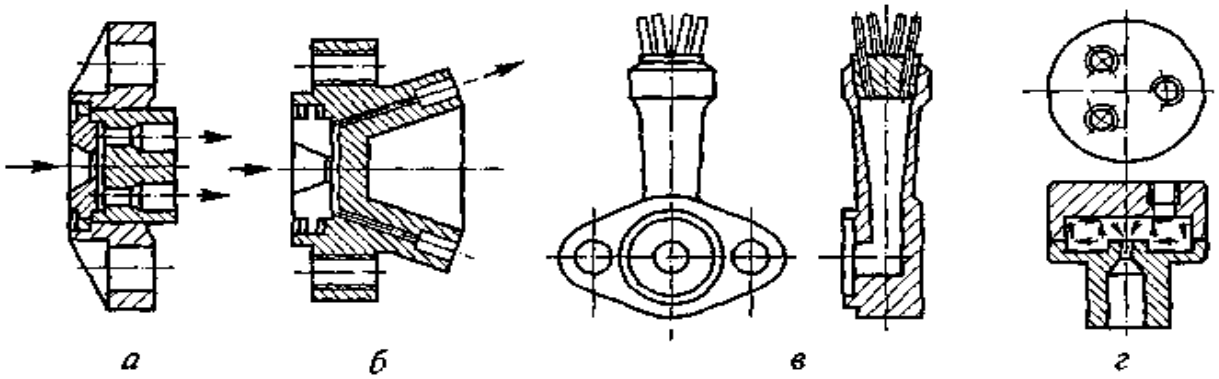



Рис. 12.14. Распределительные устройства

**Регуляторы уровня хладагента в испарителях.** Для регулирования уровня жидкого хладагента большое распространение получили поплавковые регуляторы (рис. 12.15). Чувствительным элементом в полупроводниковом реле уровня ПРУ-5 является стальной поплавок, размещенный в цилиндре. Цилиндр соединен с паровой и жидкостной частями испарителя, благодаря чему поплавок контролирует в нем уровень жидкости. На цилиндре, выполненном из нержавеющей стали (немагнитный материал), установлены две катушки индуктивности. При изменении уровня в испарителе поплавок пересекает магнитное поле верхней либо нижней катушки. Индуктивное сопротивление катушки меняется, что вызывает разбаланс моста пере-

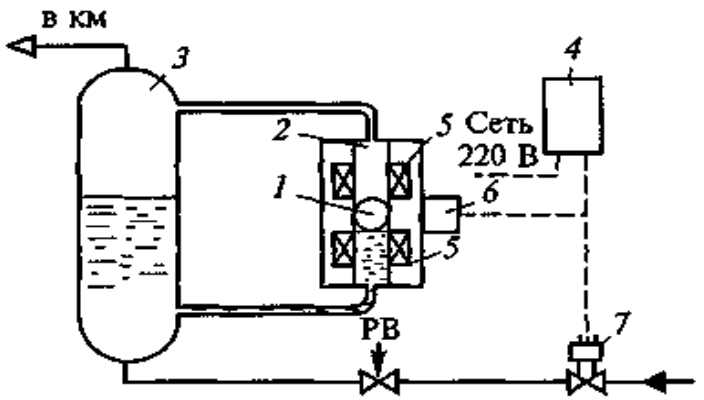



Рис. 12.15. Полупроводниковое реле уровня типа ПРУ-5:

*1* — поплавок; *2* — цилиндр; *3* — испаритель; *4* — клеммная коробка; *5* — катушка индуктивности; *6* — электронный блок; *7* — соленоидный вентиль

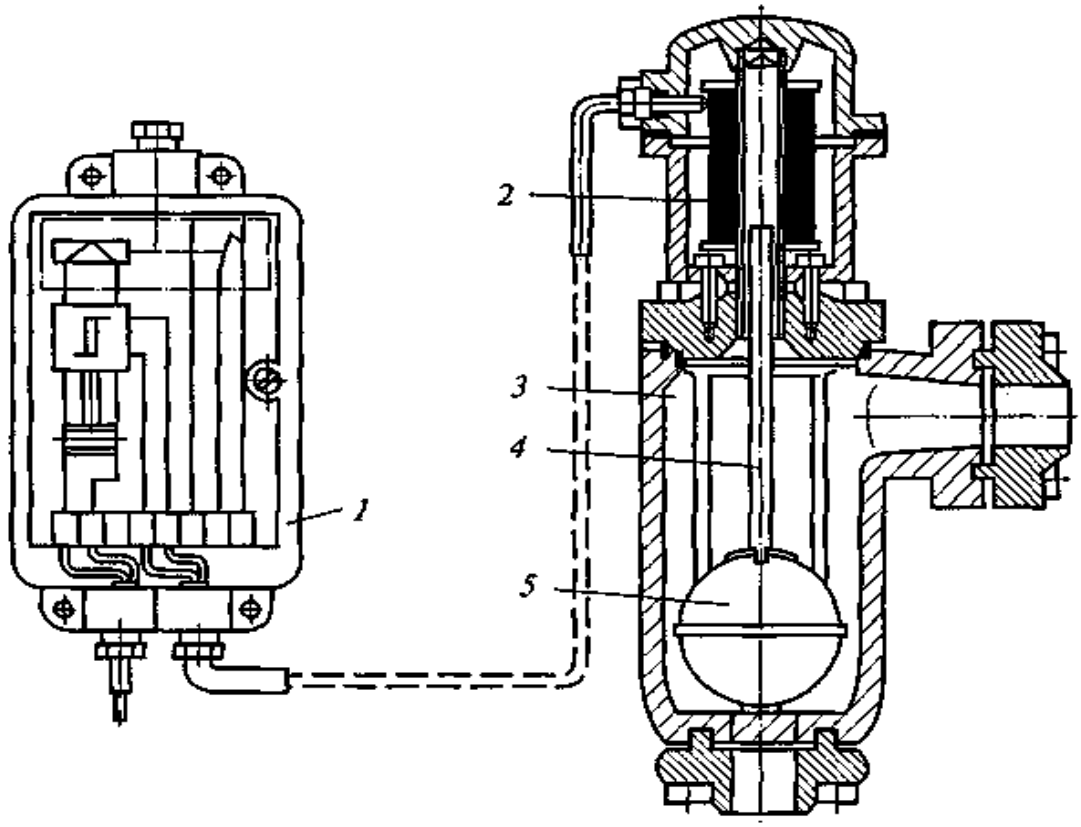



Рис. 12.16. Электронный регулятор уровня фирмы «Данфосс»:

*1* — электронный блок; *2* — электромагнитная катушка; *3* — камера; *4* — трубка; *5* — поплавок

менного тока в электронном блоке. Возникающий электрический сигнал через клеммную коробку подается на соленоидный вентиль, открывая или закрывая его, чтобы поддержать заданный уровень жидкости в испарителе.

Большое распространение в системах автоматического регулирования уровня жидкого хладагента в испарителе получил электронный регулятор уровня фирмы «Данфосс» (рис. 12.16). Чувствительный элемент — поплавок с металлической трубкой — размещен в поплавковой камере. Поплавковая камера соединена с верхней и нижней частями испарителя. Перемещение стержня вызывает изменение сопротивления соленоидной катушки, включенной в мостовую схему электронного блока. Разбаланс в мостовой схеме приводит к появлению управляющего сигнала на соленоидный вентиль или сигнализацию.

## 12.8. Регулирование давления конденсации

**Конденсаторы с водяным охлаждением.** Для регулирования подачи охлаждающей воды на конденсатор служат водорегулирующие вентили ВРВ. Они работают в зависимости от изменения давления конденсации. При повышении давления конденсации (ВРВ через штуцер присоединяется к конденсатору) расход воды увеличивается и, наоборот, при падении давления подача воды автоматически уменьшается. В некоторых случаях вентили имеют дополнительные контакты, которые разрывают электрическую цепь и выключают компрессор при чрезмерном повышении давления конденсации.

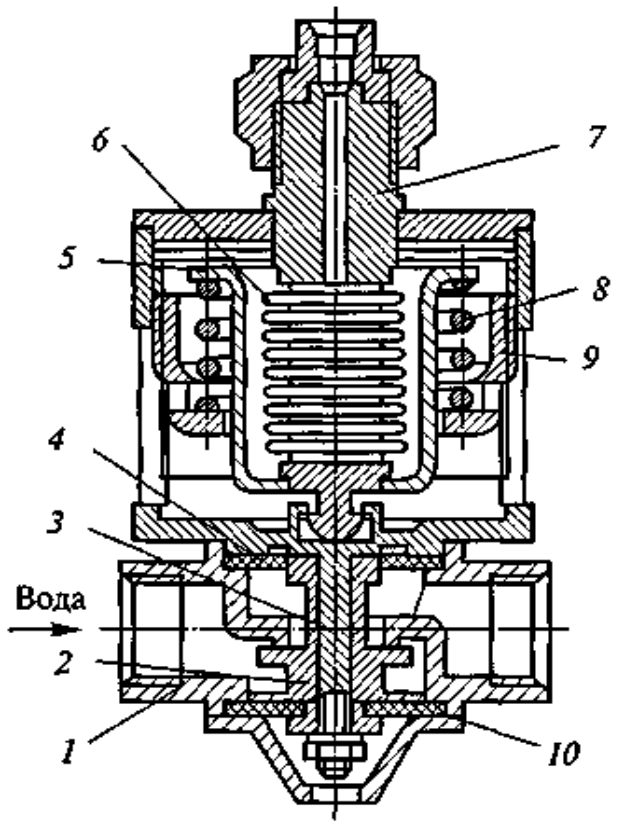



Рис. 12.17. Водорегулирующий вентиль ВРВ:

*1* — корпус; *2* — клапан; *3* — шток клапана; *4*, *10* — мембраны; *5* — кожух сильфона; *6* — сильфон; *7* — присоединительный штуцер; *8* — регулировочная пружина; *9* — регулировочная гайка

Чувствительным элементом ВРВ (рис. 12.17) является мембрана или сильфон, которые под давлением паров хладагента прогибаются и заставляют связанный с ними клапан открывать проходное сечение прибора.

**Конденсаторы с воздушным охлаждением.** Когда компрессорно-конденсаторный агрегат расположен на улице, то при работе холодильной установки в холодное время года возникают трудности, связанные с понижением давления конденсации (хладагент прекращает циркулировать по системе) и температуры картера компрессора (а следовательно, масла).

Существует несколько способов поддержания давления конденсации парокомпрессионных холодильных машин с воздушным охлаждением конденсатора при пониженной температуре охлаждающего воздуха, например путем подтапливания части теплообменной поверхности конденсатора жидким хладагентом. В последнее время появились двигатели с инверторным управлением, позволяющие плавно менять скорость вращения вентилятора, соответственно регулируя расход охлаждающего воздуха и давление конденсации.

*Регулирование давления конденсации путем заполнения части конденсатора жидким хладагентом* позволяет поддерживать работу холодильной системы, когда традиционные способы (регулятор скорости вращения вентиляторов и др.) недостаточны. В магистралях высокого давления устанавливают регуляторы давления конденсации хладагента, преимущества последних заключаются в следующих возможностях: поддержания постоянного давления в ресивере; расположения конденсатора и ресивера на одном уровне; применения в холодильных системах на R22 холодопроизводительностью до 100 кВт (при использовании регуляторов с изменяемой настройкой) и до 73 кВт (с неизменяемой настройкой); работы без обратного клапана, так как система регуляторов предотвращает возврат хладагента в конденсатор. При значительном снижении температуры окружающего воздуха снижаются температура и давление конденсации, уменьшается (пропорционально квадратному корню из разности давлений) пропускная способность ТРВ и в испаритель поступает недостаточное количество хладагента, что приводит к понижению давления всасывания.

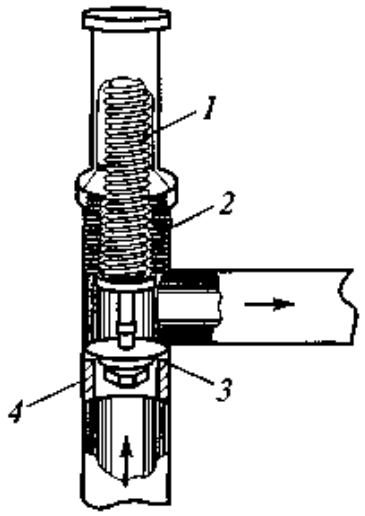



Рис. 12.18. Регулятор ORI:
*1* — пружина настройки; *2* — сильфон; *3* — клапан; *4* — седло клапана

Основная проблема возникает при запуске системы: компрессор не может запуститься даже тогда, когда количество хладагента в системе достаточное. Для решения указанных проблем фирма SPORLAN использует два метода контроля давления: регулируемый (с применением комбинации регуляторов ORI + ORD) и нерегулируемый (с использованием регулятора OROA). Работа регуляторов давления конденсации

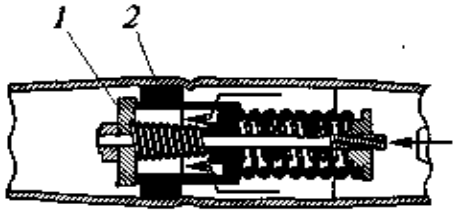



Рис. 12.19. Регулятор ORD:
*1* — клапан; *2* — седло клапана

основана на следующем принципе. При понижении давления конденсации они удерживают жидкий хладагент в конденсаторе, часть теплообменной поверхности конденсатора при этом не участвует в процессе теплообмена, и давление конденсации увеличивается. Регулятор ORI (рис. 12.18) используют для регулирования давления на входе («до себя»). Настройка регулятора определяется силой натяжения пружины. Он реагирует только на изменение давления конденсации. При повышении давления на входе (давление конденсации) клапан регулятора открывается.

Если же температура окружающего воздуха понижается, то давление конденсации падает. При этом клапан регулятора закрывается, регулируя давление конденсации.

Регулятор ORD (рис. 12.19) представляет собой дифференциальный клапан, который реагирует на разницу давлений. Он используется совместно с регулятором ORI.

Когда регулятор ORI закрыт, возникает разность давлений на входе и выходе регулятора ORD, установленного на обходной линии конденсатора. При достижении разности давлений в 1,4 бар ORD начинает открываться, перепуская горячие пары в жидкостную линию. Регулятор ORD будет полностью открыт при разности давлений 2 бар.

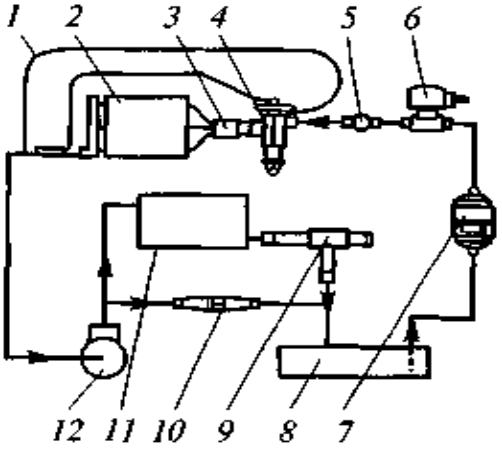



Рис. 12.20. Схема контроля высокого давления регулируемым способом:
*1* — внешняя уравнительная линия; *2* — испаритель; *3* — распределитель хладагента; *4* — ТРВ; *5* — смотровое стекло; *6* — соленоидный вентиль; *7* — фильтр-осушитель; *8* — ресивер; *9* — регулятор ORI; *10* — регулятор ORD; *11* — конденсатор; *12* — компрессор

В результате совместного действия регулятора ORI и дифференциального клапана ORD поддерживается постоянное давление в ресивере, необходимое для нормальной работы холодильной системы. Так как ORI имеет регулируемый диапазон 4,5... 15,5 бар, его можно использовать на всех хладагентах. Давление настройки для R22 составляет 14 бар. Регулятор ORI расположен на жидкостной линии между конденсатором и ресивером (рис. 12.20).

Регулятор OROA (рис. 12.21) с неизменяемой настройкой при низких темпера-

турах наружного воздуха, когда давление конденсации понижается до давления настройки, задерживает поток жидкого хладагента в конденсаторе. В результате давление конденсации повышается. В то же время он регулирует поток горячих паров, идущих в ресивер, минуя конденсатор.

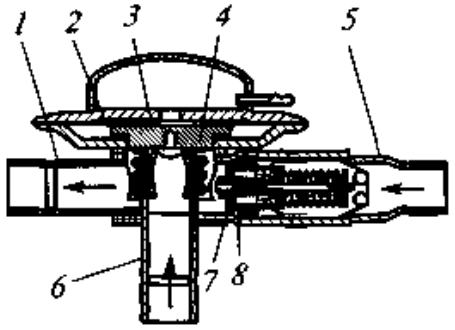



Рис. 12.21. Регулятор OROA:

*1*, *5*, *6* — патрубки соответственно к ресиверу, от компрессора, от конденсатора; *2* — мембрана; *3*, *7* — клапан; *4*, *8* — седло клапана

Давление на выходе (давление в ресивере) есть контролируемое давление, на которое реагирует регулятор. Сила, действующая сверху на диафрагму и противодействующая силе контролируемого давления, создается давлением находящегося в замкнутом объеме специально подобранного вещества. Эти две силы являются действующими силами регулятора, которые контролируют давление на выходе.

Регулятор OROA сочетает в себе функции ORI и ORD. Он более компактен и дает возможность устанавливать конденсатор и ресивер на одном уровне. При изменении температуры наружного воздуха соответственно изменяются давление конденсации и давление в ресивере. С уменьшением давления в ресивере регулятор OROA прикрывает отверстие для прохода потока жидкого хладагента из конденсатора.

При прохождении горячих паров частично через вентиль ORD или OROA температура чувствительного элемента поддерживается на должном уровне и вентиль хорошо функционирует при температуре наружного воздуха –40 °С и ниже.

Входной патрубок регулятора OROA позволяет присоединить к обходной линии конденсатор, что значительно упрощает монтаж. Основные патрубки *1* и *6* (см. рис. 12.21) регулятора OROA расположены на жидкостной линии между конденсатором и ресивером (рис. 12.22), тогда как основной патрубок *5* (см. рис. 12.21) — на линии отбора горячих паров.

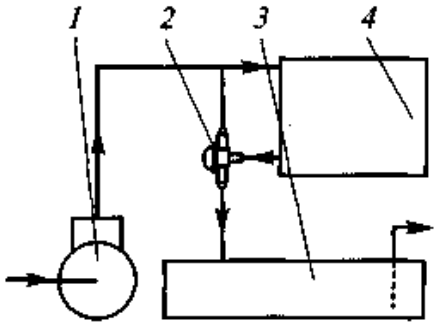



Рис. 12.22. Схема контроля высокого давления нерегулируемым способом:

*1* — компрессор; *2* — регулятор OROA; *3* — ресивер; *4* — конденсатор

При низких температурах наружного воздуха давление в ресивере падает до тех пор, пока его значение не приблизится к контрольной точке регулятора OROA (заводская настройка).Основное проходное отверстие регулятора прикрывается, ограничивая поток жидкого хладагента

из конденсатора, что приводит к повышению давления конденсации, и OROA выполняет функции регулятора ORI. Так как давление в ресивере и давление в конденсаторе должны быть идентичны, то OROA выполняет и функцию регулятора ORD, который расположен на обходной линии конденсатора. Регулятор ORD работает на открытие и закрытие, тогда как регулятор OROA дросселирует и пропускает ограниченное количество хладагента для достижения разности между давлениями в конденсаторе и ресивере, которая не должна превышать 1,4 бар (140 кПа).

Горячие пары, проходя через обходную линию, подогревают холодную жидкость, идущую к ресиверу. Так как жидкость поступает в ресивер теплой и под достаточным давлением, это гарантирует нормальную работу регулирующего вентиля (ТРВ). Обычно его настройка должна быть эквивалентна давлению конденсации при температуре конденсации 38 °С или давлению в ресивере при температуре 32 °С. Желательно, чтобы входные патрубки регуляторов были одного диаметра с выходными патрубками конденсатора.

Во всех регуляторах высокого давления установлен сетчатый фильтр на входе. Компоненты холодильной системы (компрессор, испаритель, конденсатор, ресивер) могут быть установлены в различных позициях по отношению друг к другу. Регуляторы высокого давления будут хорошо работать в случае установки ресивера на одном уровне или ниже конденсатора. Для гарантии быстрого запуска системы ресивер должен быть расположен в теплом месте. Если компрессорно-конденсаторный агрегат, имеющий в своем составе ресивер, находится снаружи, то при низких температурах возможны некоторые трудности при запуске, особенно когда система долгое время не работала. Одно из решений этой проблемы — установка реле времени в комбинации с реле низкого давления. Реле времени должно позволить компрессору работать приблизительно 2 мин для увеличения давления в ресивере до значения, необходимого для нормальной работы ТРВ. Другое возможное решение — подогрев ресивера. Нагреватель должен быть установлен в электрической цепи параллельно с подогревателем картера, так как он должен включаться в работу тогда, когда компрессор не работает.

*Регулирование давления конденсации с помощью введения неконденсирующегося газа* (например, азота) *в конденсатор* (рис. 12.23) не приводит к перераспределению хладагента в системе, поэтому испаритель работает эффективнее.

В этом случае в контур парокомпрессионной холодильной машины при понижении давления в конденсаторе вводится определенное количество неконденсирующегося газа. Накапливаясь в конденсаторе, он повышает давление в нем на величину собственного парциального давления, а также за счет того, что уменьшается эффективная теплообменная поверхность. При этом увеличивается

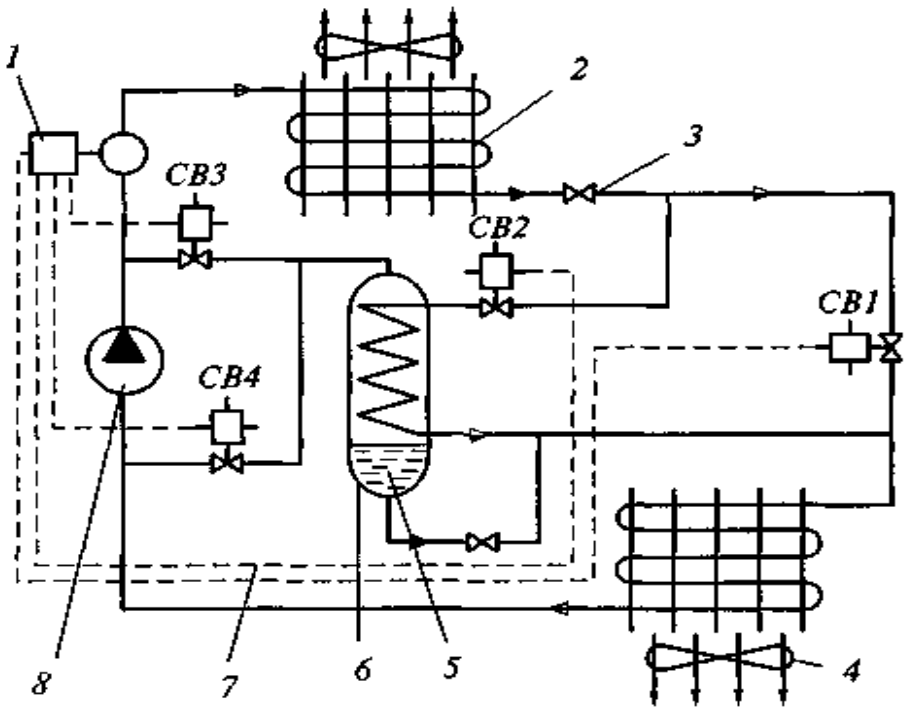



Рис. 12.23. Холодильная машина с регулированием давления в конденсаторе методом введения неконденсирующегося газа:

*1* — управляющее устройство; *2* — конденсатор; *3* — расширительное устройство; *4* — испаритель; *5* — жидкий хладагент; *6* — емкость неконденсирующегося газа; *7* — связи управления; *8* — компрессор

перепад давлений на расширительном устройстве до значения достаточного для нормального питания испарителя хладагентом.

Холодильная машина включает в себя: компрессор, конденсатор, расширительное устройство, испаритель, емкость неконденсирующегося газа, запорный вентиль *СВ1* (соленоидный вентиль), линию отвода неконденсирующегося газа с запорным вентилем *СВ3*, линию подачи неконденсирующегося газа с запорным вентилем *СВ4*, линию охлаждения отводимой смеси с запорным вентилем *СВ2*, линию слива хладагента из емкости, устройство управления, реагирующее на изменение давления в конденсаторе.

Холодильная машина работает по классическому циклу. В установившемся режиме давление в конденсаторе, измеряемое датчиком давления управляющего устройства, соответствует заданному. При значительном понижении температуры воздуха, охлаждающего конденсатор, падает давление конденсации и уменьшается перепад давлений на расширительном устройстве, вследствие чего уменьшается расход хладагента и холодопроизводительность машины. В этом случае по сигналу датчика давления управляющего устройства порция неконденсирующегося газа из емкости через *СВ4* подается в контур циркуляции хладагента на сторону низкого давления. Неконденсирующийся газ сжимается в компрессоре вместе с хладагентом и попадает в конденсатор, где накапливается. При этом

давление в конденсаторе повышается. Увеличивается перепад давлений между сторонами всасывания и нагнетания. Вследствие этого увеличивается расход хладагента через регулирующее устройство, обеспечивая необходимую холодопроизводительность. При дальнейшем понижении температуры воздуха, охлаждающего конденсатор, в контур циркуляции хладагента подается следующая порция неконденсирующегося газа.

При повышении температуры воздуха, охлаждающего конденсатор, необходимо вернуть неконденсирующийся газ обратно в емкость.

По сигналу датчика давления управляющего устройства закрывается *вентиль СВ1 и открывается вентиль СВ2*, при этом хладагент после регулирующего устройства проходит через емкость неконденсирующегося газа, охлаждая ее. Кратковременно открывается вентиль *СВ3* и перепускает порцию смеси неконденсирующегося газа и парообразного хладагента в емкость. При этом пары хладагента, попавшие в емкость из конденсатора, сжижаются. Через клапан хладагент из емкости неконденсирующегося газа возвращается в контур холодильной машины. Вентиль *СВ3* закрывается и открывается вентиль *СВ1*, машина работает в обычном режиме. При дальнейшем повышении температуры воздуха, охлаждающего конденсатор, процедура повторяется. В теплый период года, когда температура воздуха, охлаждающего конденсатор, достаточно высока для нормальной работы машины, весь неконденсирующийся газ отводится в емкость, а управляющее устройство отключается. Предлагаемый способ регулирования может быть применен вместе с устройством, отключающим частично или полностью принудительный обдув конденсатора *охлаждающим воздухом*.

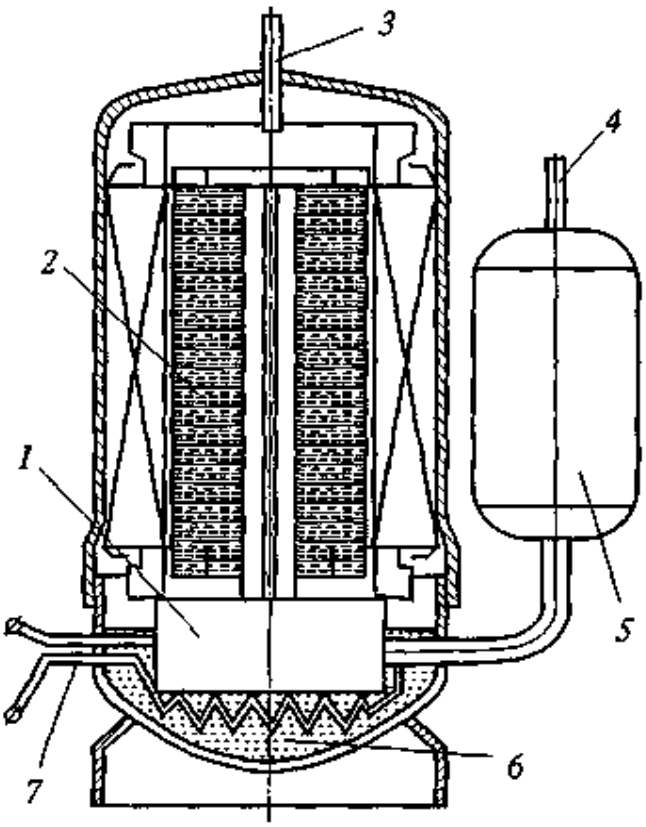



Рис. 12.24. Электрический обогрев картера компрессора:

*1* — компрессор; *2* — ротор двигателя; *3* — нагнетательная магистраль; *4* — всасывающая магистраль; *5* — глушитель; *6* — масло; *7* — ТЭН

Обогрев картера хладонового компрессора удлиняет срок его службы.

При пониженных температурах затруднен запуск компрессора. Масло становится слишком вязким и пуск компрессора происходит «всухую». Кроме того, при низкой температуре растворимость хладона в масле

сильно возрастает, поэтому в картере накапливается перенасыщенная масло-фреоновая смесь. При пуске машины происходит вскипание хладагента в картере и возможен выход из строя компрессора.

Все холодильные компрессоры, расположенные на улице, рассчитанные на использование в России, необходимо снабжать устройствами обогрева картера, которые будут включаться автоматически перед пуском компрессора и при работе с отрицательной температурой окружающего воздуха (рис. 12.24). Для вновь разрабатываемых машин это может быть ТЭН, встраиваемый в картер. Для уже существующих машин можно использовать термобандаж, одеваемый на корпус компрессора.

## 12.9. Автоматическое удаление инея с поверхности испарителя

При работе испарителя на его внешней поверхности образуется слой инея, который значительно снижает теплопередачу и, следовательно, экономичность работы холодильной машины. При образовании между ребрами испарителя сплошного слоя снеговой шубы хладагент в испарителе фактически не будет охлаждать помещение. Оттаивание слоя инея может производиться посредством остановки компрессора, включения электронагревателя, использования горячих паров хладагента, подаваемых в испаритель из компрессора.

Оттаивание инея воздухом во время стоянки компрессора может быть применено лишь в том случае, когда в охлаждаемом объекте поддерживается температура выше 0 °С. При остановке компрессора прессостатом или реле температуры стенки испарителя будут нагреваться и иней растает. При отрицательных температурах, поддерживаемых в охлаждаемом объекте, снятие снеговой шубы производится лишь с использованием дополнительных источников теплоты. Для периодического включения этих источников теплоты широко применяется программное реле времени.

## 12.10. Электромеханические, тепловые и комбинированные реле

**Электромеханические реле.** Электромеханические реле преобразуют изменение силы тока или напряжения в замыкание и размыкание электрических контактов, через которые проходит ток значительно большей мощности, чем в цепи управления. В реле изменение входной величины приводит к скачкообразному изменению выходной величины.

Электромеханические реле обычно характеризуются: мощностью срабатывания, т.е. той минимальной мощностью, которую необходимо подать на вход, чтобы обеспечить срабатывание кон-

тактов; мощностью управления, т.е. максимальной мощностью в управляемой цепи, при которой контакты работают надежно (не пригорают и не разрушаются); продолжительностью срабатывания, т.е. интервалом времени от момента подачи сигнала на вход до момента замыкания контактов; числом контактов. В зависимости от того, реагирует ли реле на направление тока или нет, различают нейтральные и поляризованные электромагнитные реле. В нейтральном реле (рис. 12.25, *а*) при подаче на вход постоянного тока магнитный поток в сердечнике *1* возрастает; якорь *2* притягивается к нему и, преодолевая усилие пружины *3*, замыкает контакты *4*. При изменении направления тока в катушке магнитный поток меняется и в сердечнике, и в якоре, а взаимодействие их не нарушается (т.е. они опять притягиваются друг к другу). Благодаря этому реле можно использовать на переменном токе. Однако в тот момент, когда значение синусоидального тока проходит через нуль, сила электромагнита также равна нулю, и под действием пружины *3* якорь отходит от сердечника. Для устранения дребезжания в сердечнике делают короткозамкнутый медный виток *5*, который раздваивает магнитный поток в нем и смещает один поток относительно другого по фазе. Поляризованное реле (рис. 12.25, *б*) чувствительно к изменению направления тока на входе. Это достигается введением в цепь магнитопровода постоянного магнита.

По назначению различают две группы электромеханических реле: реле напряжения и токовые реле. Они различаются схемой включения и конструктивными особенностями.

*Токовое реле* включают непосредственно в силовую цепь, т.е. по катушке реле проходит рабочий ток. При возрастании силы тока до определенного значения реле срабатывает, при уменьшении тока — отпускает. Ток проходит через катушку все время. Для уменьшения тепловых потерь сопротивление катушки делают малым (диаметр провода увеличен).

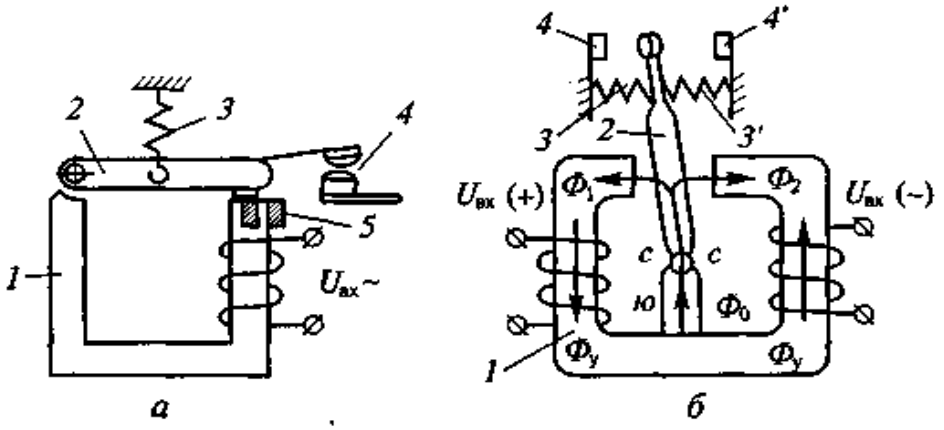



Рис. 12.25. Электромагнитное реле:

*а* — нейтральное; *б* — поляризованное; *1* — сердечник; *2* — якорь; *3* — пружина; *4* — контакты; *5* — медный виток

Эти реле осуществляют следующие функции: преобразуют плавное изменение входного сигнала (например, индуктивности в реле уровня) в ступенчатое изменение выходного; защищают от токов короткого замыкания (вместо плавких предохранителей); облегчают пуск электродвигателя: реагируя на большой пусковой ток, они могут подключить дополнительную пусковую обмотку, отжать всасывающие клапаны, открыть байпас и т.д.

*Реле напряжения* срабатывает при подаче соответствующего напряжения на катушку. Она включается последовательно в цепь управления, а не в силовую цепь. Сопротивление катушки очень большое, а ток сравнительно мал (достаточный лишь, чтобы подтянуть якорь). На катушку обычно подается сразу полное напряжение или снимается совсем. Реле напряжения применяют для усиления мощности и распределения сигнала по нескольким цепям. К этому типу относятся промежуточные реле, магнитные пускатели, реле времени.

*Промежуточные реле ЭП-41-Б, МКУ-48, РПТ-100* служат для усиления мощности сигнала и для одновременного управления несколькими цепями, максимальное число которых зависит от числа контактов. Кроме числа контактов реле различаются выходной мощностью, напряжением, родом тока и пр. Число модификаций их очень велико, например МКУ-48 имеет около 200 разновидностей.

*Магнитные пускатели серии П.* Пускатели этой серии выпускают пяти размеров: 1-, 2-, 3-, 4- и 5-й величины (первая цифра в марке). Пускатели выполняют с открытым (вторая цифра 1) и с закрытым кожухом (вторая цифра 2). Они предназначены как для реверсивного, так и для нереверсивного пуска электродвигателей. Пускатели серии П могут иметь тепловую защиту (встроенное тепловое реле), которая разрывает цепь катушки при недопустимом возрастании силы тока.

Последняя цифра в марке пускателя обозначает: 1 — нереверсивный без тепловой защиты; 2 — нереверсивный с тепловой защитой; 3 — реверсивный без тепловой защиты; 4 — реверсивный с тепловой защитой. Например, марка П-222 расшифровывается так: пускатель 2-й величины с закрытым кожухом, нереверсивный с тепловой защитой.

*Магнитные пускатели П6.* Эти пускатели предназначены для пуска трехфазных асинхронных двигателей мощностью до 1,0; 1,7 и 2,8 кВт (при соответствующих напряжениях 127; 220 и 380 В). Они имеют четыре контакта, один из которых можно использовать как вспомогательный (блок-контакт).

*Магнитные пускатели серии ПМЕ.* Пускатели этой серии имеют три главных (силовых) контакта и один, три или пять дополнительных. Тумблер на корпусе пускателя позволяет вручную разрывать цепь катушки пускателя. Три цифры в марке пускателя

указывают его характеристику. Первая цифра — размер (величина) пускателя. Величина пускателя (0, 1, 2) определяет максимально допустимую силу тока двигателя. Вторая цифра показывает исполнение пускателя и число дополнительных контактов. Третья цифра обозначает: 1 — нереверсивный без тепловой защиты: 2 — нереверсивный с тепловой защитой; 3 — реверсивный без тепловой защиты; 4 — реверсивный с тепловой защитой. Например, обозначение ПМЕ-222 рассматривается так: пускатель 2-й величины с закрытым кожухом, одним блок-контактом с тепловой защитой, предназначенный для нереверсивного пуска двигателя.

*Реле времени Е-58, РВТ-1200, МРВ-26.* Реле этого типа аналогичны по принципу действия. При подаче командного сигнала (например, замыкании контакта реле температуры) включается синхронный электродвигатель. Одновременно электромагнит перемещает муфту, сцепляющую двигатель с шестеренным редуктором, который приводит во вращение главную ось реле. На этой оси насажены диски-шкалы с передвижными упорами. Заданному по шкале времени выдержки соответствует определенное положение упора. При вращении главной оси упоры поочередно (через требуемые интервалы) включают (или отключают) свои цепи управления. Последний (по времени) упор отключает синхронный двигатель. Контакты цепей остаются замкнутыми, пока командный сигнал через электромагнит и муфту не выведет из зацепления двигатель с редуктором. Тогда под действием пружины контакты цепей разомкнутся (займут прежнее положение).

**Тепловые реле.** Чувствительным элементом тепловых реле служат элементы, воспринимающие изменение температуры, обычно биметаллические пластины. Чувствительный элемент вместе с источником теплоты (нагревательным элементом) находятся в одном изолированном корпусе. Температура воздуха в корпусе зависит от количества теплоты, выделяемой нагревательным элементом. Когда она возрастет настолько, что температура достигнет заданного уровня, реле разомкнет электрические контакты.

Тепловые реле в основном применяются для защиты электродвигателей и других потребителей электроэнергии от длительной перегрузки. Тепловое реле ТРН (рис. 12.26) предназначено для встраивания в магнитные пускатели серии ПМЕ. Когда ток в силовой цепи становится выше допустимого, то нагревательный элемент (пластина *1*), выделяя теплоту, повышает температуру биметаллической пластины *3*. Пластина прогибается и, нажимая на упор рычага *2*, поворачивает его вокруг оси $O_1$ против часовой стрелки, сжимая пружину *4*. Носик этого рычага нажимает на пластину *9*, которая упирается в выступ каретки *11* и служит упором для предохранения от перемещения вправо планки *5* с контактом *7*.

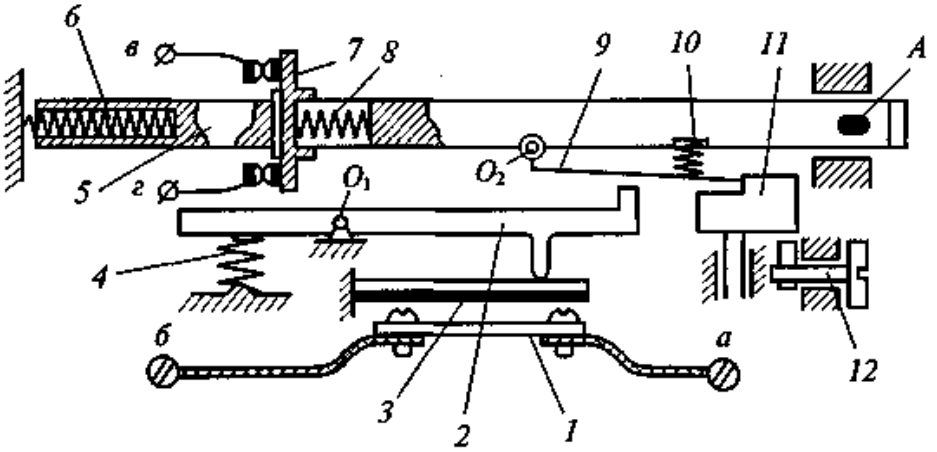



Рис. 12.26. Тепловое реле ТРН:

*1* — пластина нагревательного элемента; *2* — рычаг; *3* — биметаллическая пластина; *4, 6, 8, 10* — пружины; *5* — планка; *7* — контакт; *9* — пластина; *11* — каретка; *12* — кулачок; *а, б, в, г* — клеммы

Когда пластина *9* соскочит с упора, планка *5* под действием пружины *6* переместится вправо и разорвет контакт *7* в цепи катушки магнитного пускателя. Красная точка *А* на планке выйдет из корпуса пускателя, что указывает на срабатывание тепловой защиты. Для пуска компрессора надо вручную нажать на планку *5*, тогда пластина *9* под действием пружины *10* зайдет за упор каретки *11* и будет фиксировать контакт *7* в замкнутом положении, Плотность прилегания контакта обеспечивается пружиной *8*. Реле имеет два нагревательных элемента в двух фазах. Оба элемента воздействуют на один рычаг *2*. Нагревательные элементы выпускают на номинальный ток 5...25 А. Он должен соответствовать номинальному току двигателя. В открытых пускателях превышение номинального тока на 25 % вызывает срабатывание тепловой защиты (за 30 мин). В закрытых пускателях 10%-ная перегрузка вызывает срабатывание. С увеличением перегрузки продолжительность срабатывания уменьшается. Значение номинальной силы тока реле (ток уставки) можно устанавливать кулачком *12*. Перемещение каретки вверх увеличивает ток срабатывания (биметаллическая пластина должна больше прогнуться, чтобы снять с упора пластину). Поворот риски кулачка на одно деление вправо или влево от нуля изменяет ток уставки на ±5 % от номинального.

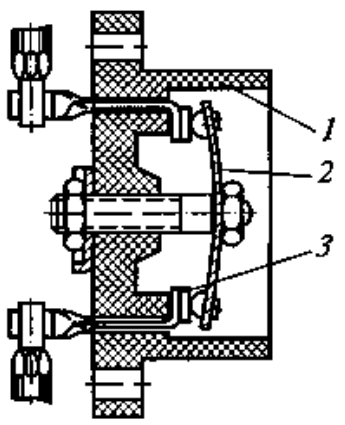



Рис. 12.27. Тепловое реле РТГК-1:

*1* — корпус реле; *2* — мембрана; *3* — контакты

Тепловое реле РТГК-1 (рис. 12.27) применяют для отключения герметичных компрессоров в

случае перегрева. Корпус *1* реле открытой стороной двумя болтами крепят к кожуху компрессора. При длительном нагреве кожуха компрессора до 85...95 °С биметаллическая мембрана *2*, представляющая собой часть сферической поверхности, жестко закрепленную в центре, прогибается и размыкает контакты *3* в цепи катушки магнитного пускателя. При остывании компрессора контакты снова замыкаются.

**Комбинированные реле.** Пусковые реле РТП-1 (рис. 12.28) служат для пуска и защиты однофазных электродвигателей домашних холодильников. В одном корпусе смонтированы токовое (пусковое) и тепловое реле. Поскольку однофазный ток не создает начального пускового момента, то для пуска двигателя подключается пусковая обмотка.

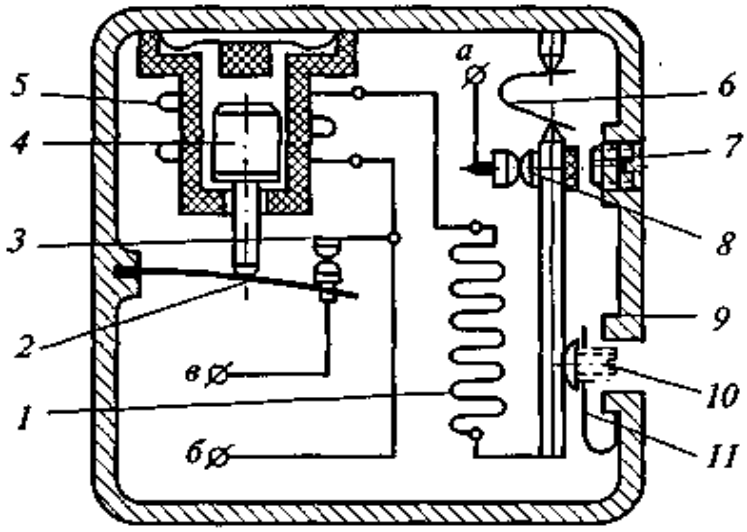



Рис. 12.28. Пусковое реле домашних холодильников РТП-1:

*1* — спирали; *2*, *6*, *9*, *11* — пластины; *3*, *8* — контакты; *4* — сердечник; *5* — катушка; *7*, *10* — винты; *а*, *б*, *в* — клеммы

При отсутствии тока сердечник *4* пускового реле под действием своего веса нажимает на упругую пластину *2*. Контакт *3* разомкнут. При пуске ток поступает на клемму *а* и далее через нормально замкнутые контакты *8*, биметаллическую пластину *9*, спираль *1* нагревательного элемента и катушку *5* пускового реле выходит на клемму *б*, к которой подключается рабочая обмотка электродвигателя. Пусковой ток примерно в три-четыре раза больше номинального, поэтому катушка *5* втягивает сердечник *4* и упругая пластина *2* замыкает контакт *3*, через который ток поступит на клемму *в* и далее к пусковой обмотке электродвигателя. Когда скорость ротора достигнет номинальной, сила тока снизится до нормальной, катушка *5* пускового реле отпустит сердечник, он разорвет контакты *3* и отключит пусковую обмотку. В случае перегрузки двигателя (длительное превышение номинальной силы тока) нагрев спирали *1* вызовет прогиб биметаллической пластины *9* и размыкание контактов *8*, т. е. останов электродвигателя. Через несколько минут при остывании спирали контакты снова замкнутся. Резкость замыкания контактов достигается упругой пластиной *6*, которая меняет свое положение устойчивости. Винты *7* и *10* (с пружиной *11*) служат для заводской настройки теплового реле.

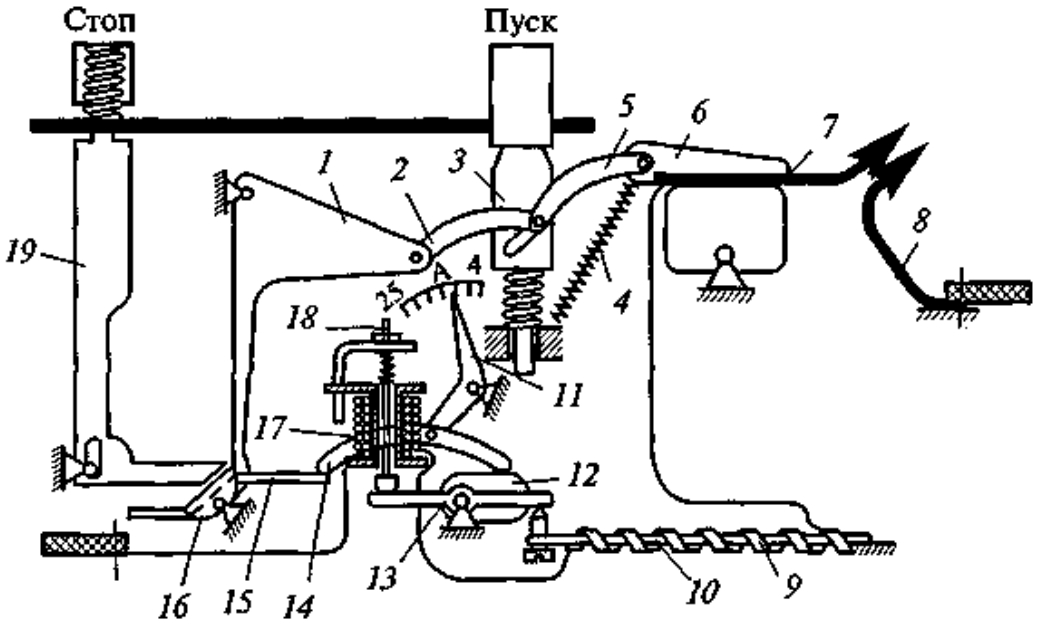



Рис. 12.29. Автоматический предохранитель АП50-3МТ:

*1, 2, 3, 5, 11, 13, 19* — рычаги; *4* — пружина; *6* — каретка; *7, 8* — контакты; *9* — нагнетательный элемент; *10* — биметаллическая пластина; *12* — кулачок рычага; *14* — коромысло; *15* — пластина; *16* — валик; *17* — катушка; *18* — сердечник

*Автоматический предохранитель АП50-3МТ* (рис. 12.29) состоит из теплового реле, токового реле и механизмов возврата контактов в рабочее положение (кнопка «пуск») и принудительного размыкания контактов (кнопка «стоп»). Его можно рассматривать как трехфазный рубильник с автоматической защитой от токов короткого замыкания и от длительной перегрузки в каждой фазе. Рассмотрим взаимодействие отдельных механизмов. При коротком замыкании ток резко возрастает и, когда он в шесть-десять раз превысит установленное значение, сработают токовые реле. Сердечник *18* втягивается в катушку *17* и поворачивает рычаг *13* против часовой стрелки. Кулачок *12* рычага нажимает на коромысло *14*, другой конец которого поворачивает пластину *15*, жестко укрепленную на валике *16*, имеющем форму цилиндра, срезанного по оси. При повороте валика *16* рычаг *1*, упиравшийся в его цилиндрическую часть, теряет опору, и под действием пружины *4* каретка *6* поворачивается и размыкает главные контакты *7* и *8*. Кнопка «пуск» перемещается вверх, и валик, находящийся в прорези рычага *3*, поднимает рычаги *2* и *5*, между которыми образуется угол 180°; при этом рычаг *1* отходит за валик *16*. При дальнейшем движении рычаг *2* начинает поворачивать рычаг *1* против часовой стрелки и возвращает его в первоначальное положение. Рычаг *5* перестает быть упором, препятствующим повороту каретки и размыканию контактов. Для замыкания контактов необходимо нажать кнопку «пуск». Так как рычаг *1* при этом неподвижен, валик, находящийся в прорези рычага *3*, опускается и отходит вправо. Рычаг *5* поворачивает каретку и замыкает контакты. Когда рычаг *3* дойдет до упора, рычаги *2* и *5*

перейдут через горизонтальное положение и рычаг *5* зафиксирует каретку с контактом в замкнутом положении.

Тепловые расцепители (реле) действуют таким же способом. При перегрузке электродвигателя нагревательный элемент *9*, намотанный на биметаллическую пластину *10*, нагревает ее. Прогибаясь, пластина нажимает снизу на рычаг *13* и поворачивает его против часовой стрелки.

Контакты размыкаются и вручную. При нажатии на кнопку «стоп» рычаг *19* поворачивает валик *16* в том же направлении, что и рычаг *13*. Тепловую защиту настраивают с помощью рычага *11* по шкале прибора, а силу тока срабатывания магнитных расцепителей — гайкой сердечника *18*. В настоящее время выпускаются АП50 с нерегулируемыми магнитными расцепителями.

Период срабатывания теплового реле при ступенчатом изменении нагрузки зависит от отношения тока перегрузки к току, установленному по шкале. Автоматический предохранитель АП50-3МТ подбирают в зависимости от номинальной мощности электродвигателя и напряжения в сети, чтобы номинальный ток двигателя примерно соответствовал нижнему пределу регулирования прибора.

## 12.11. Автоматическая защита холодильных установок

Для повышения безопасности эксплуатации холодильных аммиачных и хладоновых машин и установок теплопередающие и вспомогательные аппараты системы охлаждения, компрессоры и насосы оснащают приборами защитной автоматики (ПЗА).

ПЗА используют для автоматической остановки компрессора или других элементов холодильной машины при наступлении аварийного режима работы. Аварийный режим может возникнуть при чрезмерно высоком давлении конденсации, замерзании хладоносителя в испарителе, перегрузке двигателя, нарушении смазки компрессора и т. д. Число приборов автоматической защиты и схемы включения определяются типом и назначением холодильной машины, степенью опасности возможных аварий и экономическими соображениями. Малые холодильные машины оснащаются обычно одним-двумя приборами, а крупные машины имеют значительно больше приборов. ПЗА от повышенного давления нагнетания предохраняют компрессор от разрушения при пуске с закрытым нагнетательным вентилем и при недопустимо высокой температуре конденсации. Причинами чрезмерного повышения давления конденсации могут быть сильное загрязнение поверхности конденсатора, наличие в системе неконденсируемых газов. Для защиты компрессора используют реле высокого давления, датчик которого подсоединяется к компрессору между полостью нагнетания и нагнетательным вентилем.

При подъеме давления конденсации выше допустимого значения выключение компрессора обеспечивается маноконтроллером реле давления.

В большинстве аммиачных и крупных хладоновых машин имеется двойная защита от высокого давления. Кроме маноконтроллера устанавливают предохранительные клапаны, которые при опасном давлении перепускают сжатые пары из нагнетательной полости во всасывающую. В аммиачных компрессорах они срабатывают при разности давлений нагнетания и всасывания, равной 16 бар. В малых хладоновых компрессорах хладомощностью до 2,5 кВт предохранительные клапаны не устанавливают. Второй прибор, входящий в двухблочное реле давления — прессостат. В аммиачных и крупных хладоновых машинах с рассольной системой охлаждения он применяется не только для пуска и остановки компрессора, но и как прибор защиты при наступлении опасно низкого давления на всасывании. ПЗА от пониженного давления всасывания предохраняют компрессор от перегрева, перегрузки, ухудшения условий смазки при пуске с закрытым всасывающим вентилем и при недопустимо низком давлении кипения. Наиболее частыми причинами опасного понижения давления кипения могут быть: замерзание воды в терморегулирующем вентиле, утечка хладагента из системы, сплошное обмерзание испарителей инеем, замерзание теплоносителя в испарителе или прекращение его циркуляции по другим причинам, выход из строя вентилятора воздухоохладителя. Для защиты от этих отклонений отключают компрессор с помощью реле низкого давления, датчик которого подсоединяется к компрессору между всасывающей полостью и всасывающим вентилем.

Таким образом, реле давления является комбинированным прибором, выполняющим функции автоматического регулирования и защиты машины от опасного режима работы.

Одноблочные реле давления предназначены для контроля давления всасывания (реле низкого давления) либо давления нагнетания (реле высокого давления).

Двухблочные реле давления совмещают в одном корпусе реле низкого и высокого давлений, воздействующие на одну контактную группу. Двухблочные реле давления позволяют одновременно контролировать давление всасывания и нагнетания.

Реле давления, в обозначении которых имеется буква А, предназначены для использования в аммиачных холодильных установках.

От перебоев в подаче смазки к трущимся деталям компрессор защищают с помощью реле контроля смазки типа РКС. Этот прибор отключает электродвигатель компрессора при опасном уменьшении разности давлений масла на выходе из масляного насоса и в картере компрессора. Регулируемая разница давлений на отечественных компрессорах составляет 0,5... 1,5 бар.

Реле контроля смазки (РКС) в системе предохраняют компрессор от разрушения узлов трения кривошипно-шатунного механизма и сальника при неисправностях в системе принудительной смазки. В РКС дифференциал можно регулировать.

Штуцер реле, обозначенный знаком «+», соединяется трубкой с линией нагнетания масляного насоса, а штуцер реле, обозначенный знаком «–», соединяется трубкой с картером компрессора. Разность давлений масла в линиях нагнетания и всасывания масляного насоса воспринимается чувствительными элементами реле (сильфонами).

При снижении разности давлений происходит резкое замыкание контакта, который может быть использован для подачи аварийного сигнала о выходе контролируемого значения за допустимые пределы, и резкое размыкание другого контакта, который может быть использован для автоматического отключения компрессора в системе защиты от пониженного давления масла.

Защита от повышенной температуры нагнетания предохраняет компрессор от нарушения условий смазки цилиндров, выхода из строя клапанов и перегрева.

Причинами чрезмерно высокой температуры в линии нагнетания могут быть: высокая степень сжатия, высокая температура всасываемых паров, нарушение охлаждения цилиндров компрессора, поломка пластин нагнетательных клапанов. Реле температуры, чувствительный элемент которого воспринимает температуру пара в нагнетательном трубопроводе, отключает компрессор в этих случаях.

В качестве прибора автоматической защиты применяют двухпозиционное дистанционное реле температуры типа ТР-2 с диапазоном настройки 60... 160 °С. Термочувствительный баллон реле рекомендуется устанавливать внутри нагнетательного трубопровода.

Опасный режим может возникнуть и при перегрузке электродвигателя, когда сила тока в его обмотке становится выше номинального значения. Перегрев обмотки электродвигателя герметичного компрессора может произойти и при плохом охлаждении двигателя парами хладагента, в результате чего возможен выход электродвигателя из строя. Защиту его от перегрузки обеспечивает тепловое реле, отключающее двигатель при опасном возрастании силы тока. В герметичных компрессорах дополнительно к тепловому реле устанавливают реле температуры, которое реагирует на нагрев кожуха.

От короткого замыкания электродвигатель предохраняют плавкие предохранители. Применяемый автоматический предохранитель АП50-3МТ представляет собой комбинированный прибор, защищающий электродвигатель одновременно от перегрузки и короткого замыкания.

Защиту компрессора от перегрева при прекращении подачи воды в охлаждающую рубашку компрессора обеспечивает реле протока типа РП, которое отключает компрессор при прекращении или опасном уменьшении расхода охлаждающей воды.

Приборы защиты от влажного хода предохраняют компрессор от разрушения при попадании в его цилиндр масла или жидкого хладагента (гидравлический удар). Причинами влажного хода может быть переполнение жидким хладагентом аппаратов на всасывающей линии (отделителей жидкости, сосудов) при изменении режимов работы и сливе хладагента из охлаждающих приборов в процессе оттаивания. Приборы защиты автоматически выключают компрессор, обеспечивают закрытие соленоидного вентиля на линии подачи жидкого хладагента в контролируемый сосуд. О наступлении влажного хода можно судить по перегреву паров на всасывании (перегрев уменьшается и становится равным нулю). Поэтому практически, чтобы избежать влажного хода, перегрев паров на всасывании поддерживают до 5...15 °С. В хладоновых машинах, в которых устанавливают теплообменники, перегрев увеличивают до 25...30 °С, что фактически исключает влажный ход.

Конструктивная защита компрессора от гидравлического удара предусматривает наличие «ложных крышек» компрессора, жидкоотделителей (осушители, аккумуляторы). Применяется также ограниченное заполнение системы хладагентом. Для малых установок дополнительных приборов защиты не требуется. В крупных аммиачных установках для защиты от влажного хода применяют приборы, останавливающие компрессор в следующих случаях: при уменьшении перегрева на всасывании (реле разности температур); при переполнении жидкоотделителя (реле уровня); при снижении температуры нагнетания (реле температуры). После срабатывания противоаварийной защиты автоматический пуск компрессора запрещается.

Приборы сигнализации служат для подачи светового или звукового сигнала. Автоматическая сигнализация информирует обслуживающий персонал о наступлении аварийного режима работы машины, отклонении контролируемых параметров (температуры, давления и др.) от нормальных значений, включении в работу отдельных элементов холодильной машины (компрессора, насоса и др.), срабатывании приборов защиты. Персонал, обслуживающий холодильную машину, должен принять необходимые меры к устранению возникших неисправностей или выполнить соответствующие операции согласно правилам эксплуатации.

Автоматическая сигнализация применяется в основном в холодильных машинах большой и средней производительности.

# Глава 13. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

## 13.1. Основные требования к хладонам

При эксплуатации холодильного оборудования необходимо руководствоваться действующими правилами техники безопасности. Соблюдение их предотвращает несчастные случаи и способствует надежной и безотказной работе оборудования.

По существующему положению для работников торговли и общественного питания не реже одного раза в 6 мес. проводится инструктаж на рабочем месте по правилам техники безопасности, порядку оказания первой помощи пострадавшим при несчастном случае, а также по правилам работы и электробезопасности при эксплуатации холодильных установок. В журнале учета инструктажа делаются соответствующие записи. Помещения, в которых находятся холодильные агрегаты или охлаждаемое оборудование, должны иметь хорошее освещение и вентиляцию, проходы должны быть достаточно свободными, а полы находиться в исправном состоянии.

Хладоновые холодильные установки размещают в машинном отделении с высотой 3,5 м. Двери машинного отделения должны выходить наружу или в коридор, отделенный дверями от других помещений здания, и открываться в сторону выхода. Машинное отделение оборудуют приточно-вытяжной принудительной вентиляцией с трехкратным воздухообменом в течение 1 ч. При работе запрещается курить и применять открытое пламя без специальных мер предосторожностей из-за возможности образования сильнодействующих отравляющих веществ при разложении паров хладонов.

Хладоны и продукты их разложения бесцветны. При атмосферном давлении и температуре свыше 30 °С R12 представляет собой бесцветный газ со слабым запахом четыреххлористого углерода. Газообразный R12 в несколько раз тяжелее воздуха, плотность его при атмосферном давлении и температуре 20 °С равна 5,6 кг/м$^3$. Плотность жидкого R12 при атмосферном давлении составляет 1,49 кг/дм$^3$.

При высоких температурах в присутствии свинца, железа, меди, цинка и других материалов R12 способен разлагаться с образованием сильнодействующих отравляющих веществ, таких как фосген, фтористый водород, хлористый водород и окись углерода. Температура разложения R12 в присутствии железа, цинка, дюралюминия, меди и хлористого кальция — 430 °С.

При попадании жидкого R12 на незащищенные участки кожи возможно обморожение. Физиологического воздействия на продукты не оказывает, хорошо растворяет жиры.

При вдыхании R12 в больших количествах возможно отравление, следствием которого может быть появление через 30... 60 мин головной боли, слабости, учащения пульса, рвоты. Подобное состояние может продолжаться до 3 ч и переходить в глубокий длительный сон.

В чистом виде R12 инертен по отношению ко всем металлам. Однако при наличии даже малых количеств влаги происходит гидролиз R12. Образовавшиеся кислоты вызывают сильную коррозию, способствуют омеднению стальных шлифованных поверхностей, разрушают электроизоляцию обмоток встроенных электродвигателей. Свинец в R12 покрывается серо-белым налетом хлорида свинца, латунь темнеет.

При атмосферном давлении и температурах свыше 40 °С R22 представляет собой бесцветный газ со слабым запахом хлороформа. Плотность газообразного R22 при атмосферном давлении и температуре 20 °С составляет 3,33 кг/м$^3$, а жидкого R22 при атмосферном давлении — 1,4 кг/дм$^3$. При температурах выше 400 °С он разлагается с образованием фтористого водорода, хлористого водорода и небольшого количества фторфосгена. Чистый и осушенный R22 инертен по отношению к металлам, но в присутствии воды R22 способен разлагаться с образованием соляной и плавиковой кислот, которые вызывают сильную коррозию. R22 является хорошим растворителем органических веществ, поэтому многие неметаллические материалы в его среде нестойки. Очень сильно набухают в среде R22 резины, поэтому применяются только хладоностойкие резины.

Хладоны R12 и R22 не взрываются и не являются пожароопасными веществами. Хранение и перевозку R12 осуществляют в стальных баллонах в сжиженном виде. Пробное гидравлическое давление в баллонах принято равным 30 бар. Баллоны с R12 окрашивают масляной, эмалевой или нитрокраской алюминиевого цвета, а надписи делают черной краской.

Хранение и перевозку R22 осуществляют также в стальных баллонах. Пробное гидравлическое давление в баллонах принято равным 30 бар. Баллоны с R22 окрашивают масляной, эмалевой или нитрокраской алюминиевого цвета. На баллон наносят две полосы желтого цвета, а надпись выполняют черной краской.

Аммиак (R717) — $NH_3$ является ядовитым удушливым газом с резко выраженным воспалительным действием. При вдыхании паров аммиака появляются кашель, жжение в гортани, осиплость или потеря голоса, набухание слизистых оболочек, явления бронхита. Следствием отравляющего действия аммиака являются изменение давления крови, изменение слизистых оболочек желудка

(без непосредственного попадания аммиака), возбуждение и угнетение нервной системы. Серьезным осложнением может быть моментальная остановка дыхания в фазе выдоха.

Попадание аммиака в глаза может вызвать их ожог. Жидкий аммиак вызывает обморожение кожи. При попадании в струю газа (при авариях) наблюдается краснота и опухание кожи.

Температура воспламенения аммиака 651 °С. Аммиак взрывоопасен. При объемной концентрации аммиака в воздухе свыше 11 % и наличии открытого пламени начинается его горение. Взрывоопасные концентрации находятся в пределах 16...26,8 %.

Баллоны с аммиаком окрашивают в желтый цвет, а надпись выполняют черной краской.

Запрещается использовать и наполнять хладагентом баллоны, у которых истек срок периодического освидетельствования (более 5 лет), отсутствуют установленные клейма, неисправны вентили, резьба, поврежден корпус, косо или слабо насажены башмаки, окраска и надпись не соответствуют установленным правилам.

Наполненные баллоны перевозят на рессорном транспорте или на автокарах в горизонтальном положении с укладкой всех баллонов вентилями в одну сторону. Между ними размещают прокладки в виде деревянных брусков с гнездами под баллоны либо надевают на баллоны по два резиновых кольца, предохраняющие их от ударов друг о друга. При перевозке и хранении хладоновые баллоны должны быть предохранены от действия солнечных лучей.

Выполнение действующих «Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» является обязательным условием при пользовании баллонами, заполненными хладагентом.

## 13.2. Требования к агрегатам и электрооборудованию

В конструкциях машин должно быть предусмотрено уменьшение шума на месте работы в пределах установленных норм.

Система управления машинами должна иметь минимальное число рукояток и кнопок, быстро останавливать движение рабочих органов машины, находящихся в любом положении, исключать самопроизвольный или случайный пуск механизмов, предусматривать возможность включения и выключения машины с рабочего места. Рукоятки, рычаги, ручки, маховики, кнопки должны иметь удобный доступ.

Кнопки «пуск» должны быть заметны и утоплены на 3...5 мм от уровня крышки коробки.

Сигнализация опасности применяется как в виде самостоятельной системы, так и в сочетании с предохранительными устройствами. Весьма эффективным является сочетание блокирующих и предохранительных устройств.

Работы по ремонту, техническому осмотру, регулировке агрегата и приборов необходимо проводить при отключенном от электросети агрегате.

Работники магазина не должны производить никаких работ по регулировке и настройке приборов автоматики, им запрещается трогать запорные вентили, колпачковые гайки и другие узлы холодильной машины. В случае технических неисправностей или возникновения аварийного состояния агрегат следует немедленно отключить и вызвать механика. При обнаружении утечек хладагента необходимо открыть двери и окна для проветривания помещения или включить вентиляцию.

Обслуживающий персонал обязан вскрывать различные элементы установки, а также баллоны с хладагентом в защитных очках; при этом в системе давление должно быть снижено до атмосферного.

Запрещается:

размещать посторонние предметы на ограждениях агрегата и вокруг него;

хранить продукты непосредственно на испарителях и поддонах торгового холодильного оборудования;

использовать скребки, ножи и другие предметы для удаления снеговой шубы с испарителей.

Электродвигатели, электропроводка, электроаппараты и прочие электротехнические устройства должны удовлетворять действующим «Правилам устройства и безопасной эксплуатации электроустановок». Части электрических устройств, находящихся под напряжением, должны исключать возможность прикосновения к ним. Это достигается применением специальных ограждений, изоляцией токоведущих частей, использованием блокировок и расположением их в местах, недоступных для работающих, а при необходимости применением защитного заземления. Электропроводку рекомендуется заключать в газовые трубы или металлические рукава и прокладывать внутри станины, пола и т. п. Трубы, которые по конструктивным соображениям нельзя проложить внутри станины, разрешается прокладывать снаружи, но при этом их следует располагать в желобах, глубина которых позволяет скрыть трубопровод заподлицо с наружной поверхностью станины или металлоконструкции.

Станина машины, корпус электродвигателя, кожух электроаппаратуры, как и другие металлические части, которые могут оказаться под напряжением, должны быть заземлены, снабжены специальным болтом с шайбой. Болты должны быть защищены от коррозии и иметь чистую поверхность для контакта с заземляющей шиной. Болт должен иметь знак «Заземление» или «Земля». При возникновении сотрясений или вибраций при работе необходимо принять меры против ослабления контакта (контргайки, контря-

щие шайбы и т. п.). Заземлять оборудование, установленное на движущихся частях, необходимо с помощью гибких проводников.

Если приводы электрооборудования, устанавливаемые на машине, изолированы от ее станины, то в их конструкции следует предусматривать устройства для самостоятельного заземления.

Вблизи холодильного оборудования должны быть вывешены инструкции по эксплуатации холодильных установок, схемы установки и трубопроводов, правила техники безопасности и правила оказания помощи пострадавшим.

Для оказания пострадавшим доврачебной помощи необходимо иметь в наличии индивидуальные средства защиты (аптечки).

Запрещается:

включать холодильную установку при отсутствии защитного заземления или зануления электродвигателей, пусковых приборов, охлаждаемого оборудования и других металлических частей;

эксплуатировать оборудование после истечения срока испытания изоляции электрической сети и защитного заземления; оно должно проводиться ежегодно с применением приборов;

снимать защитные кожухи с токонесущих частей магнитных пускателей, клеммных коробок электродвигателей, приборов автоматики и других частей, находящихся под напряжением;

снимать ограждения с движущихся и вращающихся частей агрегата;

эксплуатировать оборудование при снятых защитных кожухах с частей оборудования, находящихся под напряжением;

прикасаться к движущимся частям включенного в сеть агрегата независимо от того, находится он в работе или в периоде автоматической остановки;

эксплуатировать оборудование при неисправных приборах автоматики и защиты;

выполнять работы по ремонту оборудования, регулировке приборов лицам, не знакомым с работой холодильных машин;

устанавливать на электрощитках самодельные предохранители (жучки) вместо стандартных плавких предохранителей (пробок).

## 13.3. Доврачебная помощь

*При отравлении хладоном* пострадавшего необходимо вывести на свежий воздух или в чистое теплое помещение. В этом случае следует освободить его от стесняющей дыхание одежды, снять загрязненную хладоном одежду и предоставить пострадавшему полный покой. Во всех случаях отравления необходимо давать вдыхать ему медицинский кислород в течение 30...45 мин (из резиновой подушки, баллона), греть больного (обложить грелками). В случае глубокого сна и возможного снижения болевой чувствительности следует соблюдать осторожность, чтобы не вызвать ожогов. Необ-

ходимо пострадавшему давать пить крепкий сладкий чай или кофе, вдыхать с ваты нашатырный спирт. Независимо от состояния пострадавшего должна быть вызвана скорая помощь. При наличии явлений раздражения слизистой оболочки рекомендуется полоскать носоглотку 2%-ным раствором соды или водой.

При попадании хладона в глаза необходимо обильно промыть их струей чистой воды. Затем следует до прихода врача надеть темные защитные очки (не забинтовывать глаза, не накладывать на них повязок).

При попадании хладона на кожу наблюдается процесс ее обмораживания. В этом случае следует окунуть пораженную конечность в теплую воду (35...40 °С) на 5...10 мин или сделать общую ванну (в случае поражения большой поверхности тела). Кожу после ванны осушить не растиранием, а прикладыванием хорошо вбирающего воду полотенца. После этого следует на поврежденный участок наложить марлевую повязку или смазать его мазью. При отсутствии мази следует использовать несоленое сливочное масло или подсолнечное. В случае появления пузырей ни в коем случае нельзя их вскрывать, а наложить повязку на пузыри.

В машинном отделении фреоновой установки должна быть аптечка со средствами для оказания доврачебной помощи при поражении хладоном. В нее должны входить:

нашатырный спирт (для дыхания);

валериановые капли;

двууглекислая сода (для промывания глаз или полоскания горла);

темные защитные очки;

мазь Вишневского или пенициллиновая и т.д.

*При отравлении парами аммиака* пострадавший должен быть выведен на свежий воздух или в чистое теплое помещение. Пострадавшего следует освободить от стесняющей дыхание одежды, снять загрязненную одежду и предоставить ему полный покой. Затем произвести ингаляцию (из чайника через бумажную трубку) теплым паром, содержащим 1...2%-ный раствор лимонной кислоты, и напоить крепким сладким чаем, кофе, лимонадом или 3%-ным раствором молочной кислоты. В случае отравления рекомендуется в течение 30...45 мин вдыхать кислород. Пострадавшего следует согреть (обложить грелками).

При раздражении полости рта следует полоскать носоглотку 2%-ным раствором соды или водой. Пострадавший, независимо от его состояния, должен быть направлен к врачу. В случае появления удушья, кашля его следует транспортировать в лежачем положении. При попадании аммиака в глаза необходимо немедленно промыть пострадавшему глаза струей чистой воды, одеть темные очки. Глаза не следует забинтовывать и накладывать на них повязки. При обморожении аммиаком необходимо направить на пораженную поверхность мощную струю чистой воды, затем окунуть

пораженную поверхность в теплую воду (35...40 °С) на 5...10 мин или, в случае поражения большой поверхности, сделать общую ванну, после чего осушить кожу хорошо вбирающим воду полотенцем (растирание не допустимо). После этого наложить на пораженный участок кожи повязку с мазью Вишневского или пенициллиновой мазью.

## 13.4. Правила безопасной эксплуатации аммиачных холодильных установок

Необходимо поддерживать максимальную герметичность аммиачной системы. Утечки аммиака разрешается искать только с помощью индикаторной бумаги: при наличии аммиака она окрасится в красный цвет. Подтягивать болты во фланцевых соединениях и заменять сальниковую набивку запорной арматуры следует осторожно, предварительно отсосав аммиак из поврежденного участка и отключив его от остальной системы. Открывать цилиндры компрессоров, демонтировать аппаратуру и арматуру разрешается только после удаления из них аммиака и масла и при наличии аммиачного противогаза (марки КД) и резиновых перчаток. Оставшийся аммиак выводят через шланг наружу в сосуд с водой под ее уровень. При внутреннем осмотре цилиндров и аппаратов разрешается пользоваться переносными лампами напряжением не выше 12 В. Выпускать масло из маслоотделителя следует через маслосборник. При этом следует пользоваться противогазом и резиновыми перчатками. Батареи и воздухоохладители освобождаются от масла в процессе оттаивания при сливе жидкого аммиака в дренажный ресивер.

Выпускать воздух из системы следует через воздухоотделители в сосуд с водой, которая должна подаваться непрерывно.

Все установленные манометры должны быть запломбированы или иметь клеймо государственного поверителя. Проверять рабочие манометры и записывать проверки в журнал необходимо через каждые 6 мес., предохранительные клапаны компрессоров следует проверять не реже одного раза в 12 мес. и после ремонта. Проверка предохранительных клапанов проводится в соответствии с действующей производственной инструкцией. При необходимости проверки предохранительного клапана пломбу снимают только по распоряжению механика холодильной установки и в его присутствии.

Запорные вентили на нагнетательных магистралях должны быть запломбированы в открытом положении, за исключением запорных вентилей компрессоров.

После ремонта компрессора, аппарата, трубопроводов, а также после длительного вынужденного отключения компрессора (больше суток) дежурная смена может производить пуск компрессора

только с письменного разрешения механика холодильной установки или лица, его заменяющего. При этом пуск компрессора осуществляют вручную при закрытом всасывающем вентиле.

Очищать трубы конденсатора от водяного камня разрешается только после освобождения его от жидкого аммиака. Помещение оросительных конденсаторов следует закрывать на ключ, хранящийся у дежурной смены. Кожухотрубные конденсаторы и линейные ресиверы, расположенные снаружи, ограждаются металлическим барьером с запирающимся входом. При использовании кожухотрубных испарителей температура замерзания рассола должна быть ниже температуры кипения на 8 °С, а при охлаждении воды температура кипения аммиака — не ниже 2 °С. Выключатель (кнопка) экстренной остановки компрессора должен быть продублирован вне машинного отделения. Проверять присутствие аммиака в рассоле следует не реже одного раза в месяц. На щите регулирующей станции над каждым вентилем делаются надписи с указанием, какие аппараты или охлаждаемые помещения обслуживает данный регулирующий вентиль.

Запорные вентили во избежание заклинивания открывать до отказа запрещается. Перегрев пара, засасываемого компрессором, должен быть на 5... 15 °С выше температуры кипения аммиака. Температура нагнетания для вертикальных, U-образных и оппозитных компрессоров не должна превышать 150 °С. Снижать температуру нагнетания путем впрыскивания жидкого аммиака во всасывающий трубопровод компрессора воспрещается. При подключении к работающему компрессору дополнительной тепловой нагрузки всасывающий вентиль необходимо вначале прикрыть и только после подключения постепенно его открыть. При этом следует наблюдать за тем, чтобы температура перегрева паров на нагнетательной стороне компрессора была не ниже 70 °С.

Работникам со специальной подготовкой необходимо проверять исправность автоматических приборов (не реже одного раза в квартал). Оттаивание воздухоохладителей производится горячими парами аммиака или электрообогревом.

Аварийная работа в помещении, содержащем пары аммиака, разрешается при участии в ней не менее двух человек, снабженных противогазами. У рабочих мест, а также снаружи машинного отделения (обязательно рядом со входной дверью) в шкафу должны находиться запасные противогазы. В каждом личном шкафчике, соответствующих числу рабочих машинного отделения, занятых в одну смену, также должен быть противогаз и резиновые перчатки. Каждый противогаз должен иметь не менее двух запасных фильтров.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. Гинзбург А. С., Громов М. А., Красовская Г. И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. — М.: Пищевая промышленность, 1980.

2. Головкин Н. А. Холодильная технология пищевых продуктов. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.

3. Доссат Р. Д. Основы холодильной техники / Под ред. Л. Г. Каплана. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.

4. Зеликовский И. Х., Каплан Л. Г. Малые холодильные машины и установки. — М.: Пищевая промышленность, 1979.

5. Канторович В. И. Основы автоматизации холодильных установок. — М.: Пищевая промышленность, 1968.

6. Курылев Е. С., Герасимов Н. А. Холодильные установки. — Л.: Машиностроение; Ленингр. отд-ние, 1980.

7. Ладин Н. В., Абдульманов Х. А., Лалаев Г. Г. Судовые рефрижераторные установки. — М.: Транспорт, 1993.

8. Лэнгли Б. К. Холодильная техника и кондиционирование воздуха. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981.

9. Мааке В., Эккерт Г.-Ю., Кошпен Ж.-Л. Учебник по холодильной технике. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998.

10. Применение холода в пищевой промышленности / Под ред. А. В. Быкова. — М.: Пищевая промышленность, 1979.

11. Проектирование холодильных сооружений / Под ред. А. В. Быкова. — М.: Пищевая промышленность, 1978.

12. СНиП II-Л.8—71. Предприятия общественного питания. Нормы проектирования.

13. СНиП II-А.6—72. Строительная климатология и геофизика.

14. СНиП II-105—74. Холодильники. Нормы проектирования.

15. СНиП II-77—80. Магазины. Нормы проектирования.

16. Харитонов В. П. Пособие для машинистов холодильных установок. — М: Пищевая промышленность, 1977.

17. Холодильные машины / Под ред. А. В. Быкова. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982.

18. Холодильные машины / Под ред. проф. Л. С. Тимофеевского. — СПб.: Политехника, 1997.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение ..... 3

**Глава 1. Основы холодильной технологии пищевых продуктов** ..... 5
1.1. Химический состав пищевых продуктов ..... 5
1.2. Микрофлора пищевых продуктов ..... 7
1.3. Принципы хранения скоропортящихся пищевых продуктов ..... 8
1.4. Хранение пищевых продуктов с использованием искусственного холода ..... 10
1.5. Основные процессы холодильной технологии ..... 11
1.6. Технологические приемы холодильной обработки и хранения пищевых продуктов ..... 20

**Глава 2. Холодильные предприятия и холодильный транспорт** ..... 37
2.1. Понятие о непрерывной холодильной цепи ..... 37
2.2. Холодильный транспорт ..... 39

**Глава 3. Физические основы получения искусственного холода** ..... 43
3.1. Физическая картина окружающей среды ..... 43
3.2. Физические параметры вещества ..... 45
3.3. Приборы для измерения основных физических величин ..... 48
*3.4. Основы термодинамики и теплопередачи* ..... 57
3.5. Фазовые (агрегатные) переходы веществ ..... 63
3.6. Основные процессы получения искусственного холода ..... 66

**Глава 4. Рабочие процессы холодильных машин** ..... 71
4.1 Основные способы охлаждения ..... 71
4.2. Хладагенты ..... 75
4.3. Теплоносители ..... 83
4.4. Принцип действия парокомпрессионной холодильной машины ..... 86
4.5. Расчет цикла холодильной машины ..... 93
4.6. Многоступенчатые и каскадные холодильные машины ..... 97
4.7. Абсорбционные холодильные машины ..... 101

**Глава 5. Компрессоры холодильных машин** ..... 106
5.1. Классификация компрессоров ..... 106
5.2. Поршневые компрессоры ..... 107
5.3. Ротационные компрессоры ..... 128
5.4. Спиральные компрессоры ..... 131
5.5. Винтовые компрессоры ..... 133
5.6. Центробежные компрессоры ..... 134

**Глава 6. Теплообменные аппараты холодильных машин** ..... 136
6.1. Испарители ..... 136
6.2. Конденсаторы ..... 143
6.3. Регенеративные теплообменники ..... 148
6.4. Вспомогательная аппаратура ..... 149
6.5. Агрегаты холодильных машин ..... 154

**Глава 7. Системы охлаждения** ..... 162
7.1. Классификация систем охлаждения ..... 162
7.2. Системы непосредственного охлаждения ..... 163
7.3. Системы охлаждения с промежуточным теплоносителем ..... 166
**Глава 8. Расчет и проектирование холодильных сооружений предприятий торговли и массового питания** ..... 168
8.1. Исходные данные для расчета ..... 168
8.2. Проектирование блока холодильных камер ..... 170
8.3. Расчет теплопритоков ..... 177
8.4. Выбор холодильной машины ..... 179
8.5. Системы отвода теплоты конденсации ..... 181
**Глава 9. Монтаж хладоновых холодильных установок** ..... 184
9.1. Требования к монтажу ..... 184
9.2. Испытание установки на прочность и плотность ..... 193
9.3. Монтаж торгового холодильного оборудования ..... 196
9.4. Монтаж сборных холодильных камер ..... 197
9.5. Заполнение холодильных установок хладоном и маслом ..... 198
**Глава 10. Эксплуатация хладоновых холодильных установок** ..... 200
10.1. Требования к обслуживанию холодильных установок ..... 200
10.2. Неисправности холодильных установок и способы их устранения ..... 204
**Глава 11. Ремонт хладоновых холодильных установок** ..... 212
11.1. Виды износа ..... 212
11.2. Система планово-предупредительного ремонта ..... 212
11.3. Ремонт поршневого компрессора ..... 214
11.4. Ремонт теплообменных аппаратов и запорной арматуры ..... 220
**Глава 12. Автоматизация холодильных машин** ..... 222
12.1. Системы автоматического регулирования ..... 222
12.2. Регулирование температуры в охлаждаемом объекте ..... 225
12.3. Регулирование давления хладагента ..... 227
12.4. Реле контроля смазки ..... 229
12.5. Взаимосвязь характеристик элементов холодильной машины ..... 230
12.6. Регулирование холодопроизводительности ..... 232
12.7. Приборы регулирования заполнения испарителей хладагентом ..... 234
12.8. Регулирование давления конденсации ..... 244
12.9. Автоматическое удаление инея с поверхности испарителя ..... 251
12.10. Электромеханические, тепловые и комбинированные реле ..... 251
12.11. Автоматическая защита холодильных установок ..... 258
**Глава 13. Техника безопасности** ..... 262
13.1. Основные требования к хладонам ..... 262
13.2. Требования к агрегатам и электрооборудованию ..... 264
13.3. Доврачебная помощь ..... 266
13.4. Правила безопасной эксплуатации аммиачных холодильных установок ..... 268
Список литературы ..... 270

1150

**Для подготовки квалифицированных кадров в учреждениях начального профессионального образования предназначены следующие учебники и учебные пособия:**

- М. И. Ботов, В. Д. Елхина, О. М. Голованов
  **Тепловое и механическое оборудование предприятий общественного питания**
- Ю. А. Калошин
  **Технология и оборудование масложировых предприятий**
- В. В. Усов
  **Организация производства и обслуживания на предприятиях общественного питания**
- А. Н. Стрельцов, В. В. Шишов
  **Холодильное оборудование предприятий торговли и общественного питания**



ISBN 5-7695-1271-7